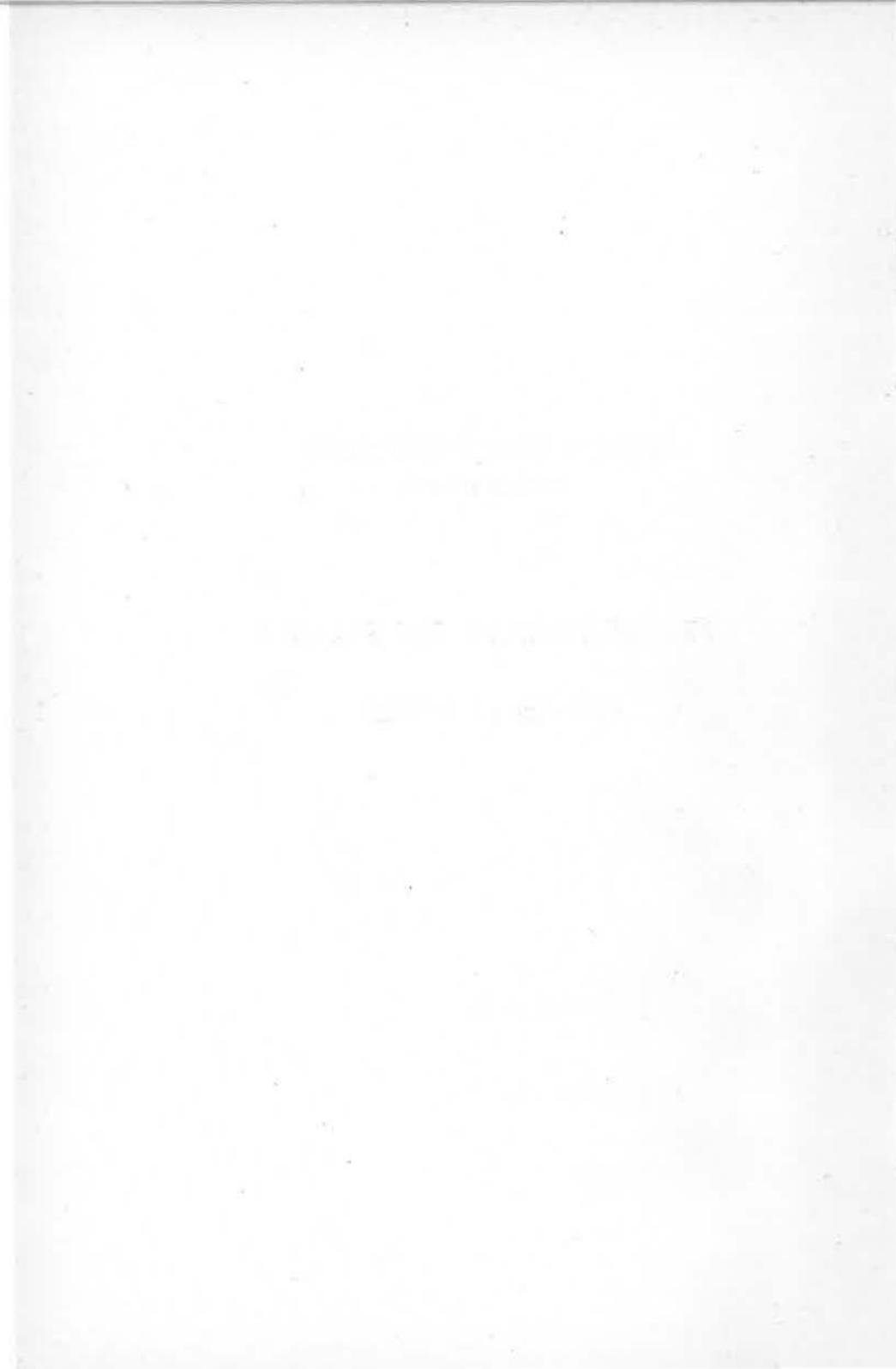


COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ.

SESSION DE 1952.

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES,

RAPPORT ET ANNEXES.



PRÉSIDENT

du Comité International des Poids et Mesures :

M. J. E. SEARS.

LISTE DES MEMBRES

DU

COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ.

Président :

M. J. E. SEARS, Ancien Superintendant de la Section de
Métrologie du National Physical Laboratory.

Membres et experts :

Pour la Physikalisch-Technische Bundesanstalt, *Braunschweig* : M. le Dr A. SCHULZE, Directeur auprès du
Deutsches Amt für Mass und Gewicht. *Expert* :
M. le Dr ZICKNER, Oberregierungsrat, Physikalisch-
Technische Bundesanstalt.

Pour le National Bureau of Standards, *Washington* :
M. le Dr F. B. SILSBEE, Chief, Electricity Division,
National Bureau of Standards.

Pour le National Physical Laboratory, *Teddington* :
M. le Dr L. HARTSHORN, Membre du National Physical Laboratory.

Pour le Conservatoire National des Arts et Métiers, *Paris* :
M. P. DE LA GORCE, Directeur-Adjoint du Laboratoire Central des Industries Électriques, *Fontenay-aux-Roses*. *Expert* : M. R. HÉROU, Membre du Laboratoire Central des Industries Électriques.

Pour l'Electrotechnical Laboratory, *Tokyo* : M. le Dr Y. NAKAJI, Associate Director, Electrotechnical Laboratory.

Pour l'Institut de Métrologie de l'U. R. S. S., *Moscou* :
M. A. C. KOLOSsov, Professeur à l'Institut de Métrologie. *Expert* : M. V. D. ALESSINE, Directeur de l'Institut de Métrologie.

M. le Prof. H. KÖNIG, Directeur du Bureau Fédéral des Poids et Mesures, *Berne*.

M. C. I. BUDEANU, Professeur à l'École Polytechnique, *Bucarest*.

M. CH. VOLET, Directeur du Bureau International des Poids et Mesures, *Sèvres*.

Invités :

M. P. N. AGALETZKI, Chef de Laboratoire à l'Institut de Métrologie, *Moscou*.

M. G. SOMEDA, Commissaire de l'Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, *Turin*.

PRÉSIDENT

du Comité International des Poids et Mesures :

M. J. E. SEARS.

LISTE DES MEMBRES

DU

COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ.

Président :

M. J. E. SEARS, Ancien Superintendant de la Section de
Métrologie du National Physical Laboratory.

Membres et experts :

Pour la Physikalisch-Technische Bundesanstalt, *Braunschweig* : M. le Dr A. SCHULZE, Directeur auprès du
Deutsches Amt für Mass und Gewicht. *Expert* :
M. le Dr ZICKNER, Oberregierungsrat, Physikalisch-
Technische Bundesanstalt.

Pour le National Bureau of Standards, *Washington* :
M. le Dr F. B. SILSBEE, Chief, Electricity Division,
National Bureau of Standards.

MM. A. BONHOURE et J. TERRIEN, Adjoint_s du Bureau
International des Poids et Mesures, *Sèvres*.

MM. M. GAUTIER et G. LECLERC, Assistant_s du Bureau
International des Poids et Mesures, *Sèvres*.

ORDRE DU JOUR

DE LA

SESSION.

1. Nomination d'un Secrétaire et d'un Rapporteur.
 2. Rapports distribués.
 3. Travaux sur les unités absolues.
 4. Conservation des unités. Études sur l'alliage chromcor. Progrès dans la réalisation des piles Weston étalons (silice).
 5. Propositions des Laboratoires concernant les spécifications des étalons de résistance et de différence de potentiel.
 6. Comparaisons internationales de 1950 et comparaisons partielles antérieures.
 7. Transport des éléments Weston.
 8. Comparaisons futures.
 9. Proposition concernant la conservation et l'étude, par le Bureau International des Poids et Mesures, des étalons d'intensité de champ magnétique et de flux magnétique.
 10. Amélioration des installations au Bureau International des Poids et Mesures.
 11. Suggestions en vue de la révision du Règlement du Comité Consultatif (le Règlement actuel figure dans les *Procès-Verbaux du Comité International des Poids et Mesures*, 1931, p. 55).
 12. Questions diverses.
-

COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ.

SESSION DE 1952

PROCÈS-VERBAL

DE LA PREMIÈRE SÉANCE,

TENUE AU BUREAU INTERNATIONAL.

Jeudi 26 juin 1952.

PRÉSIDENTE DE M. H. KÖNIG.

Sont présents : MM. ALESSINE, de la GORCE, HARTSHORN, HÉROU, KOLOSsov, KÖNIG, NAKAJI, SILSBEF, VOLET, ZICKNER, Membres du Comité Consultatif, adjoints et spécialistes.

Invités : MM. AGALETZKI, SOMEDA, BONHOURE, TERRIEN, GAUTIER, LECLERC.

La séance est ouverte à 15^h.

M. VOLET souhaite la bienvenue aux Membres du Comité Consultatif d'Électricité, à ceux qui sont là pour la première fois, ainsi qu'à ceux qui viennent fidèlement depuis longtemps.

Il rappelle que le PRÉSIDENT du Comité Consultatif est M. SEARS, qui malheureusement ne pourra assister aux séances et qui a prié M. KÖNIG d'assumer la charge de

diriger les travaux. Il le remercie en son nom d'avoir accepté cette charge au dernier moment. M. VOLET transmet au Comité les vœux de M. SEARS pour le succès des travaux qui vont commencer, ainsi que ses cordiales salutations. Le Comité est unanime pour répondre par télégramme à M. SEARS.

M. KÖNIG, qui assiste pour la première fois à ce Comité, est très touché de l'honneur qui lui est fait et remercie à l'avance les délégués, qui certainement faciliteront sa tâche. Il annonce la démission de M. LOMBARDI; M. SCHULZE n'a pas eu la possibilité de venir; quant à M. BUDEANU, il n'a pas donné de ses nouvelles.

M. VOLET propose comme Secrétaire M. GAUTIER, et comme Rapporteur M. de la GORCE. Ces propositions sont adoptées à l'unanimité.

M. le PRÉSIDENT aborde la question des travaux effectués sur les unités absolues. Plusieurs documents remis avant la séance relatent les travaux en cours.

M. HARTSHORN signale que le National Physical Laboratory a exécuté cette année une détermination partielle de l'ohm absolu. Le résultat diffère de celui de 1936 de 3 millièmes. Il a appris aussi que le National Bureau of Standards, à Washington, a utilisé la méthode de Wenner et que le résultat obtenu diffère d'environ 15 millièmes de celui du National Physical Laboratory. L'ohm moyen actuel étant compris entre ces deux nouvelles déterminations, il n'y a pas lieu de changer sa valeur.

M. ZICKNER expose les travaux en cours à la Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Annexe E2, p. E39). Actuellement, on cherche à se procurer des cylindres destinés à

former la bobine hélicoïdale et plusieurs fournisseurs ont été consultés.

M. KOLOSSOV annonce qu'il y a en ce moment à l'Institut de Métrologie de l'U. R. S. S. un étalon de l'ampère absolu, sous forme de balance de courant, et un étalon du henry absolu. Des travaux sont en cours pour redéterminer l'ohm en unités absolues.

M. SILSBEE expose un projet à l'étude depuis plusieurs années au National Bureau of Standards sur la détermination de l'ampère au moyen d'une balance de courant du type de Pellat. L'appareil est presque terminé et, d'après des observations préliminaires, l'exactitude sera analogue à celle de l'ancienne balance du type Rayleigh. La disposition des bobines étant très différente, il pense que l'emploi simultané des deux types sera très précieux pour l'élimination des erreurs systématiques.

Un deuxième projet est mis à exécution depuis 1952 pour la construction d'un condensateur à air calculable avec précision. Celui-ci pourra être utilisé de deux façons : 1° si sa capacité est déterminée d'après ses dimensions et comparée à la capacité en unités électromagnétiques au moyen d'un pont à commutateur de Maxwell, le rapport des deux valeurs constituera une détermination à une fréquence relativement basse de c (vitesse de la lumière) en fonction de l'ohm absolu actuel, de la fréquence et des dimensions; 2° si l'on considère que c est connue avec une plus grande exactitude par les mesures aux fréquences des ondes très courtes et aux fréquences optiques, les résultats des mêmes mesures fourniront alors une valeur de l'ohm absolu.

Après un échange de vues, M. le PRÉSIDENT constate qu'il est peu probable que l'on puisse rassembler des résultats numériques dès 1954.

M. le PRÉSIDENT demande ensuite si des progrès ont été faits sur les étalons matériels destinés à la conservation des unités. M. NAKAJI précise que les spécifications relatives aux étalons de résistance figurant à l'Annexe E 5 ont déjà été publiées en 1935 (*Procès-Verbaux*, 2^e série, t. XVII, p. 262).

M. ZICKNER résume les études de M. SCHULZE sur l'alliage or-chrome (Annexe E 3, p. E 41).

D'après M. SILSBEE, il n'y a pas d'expérience très récente sur cet alliage au National Bureau of Standards; quelques étalons de ce type restent constants, mais le groupe d'étalons primaires est toujours en manganine.

M. HARTSHORN remarque que les qualités de la manganine sont si satisfaisantes qu'il paraît difficile de faire mieux.

M. KOLOSOV recommande comme étalons de résistance les bobines du type de l'Institut de Métrologie (M. F. Malikov, publication de la Chambre Centrale des Poids et Mesures, 1932, n^o 100, p. 5), qui sont d'une très grande stabilité. Leur qualité est due non seulement à ce qu'elles sont enfermées dans des boîtiers étanches, forme pratiquée universellement en ce moment, mais aussi à la présence d'une masse considérable de métal à l'intérieur de la bobine (cuivre ou aluminium), qui contribue à la distribution rapide et uniforme de la température le long du fil de manganine. Dans les spécifications pour ces étalons de résistance, il faut attacher une grande importance à certains détails techniques. La stabilité doit être telle que pendant une année la résistance ne change pas de plus de 5 millionièmes.

A l'Institut de Métrologie, la conservation de l'unité de résistance électrique est contrôlée en comparant chaque année les bobines les unes aux autres.

L'étude de l'alliage chrome-or sur des bobines de 1 ohm et de 10 ohms a montré qu'au cours d'une année le degré d'instabilité atteint un cent-millième de la valeur nominale. La comparaison de ces résultats avec ceux donnés par les bobines de manganine de 1 ohm n'a pas montré un avantage de cet alliage par rapport à la manganine.

M. le PRÉSIDENT constate que les opinions sur la qualité de l'or-chrome ne sont pas très concordantes, mais M. SCHULZE ayant trouvé ses résistances meilleures, il serait intéressant de continuer leur étude. M. VOLET suggère que l'introduction d'un troisième constituant dans l'or-chrome pourrait conduire à la réalisation d'alliages intéressants pour lesquels la tolérance sur la composition serait peut-être plus large.

M. le PRÉSIDENT engage la discussion sur l'étude des éléments Weston.

M. SILSBEE distribue un rapport de M^{me} BRICKWEDDE sur les éléments Weston contenus dans un récipient en silice. La stabilité n'a pas été aussi bonne qu'on l'espérait, mais les études continuent.

M. NAKAJI déclare que les résultats obtenus par l'Electrotechnical Laboratory, publiés en annexe, sont analogues à ceux du National Bureau of Standards.

M. HARTSHORN rappelle qu'il a comparé, il y a 14 ans, des éléments dont le récipient était, soit en verre à la soudé, soit en verre au plomb, et qu'il n'a constaté aucune différence appréciable. M. SILSBEE a observé des piles dont le comportement reste inexplicable : un même élément demeure stable pendant plusieurs années, puis change de valeur et se stabilise à nouveau pendant plusieurs

années sur une valeur supérieure ou inférieure à la précédente.

M. de la GORCE précise que le Laboratoire Central des Industries Électriques possède des éléments presque parfaitement stables et âgés de plus de 20 ans ; ce sont des éléments acides en verre d'Iéna, construits vraisemblablement par M^{me} Foehringer. M. KOLOSsov a observé que les verres alcalins font changer la force électromotrice et il se sert de verre dur. A l'Institut de Métrologie de l'U. R. S. S., jusqu'en 1948, on se servait comme étalon du volt international, d'un groupe de 25 éléments étalons internationaux dont la force électromotrice a été définie à l'aide d'un voltamètre à nitrate d'argent et des étalons mercuriels de l'ohm international (*Procès-Verbaux*, 1933, 2^e série, t. XVI, Annexe n^o 19, p. 150). Depuis 1948, une nouvelle valeur, en volts absolus a été attribuée au groupe d'étalons de force électromotrice. Chaque année on compare le groupe d'étalons de force électromotrice avec les éléments étalons de référence. Actuellement, la force électromotrice du groupe d'étalons du volt est contrôlée à l'aide d'une balance de courant avec une erreur qui ne dépasse pas un cent-millième.

M. le PRÉSIDENT engage ensuite la discussion sur les propositions des Laboratoires concernant les spécifications des étalons de résistance et de différence de potentiel. M. HARTSHORN fait remarquer que ces spécifications deviennent inutiles depuis l'adoption des unités absolues ; mais on peut donner des conseils de construction.

M. KOLOSsov expose que la construction des éléments étalons de force électromotrice se fait à l'Institut de Métrologie d'après une spécification détaillée, basée sur la spécification de 1928, et que la reproductibilité présente des écarts par rapport à la moyenne qui ne dépassent

pas 1 cent-millième (publication de la Chambre Centrale des Poids et Mesures, n° 60, 1928, p. 28 à 31, annexe 1). L'expérience des premières comparaisons, dont on a fait le rapport en 1927 à la Septième Conférence Générale (*Comptes Rendus*, Annexe 13, p. 122-126), montre qu'à la suite des ébranlements lors du transport des éléments, il s'opère des changements de leur force électromotrice, et dans certains éléments on constate un mélange des divers ingrédients contenus dans la branche cathodique.

M. KOLOSsov fait remarquer qu'en raison de sa grande mobilité, le mercure, pendant les transports, détruit mécaniquement la couche de pâte et de cristaux formée par le sulfate de cadmium dans la branche cathodique. Pour empêcher le mercure de se déplacer librement, on a fait depuis 1928 deux étranglements ronds au bas de l'enveloppe en verre de l'élément (*Annales de la Chambre Centrale des Poids et Mesures*, 3^e partie, t. 15, 1929, p. 104). Le transport des éléments de ce type, d'Europe en Amérique et retour, a montré que la force électromotrice ne change pratiquement pas à la suite du transport, malgré le trajet de près de 30 000 km (*Procès-Verbaux*, 1931, 2^e série, t. XIV, p. 199). Actuellement tous les éléments normaux sont fabriqués à l'Institut de Métrologie, d'après une nouvelle spécification. La description des récipients est donnée dans les Rapports de la Chambre Centrale des Poids et Mesures de l'U. R. S. S. aux Comités Consultatifs d'Électricité et de Photométrie (*Éléments normaux Weston comme étalons du volt international*, par A. C. KOLOSsov, Publication de la Chambre Centrale des Poids et Mesures; n° 100, 1932, p. 66-76).

En résumé, M. KOLOSsov recommande d'introduire dans la spécification le texte suivant : « Pour éviter le

mélange des ingrédients contenus dans les éléments normaux lors des transports, il est recommandé d'employer une enveloppe en verre comportant un étranglement supplémentaire pour retenir le mercure au bas de la branche cathodique de l'élément ».

M. KOLOSsov recommande en outre : 1° d'employer dans l'électrolyte une solution saturée de sulfate de cadmium qui contienne 0,03 N d'acide sulfurique; 2° d'élaborer une spécification plus détaillée pour la fabrication des éléments normaux étalons en se basant sur les spécifications des Laboratoires nationaux.

M. ZICKNER fait part d'essais de stabilité dans lesquels on soumettait les éléments à des vibrations horizontales ou verticales d'amplitude 1 mm à une fréquence de 30 à 50 par seconde et d'une durée de 6 à 8 minutes. Les modifications causées par ce traitement disparaissent en quelques jours.

M. LECLERC a constaté que les éléments qui ont souffert de vibrations ou d'un retournement pendant le transport ne retrouvent pas leur valeur initiale.

M. VOLET a remarqué dans le rapport de M. SCHULZE (Annexe E 21, p. E 127) une allusion à un essai pour conserver l'unité de résistance avec du mercure dans un tube de silice. Il serait très précieux de pouvoir conserver les unités avec des étalons de constitution nettement différente; c'est pourquoi de telles études doivent être encouragées. Un projet est à l'étude au Bureau International.

M. HARTSHORN rapporte qu'un long travail a été effectué au National Physical Laboratory pour tenter de conserver l'unité de résistance avec des bobines de platine; mais les

résultats ont été décevants, le métal est trop doux et un petit choc suffit pour changer sa résistance.

Au sujet des piles étalons, M. SOMEDA suggère que les récipients pourraient être constitués par une de ces matières synthétiques nouvelles, telles que le polyéthylène, qui est aussi inattaquable que la paraffine. M. HARTSHORN a eu des difficultés d'étanchéité avec du polystyrène.

M. le PRÉSIDENT constate que des spécifications trop rigoureuses sont à éviter. M. SILSBEE dit qu'aux États-Unis il n'y a pas de spécifications officielles, mais seulement une description de ce qui a été fait. M. HARTSHORN est d'accord avec cette façon de procéder.

M. TERRIEN propose que des spécifications portant uniquement sur les dimensions extérieures des étalons de résistance soient adoptées par tous les Laboratoires, afin d'éliminer de petites difficultés matérielles qui se présentent au Bureau International pour l'intercomparaison de ces étalons. Une telle normalisation ne devrait pas gêner des essais en vue de progrès nouveaux. Il est convenu qu'un projet de normalisation sera soumis dans la deuxième séance.

M. le PRÉSIDENT demande à MM. TERRIEN et LECLERC de présenter les résultats des comparaisons internationales électriques de 1950. Il désire diviser en deux parties les discussions sur ce sujet : 1° la substance des mesures avec les résultats sous forme de moyennes algébriques; 2° l'étude des différents procédés de pondération.

En présentant les Rapports du Bureau International (Annexes E 8 et E 9, p. E 62 et E 74), M. LECLERC rappelle que le Comité International de 1948 avait demandé que tous les étalons soient présents simultanément au Bureau International pour participer aux intercomparaisons. Cette

simultanéité n'a pu avoir lieu; mais, grâce à la stabilité des étalons du Bureau International, des rattachements ont pu être faits dans de bonnes conditions. D'autre part, plusieurs éléments Weston ont souffert pendant leur transport et certaines comparaisons ont dû être recommencées.

Les résultats donnés ne sont pas comparables à ceux de 1939, car dans l'intervalle on a substitué aux unités internationales les unités absolues. On ne sait pas comment le passage a été fait dans chaque laboratoire; il est donc difficile d'interpréter les petits écarts entre les unités des divers Laboratoires.

Depuis 1939, le Bureau International, isolé par la guerre, a dû chercher à conserver les unités moyennes établies en 1939. Il semble que les étalons matériels du Bureau International soient capables de conserver les unités pendant un assez grand nombre d'années.

M. le PRÉSIDENT constate, entre l'ohm moyen et le volt moyen de 1950 et les unités correspondantes conservées par le Bureau International, un petit écart de 2,5 microhms et de 2 microvolts. Il demande aux représentants des différents laboratoires si diverses circonstances, parmi lesquelles les événements de guerre, dont quelques Laboratoires ont beaucoup souffert, ont introduit quelques incertitudes dans la conservation des unités.

M. ZICKNER résume les observations du Dr. SCHULZE (Annexe E 21, p. E 127), d'après lesquelles les résistances étalons transportées de Weida à Berlin, résistances à la gomme laque, ont souffert de l'humidité en 1948. De même, les résistances étalons de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt ayant une valeur incertaine, l'unité de ce Laboratoire est actuellement fondée sur deux résistances étalons des États-Unis.

M. NAKAJI expose que les étalons de l'Electrotechnical Laboratory ont été évacués, puis réintégrés, par des personnes sans compétence et l'on ne sait ce qu'il est advenu pendant ces transports; quelques-uns des étalons avaient souffert.

M. le PRÉSIDENT remarque que les événements douloureux de la guerre ont introduit parfois un certain doute dans la continuité de la conservation des unités, et qu'il peut en résulter une incertitude sur les unités moyennes de 1950. Il demande au Comité comment l'on doit fixer les valeurs à attribuer aux étalons du Bureau International. M. HARTSHORN, pour cette année, préférerait que le Bureau International conservât ses unités sans changement puisque ses propres étalons n'ont pas voyagé, et que d'ailleurs la différence entre ses unités et les unités moyennes ne dépasse pas les variations possibles à la suite d'un transport.

M. le PRÉSIDENT constate que le Comité Consultatif est unanime pour recommander au Comité International de ne pas changer les valeurs que le Bureau International attribue à ses étalons.

M. le PRÉSIDENT résume ensuite la proposition du National Bureau of Standards tendant à donner un poids aux valeurs qui entrent dans le calcul de l'unité; puis il demande à M. SILSBEE de commenter cette proposition. M. SILSBEE, étant données les difficultés du temps de guerre, ne désire pas que la procédure s'applique à cette période. Mais pour l'avenir, il a suggéré une méthode de calcul de la moyenne sur laquelle il voudrait connaître l'avis des autres Laboratoires. M. le PRÉSIDENT constate que plusieurs documents se rapportent à cette proposition, sur laquelle il engage la discussion.

M. ZICKNER présente au Comité un autre projet, dans lequel le poids tiendrait compte de la différence entre les valeurs aller et retour de chacun des étalons (Annexe E 12, p. E 97).

Après un échange de vues, le Comité est unanime pour apprécier la valeur des propositions présentées et pour considérer qu'il y a lieu de les soumettre à une étude attentive avant de prendre une décision.

M. le PRÉSIDENT demande ensuite l'opinion du Comité sur la proposition d'inclure à l'avenir le Bureau International comme septième Laboratoire dans l'établissement de la moyenne. M. VOLET est sensible à la marque de confiance que constitue cette proposition, tout en notant que le Bureau International a une position particulière puisqu'il n'est pas chargé de réaliser les unités absolues.

M. HARTSHORN fait remarquer qu'en fait, le Comité a déjà accepté de donner cette année à l'unité conservée par le Bureau International un poids infini.

M. KOLOSsov déclare qu'il n'a aucun doute sur l'exactitude des travaux effectués par le Bureau International.

M. SILSBEE, qui est l'auteur de cette proposition, se déclare certain qu'à l'avenir, lorsque l'on prendra la moyenne des unités des divers Laboratoires, le Bureau International sera traité sur un pied d'égalité.

La séance est levée à 18^h.

PROCÈS-VERBAL

DE LA DEUXIÈME SÉANCE,

TENUE A L'INSTITUT D'OPTIQUE.

Vendredi 27 juin 1952.

PRÉSIDENCE DE M. H. KÖNIG.

Sont présents : MM. ALESSINE, DE LA GORCE, HARTSHORN, HÉROU, KOLOSOV, KÖNIG, NAKAJI, SILSBEE, VOLET, ZICKNER, Membres du Comité Consultatif, adjoints et spécialistes.

Invités : MM. AGALETZKI, SOMEDA, BONHOURE, TERRIEN, GAUTIER, LECLERC.

La séance est ouverte à 15^h 5^m.

M. le PRÉSIDENT présente le projet du Bureau International sur la normalisation des dimensions extérieures des étalons de résistance. Après un échange de vues, on constate que ces étalons sont utilisés de deux manières différentes : au Bureau International ils sont posés pendant les mesures sur le fond de la cuve, qui présente une ouverture aménagée pour la circulation de l'huile, tandis que dans les autres Laboratoires les étalons sont suspendus par leurs électrodes. M. HARTSHORN expose que cette dernière méthode permet d'avoir des résistances de connexion plus constantes. On décide donc de modifier le projet

présenté par le Bureau International et de fixer seulement une cote maximum pour la hauteur des électrodes (Annexe E 7, p. E 61).

M. le PRÉSIDENT engage alors la discussion sur le transport des éléments Weston. Cette question a déjà été partiellement traitée hier, M. KOLOSsov ayant mentionné que des transports à grandes distances avaient été effectués par l'Institut de Métrologie sans que ses étalons aient souffert.

M. LECLERC expose que, lors des voyages occasionnés par les dernières comparaisons, on a eu à déplorer le renversement des étalons du Deutsches Amt für Mass und Gewicht, et un changement de la valeur de ceux du National Physical Laboratory, alors que les étalons japonais, venus sans escorte, ont gardé une grande stabilité. Il y aurait intérêt à mettre les étalons dans une suspension à la cardan bien étudiée (*Procès-Verbaux*, 1935, 2^e série, T. XVII, p. 276).

M. ZICKNER a eu également des difficultés pour le transport de ses étalons. Les changements de leur valeur dépendent à la fois des fluctuations de la température et des ébranlements. Deux étalons qui avaient été transportés à Londres dans des caisses en bois avec emballage de fibre de bois et de caoutchouc mousse ont présenté des variations de 10 millièmes. D'autre part, les oscillations d'une suspension à la cardan peuvent finir par provoquer son retournement. Il a été étudié à la Physikalisch-Technische Bundesanstalt une suspension avec amortissement par frottement, dont M. ZICKNER fait circuler un croquis; il n'y a encore aucun résultat sur l'utilisation de cette suspension (Annexe E 16, p. E 112).

M. KOLOSsov indique que pour le transport des élé-

ments Weston de l'Institut de Métrologie, il utilise depuis dix ans un dispositif spécial consistant en des sphères lestées de plomb et libres de tourner sur des billes; ces sphères peuvent contenir cinq éléments placés sur des chevalets en bois avec interposition d'ouate. Les résultats sont très satisfaisants (Annexe E 17, p. E 114).

M. TERRIEN attire l'attention sur le fait que ces éléments soviétiques ont été transportés avec une surveillance constante. M. KOLOSsov ne pense pas que ce dispositif puisse être utilisé pour un envoi sans escorte.

M. le PRÉSIDENT aborde ensuite le problème des comparaisons futures. M. VOLET dit que le Bureau International est prêt à faire de nouvelles comparaisons et demande les suggestions des autres Laboratoires quant à la date à retenir. A ce sujet, il rappelle qu'il avait été convenu que ces comparaisons auraient lieu tous les deux ans. MM. SILSBEE et HARTSHORN sont d'accord pour recommander cet intervalle de deux ans.

De la discussion qui suit, se dégage l'opinion qu'il y a lieu de fixer à l'été 1953 l'époque des prochaines comparaisons internationales. Après avoir entendu les desiderata exprimés par les différents Laboratoires, on reconnaît que le mois de mai est le plus opportun pour l'envoi des étalons au Bureau International.

M. KOLOSsov pense que pour élever la précision des comparaisons faites au Bureau International, il serait nécessaire d'élaborer, outre une spécification pour la fabrication des éléments normaux, une méthode de mesure de la force électromotrice des éléments normaux étalons à l'aide des balances de courant et des potentiomètres.

M. le PRÉSIDENT présente le projet de l'Institut de Métrologie de l'U. R. S. S. concernant l'étude des étalons

magnétiques par le Bureau International. M. KOLOSsov ajoute les commentaires suivants :

« La proposition concernant la conservation et l'étude par le Bureau International des Poids et Mesures des étalons d'intensité de champ magnétique et de flux magnétique se justifie suffisamment par le niveau élevé atteint actuellement par la métrologie de ces grandeurs.

« L'Institut de Métrologie Mendéléev (I. M.) propose, en se basant sur son expérience, de créer des étalons d'intensité de champ magnétique et de flux magnétique sous forme de bobines, que les divers Laboratoires nationaux de métrologie prêteraient au Bureau International des Poids et Mesures.

« Ces bobines devront être déterminées par les Laboratoires nationaux dans le système des unités absolues.

« La méthode d'étalonnage employée par l'I. M. et la description de l'appareil étalon sont publiées dans les Travaux de l'I. M.

« Cependant l'I. M. ne demande pas qu'on impose ce procédé et considère comme désirable qu'on étudie toute autre méthode permettant de déterminer les constantes des bobines dans le système absolu.

« Il serait souhaitable d'avoir au Bureau International, comme représentation matérielle des unités d'intensité de champ magnétique et de flux magnétique, les bobines suivantes :

« 1^o La bobine, reproduisant le flux magnétique, doit être une bobine d'inductance mutuelle de 0,01 henry absolu et de résistance ohmique de quelques ohms. La bobine ne doit pas avoir de matières ferromagnétiques et doit posséder un coefficient d'inductance mutuelle à faible coefficient de température.

« 2^o La bobine d'intensité de champ magnétique doit

avoir une constante de 50 à 100 cersteds par ampère et une résistance de quelques ohms. Elle doit être accompagnée d'une bobine de mesure dont la surface totale des spires soit telle que ces deux bobines puissent former ensemble la bobine d'inductance mutuelle de 0,01 henry.

« La résistance ohmique de la bobine de mesure doit être de quelques dizaines d'ohms au plus.

« La bobine d'intensité de champ magnétique doit être construite de manière à avoir un volume intérieur assez grand pour que l'intensité du champ magnétique puisse être considérée comme uniforme. Ce volume doit être plus grand que le volume de la bobine de mesure qu'on place à l'intérieur de la bobine reproduisant l'intensité de champ.

« Lorsque tous les Laboratoires nationaux auraient rempli ces exigences, il deviendrait facile de réaliser les intercomparaisons de bobines qu'on présente au Bureau International et d'effectuer le contrôle des mesures de champ et de flux magnétiques réalisés dans les divers Laboratoires de métrologie.

« Comme méthode de comparaison à utiliser au Bureau International, on peut recommander celle qu'on emploie à l'I. M. et au National Bureau of Standards et qui est basée sur l'emploi d'un pont dans lequel un galvanomètre balistique sert d'indicateur et des résistances ohmiques servent d'éléments réglables.

« Conformément aux considérations précitées, on pourrait soumettre les propositions suivantes au Comité International.

« 1° Le Comité Consultatif d'Électricité devrait étudier les questions relatives à l'établissement d'étalons représentant les unités absolues d'intensité de champ magnétique et de flux magnétique.

« 2° Le Comité Consultatif d'Électricité devrait demander aux Laboratoires métrologiques nationaux des rapports sur leurs travaux effectués en vue de la représentation des unités d'intensité de champ magnétique et de flux magnétique dans le système des unités absolues. Ces rapports devraient envisager l'établissement des étalons des unités magnétiques au Bureau International des Poids et Mesures et les dispositions à prendre pour l'organisation des comparaisons par le Bureau International.

« 3° Le Bureau International des Poids et Mesures aurait à organiser en 1953-1954 des comparaisons des étalons magnétiques des Laboratoires nationaux. »

M. VOLET fait remarquer que ce n'est pas la première fois que la délégation soviétique fait une telle proposition; elle l'a déjà présentée en particulier à la Conférence Générale de 1948. Cependant cette suggestion ne semble pas avoir retenu l'attention des autres Laboratoires, malgré l'intérêt qu'elle présenterait pour l'amélioration des mesures absolues des unités électriques, ainsi que M. ROMANOWSKI l'a fait, depuis longtemps, remarquer.

M. VOLET expose, d'autre part, que le Bureau International ne pourrait entreprendre cette nouvelle tâche sans que son budget soit augmenté.

M. HARTSHORN souligne que cette question est difficile, car les étalons magnétiques sont trop encombrants pour être transportés facilement. On pourrait d'abord se borner aux comparaisons d'étalons de flux magnétique sous forme d'inductances mutuelles. M. KOLOSsov pense qu'il serait intéressant d'avoir l'avis des autres Laboratoires et, sur la demande de M. VOLET, il ajoute que la précision nécessaire serait de 1 dix-millième à 5 cent-millièmes.

M. DE LA GORCE trouve la proposition de M. KOLOSsov très intéressante, et il demande que l'on fixe l'ordre de grandeur des étalons.

M. NAKAJI s'informe si le Bureau International a des relations avec l'Association Internationale de Magnétisme et d'Électricité Terrestre, car, au Japon, l'Observatoire du Magnétisme travaille en collaboration avec cette Association. M. VOLET pense en effet que la question des étalons magnétiques intéresse surtout les géophysiciens. Cependant, M. HARTSHORN réplique qu'en ce qui concerne l'étalon de flux magnétique, la question intéresse directement les électriciens. On pourrait, d'après lui, obtenir la précision de 5 cent-millièmes avec des inductances de 10 mH, qui seraient facilement transportables.

M. le PRÉSIDENT attire l'attention sur le fait qu'il conviendrait de fixer aussi la fréquence du courant servant à mesurer ces inductances; la valeur de celles-ci dépend de cette fréquence. Une fréquence de 10 hertz est employée au National Physical Laboratory et 100 hertz au Laboratoire Central des Industries Électriques. M. HARTSHORN signale que cette influence est peu importante aux basses fréquences si l'on ne recherche qu'une précision de 5 cent-millièmes.

M. VOLET demande que l'on décide, si, en principe, il est désirable que le Bureau International s'équipe pour effectuer de telles mesures. M. DE LA GORCE fait remarquer qu'il a déjà été proposé que le Bureau International fasse des mesures d'inductance et que cette nouvelle proposition reste dans la même ligne (*Procès-Verbaux du Comité Consultatif d'Électricité*, 1939, p. 31). M. HARTSHORN pense que c'est surtout une question de crédits qui retient le Comité International.

M. le PRÉSIDENT indique qu'en Suisse, et sans doute dans de nombreux petits pays, il est impossible de faire des mesures absolues et l'on est obligé de s'adresser aux autres Laboratoires pour obtenir une unité de flux magnétique. Il pense donc qu'il serait souhaitable que le Bureau International s'occupât de comparaisons de ce genre. M. ZICKNER fait d'ailleurs remarquer que des comparaisons d'étalons magnétiques ont déjà été faites ce printemps entre le National Physical Laboratory et la Physikalisch-Technische Bundesanstalt, ce qui prouve bien la nécessité de ces échanges. Il croit qu'il serait bon que l'on organisât des comparaisons internationales d'étalons d'inductance et de capacité.

M. KOLOSsov pense que l'appareillage à acquérir ne serait pas très compliqué, mais il faudra néanmoins envisager d'accorder des crédits supplémentaires au Bureau International.

M. le PRÉSIDENT ajoute que les Laboratoires pourraient mettre leur expérience au service du Bureau International, ce qui faciliterait grandement sa tâche. Il suggère aussi que le Bureau International fasse une enquête auprès des Laboratoires nationaux, afin d'établir un projet de dépenses. M. VOLLET appuie cette proposition.

M. le PRÉSIDENT aborde alors le point de l'Ordre du Jour relatif à l'amélioration des installations de mesure du Bureau International.

M. LECLERC indique que quelques améliorations ont été apportées au pont double servant à la mesure des étalons de résistance; la température est rendue plus uniforme grâce à une cuve de plus grande capacité munie d'un système amélioré pour l'agitation de l'huile; une modifi-

cation du pont permet une meilleure élimination de la résistance des connexions.

M. HÉROU ajoute quelques commentaires au document remis par le Laboratoire Central des Industries Électriques. La méthode indiquée pour la comparaison des résistances a été adoptée afin de pouvoir comparer des étalons ayant des connexions de résistances très différentes. On a pu changer de 1 centième d'ohm la résistance des prises d'un étalon sans détruire l'équilibre.

M. le PRÉSIDENT propose que cette méthode soit adoptée par le Bureau International; mais M. VOLET fait remarquer qu'il est déjà fait usage au Pavillon de Breteuil d'une autre méthode présentant les mêmes avantages.

M. le PRÉSIDENT donne la parole à M. VOLET pour exposer la question du Règlement du Comité Consultatif d'Électricité.

M. VOLET signale que le Comité Consultatif d'Électricité est le plus ancien des Comités Consultatifs; il a en effet plus de 20 ans, et il paraît maintenant désirable de réviser son Règlement. Le nouveau Règlement serait d'ailleurs commun aux trois Comités Consultatifs, l'article 1 mis à part.

Le Règlement en vigueur stipule que le Comité Consultatif d'Électricité est chargé de s'occuper des questions relatives aux étalons. On pourrait étendre sa compétence, comme cela est déjà fait pour le Comité Consultatif de Photométrie, en disant qu'il s'occupe des questions relatives aux systèmes de mesure et étalons du domaine électrique.

Une autre question est celle de la composition du Comité Consultatif d'Électricité. Celui-ci est formé de dix membres : des délégués des Instituts nationaux, et

des spécialistes. En outre, le Directeur du Bureau fait partie de droit du Comité; mais il n'est pas indiqué si lui-même et le Président doivent être comptés parmi les dix membres. S'il en était ainsi, il resterait trop peu de place pour les spécialistes. Dans la nouvelle rédaction, on pourrait ne pas limiter le nombre des membres.

M. le PRÉSIDENT fait remarquer qu'il conviendrait que tous les Laboratoires qui exécutent des mesures absolues fussent conviés à désigner un membre du Comité Consultatif.

M. SOMEDA dit qu'il enverra une documentation sur l'Institut Électrotechnique National Galileo Ferraris, qui effectue des mesures de précision, mais pas de déterminations absolues. M. KOLOSsov est d'accord pour ne pas limiter à six le nombre des Instituts nationaux.

A propos de l'article 4 du Règlement, M. VOLET fait observer que le Comité Consultatif, comme l'indique son nom, ne donne que des conseils et n'a pas à prendre de décision.

M. le PRÉSIDENT revient sur la question des systèmes d'unités. Il constate que le Comité Consultatif d'Électricité doit rester en contact avec plusieurs groupements qui s'occupent également de ces questions, comme la Commission S.U.N. de l'Union Internationale de Physique Pure et appliquée et la C. I. E. Le Comité Consultatif pourrait être un élément de liaison entre ces organismes, qui n'ont pas la même force légale que le Comité International. M. VOLET fait remarquer à ce sujet que le Comité Consultatif étant créé pour aider le Comité International, il est normal qu'il s'occupe des questions traitées au Comité International, et en particulier de la question des systèmes d'unités qui fait précisément l'objet d'une enquête de la part du Comité International.

A la suite de cette intervention, l'unanimité est faite sur les propositions de M. VOLET, relatives aux modifications à apporter au Règlement du Comité.

M. le PRÉSIDENT aborde alors la question des documents à publier. Il est admis que certains de ces documents, reflétant l'opinion des délégations, seront publiés en partie dans les *Procès-Verbaux*, et en partie dans les *Annexes*.

M. DE LA GORCE exprime ses remerciements et ceux de tout le Comité à M. KÖNIG pour avoir présidé avec art, clarté et méthode cette session, au cours de laquelle des résultats pratiques et intéressants ont été obtenus.

M. le PRÉSIDENT remercie à son tour ses collègues. C'est pour lui un honneur auquel il ne s'attendait pas d'avoir été nommé à ce poste. Sa gratitude va à tous ceux qui l'ont aidé dans ce travail, et en particulier à M. VOLET et ses collaborateurs. Il remercie aussi M. FLEURY, pour l'hospitalité qu'il a accordée au Comité Consultatif à l'Institut d'Optique.

La séance est levée à 17^h 40^m.

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

Par P. DE LA GORCE, Rapporteur.

Le Comité Consultatif d'Électricité s'est réuni le 26 juin 1952, au Pavillon de Breteuil à Sèvres et le 27 juin 1952 à l'Institut d'Optique que son Directeur, M. P. FLEURY, avait mis aimablement à la disposition du Comité.

Étaient présents : MM. ALESSINE, DE LA GORCE, HARTSHORN, HÉROU, KOLOSsov, KÖNIG, NAKAJI, SILSBEE, VOLET, ZICKNER, Membres du Comité Consultatif, adjoints et spécialistes.

Invités : MM. AGALETZKI, SOMEDA, BONHOURS, TERRIEN, GAUTIER, LECLERC.

Étaient excusés : MM. SEARS et SCHULZE.

M. SEARS, Président du Comité Consultatif, ne pouvant assister aux séances avait prié M. KÖNIG d'assumer les fonctions de Président.

M. VOLET ouvrit la séance en souhaitant la bienvenue aux Membres du Comité et en remerciant M. KÖNIG d'avoir bien voulu accepter la charge de diriger les travaux

de la session ; sur sa proposition il fut décidé de répondre par télégramme aux vœux exprimés par M. SEARS.

M. KÖNIG, prenant la présidence, remercia M. VOLET et annonça la démission de M. LOMBARDI.

M. M. GAUTIER fut nommé Secrétaire et M. DE LA GORCE Rapporteur.

TRAVAUX SUR LES UNITÉS ABSOLUES.

Une détermination partielle de l'ohm absolu faite en 1952 au National Physical Laboratory a conduit à un résultat différant seulement de $3 \cdot 10^{-6}$ du résultat obtenu en 1936. D'autre part, une mesure par la méthode de Wenner faite récemment au National Bureau of Standards donna un chiffre différant dans l'autre sens d'environ 15 millièmes. Des travaux sont actuellement effectués à la Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Annexe E 2, p. E 39) et à l'Institut de Métrologie de l'U. R. S. S.

Deux projets sont en cours d'exécution au National Bureau of Standards : le premier concerne la détermination de l'ampère au moyen d'une balance de courant du type de Pellat ; le deuxième a pour objet la construction d'un condensateur à air calculable avec précision. Ce dernier appareil, comparé à une capacité mesurée en unités électromagnétiques, permettrait de déterminer c (vitesse de la lumière) en fonction de l'ohm absolu, ou inversement l'ohm absolu en fonction de c .

Il est peu probable que les travaux en projet ou en cours sur les unités absolues puissent aboutir à des résultats numériques avant 1955.

CONSERVATION DES UNITÉS.

L'emploi de l'alliage chrome-or au lieu de manganine pour les étalons de résistance donna lieu à un intéressant

échange de vues. Les opinions émises furent peu concordantes, mais les bons résultats obtenus par M. SCHULZE (Annexe E 3, p. E 41) incitent à poursuivre l'étude de l'alliage chrome-or.

Les éléments Weston construits avec des récipients en silice ont donné des résultats un peu décevants au National Bureau of Standards et à l'Electrotechnical Laboratory où ont été expérimentés des récipients en pyrex et en silice (Annexe E 4, p. E 51); M. HARTSHORN rappela que des comparaisons déjà anciennes faites avec des verres à la soude et des verres au plomb n'avaient pas donné de différences appréciables.

Des éléments Weston acides en verre d'Iéna, conservés au L. C. I. E., restent parfaitement stables depuis plus de 20 ans. On a constaté à l'Institut de Métrologie de l'U. R. S. S. que les verres alcalins faisaient changer la force électromotrice; on se sert de verre dur.

SPÉCIFICATIONS DES ÉTALONS.

De telles spécifications avaient été proposées autrefois; elles ne paraissent plus nécessaires depuis l'adoption des unités absolues, mais on peut recommander certains types de construction.

Des échanges de vues eurent lieu sur le mode de construction des éléments Weston et sur leur stabilité lorsqu'ils subissent des secousses ou des vibrations.

Afin d'éviter quelques difficultés matérielles rencontrées dans les comparaisons au Bureau International, le Comité a proposé de fixer une cote maximum pour la hauteur des électrodes des étalons de résistance (Annexe E 7, p. E 61).

Des expériences sont en projet en Allemagne et au Bureau International des Poids et Mesures pour conserver

l'ohm au moyen d'une résistance en mercure contenue dans un tube de silice.

TRANSPORT DES ÉLÉMENTS WESTON.

Lors des dernières comparaisons du Bureau International, les étalons allemands et anglais ont souffert du transport, tandis que les étalons japonais, emballés avec suspension à la cardan et envoyés par avion sans escorte, ont gardé leur stabilité.

Des suspensions empêchant le retournement des éléments Weston sont employées depuis 10 ans par l'Institut de Métrologie de l'U. R. S. S.; un autre type avec dispositif d'amortissement des oscillations, est à l'essai en Allemagne.

COMPARAISONS INTERNATIONALES.

Les résultats des comparaisons internationales des étalons électriques effectuées au Bureau International en 1950 (Annexes E 8 et E 9, p. E 62 et E 74), furent présentés au Comité, avec les remarques suivantes :

a. Les mesures n'ont pu être réalisées simultanément, comme l'avait recommandé le Comité International. Des incidents de transport ont obligé à recommencer certaines comparaisons. Cependant la stabilité des étalons du Bureau International a permis les rattachements dans des conditions satisfaisantes.

b. Les résultats ne sont pas comparables à ceux de 1939 en raison du passage aux unités absolues.

c. Le Bureau International, qui s'est trouvé isolé pendant la période de guerre, s'est attaché à conserver les unités moyennes et la constance de ses étalons matériels a permis d'assurer cette conservation.

Entre l'ohm moyen et le volt moyen de 1950 et les unités correspondantes conservées depuis 1939 par le Bureau International, il n'y a que de faibles écarts : $2,5 \mu\Omega$ et $2 \mu V$.

Dans certains laboratoires, les événements de la guerre ont introduit quelques incertitudes dans la conservation des unités, en particulier en Allemagne et au Japon.

Dans ces conditions, le Comité Consultatif fut unanime pour recommander de ne pas changer les valeurs que le Bureau International attribue à ses étalons.

Sur la proposition du National Bureau of Standards tendant à donner un poids aux unités qui entrent dans le calcul de la moyenne (Annexe E 10, p. E 87), M. SILSBEE n'insista pas pour une application immédiate, mais demanda l'avis des autres Laboratoires sur la méthode de calcul envisagée. M. ZICKNER suggéra de tenir compte de la stabilité de l'étalon au cours du transport.

Le Comité, appréciant l'intérêt de ces propositions, fut d'avis qu'une décision ne saurait intervenir avant une étude approfondie.

Une autre suggestion du National Bureau of Standards avait pour objet d'inclure le Bureau International comme septième Laboratoire pour l'établissement de la moyenne. Bien que le Bureau International ne soit pas chargé de réaliser les unités absolues, le Comité fut d'avis qu'après la période transitoire actuelle, lorsque l'on prendra la moyenne des unités des divers Laboratoires, le Bureau International soit traité sur un pied d'égalité.

Il avait été convenu que les comparaisons électriques internationales auraient lieu tous les deux ans. Le Comité confirme cet usage et préconise l'envoi des étalons pour les prochaines comparaisons en mai 1953.

ÉTALONS MAGNÉTIQUES.

L'Institut de Métrologie de l'U. R. S. S. fit une proposition (Annexe E 18, p. E 115) concernant l'étude des étalons magnétiques par le Bureau International, en soulignant l'intérêt que présenteraient la conservation et l'étude par le Bureau International des étalons de champ magnétique et de flux magnétique; il proposa que ces étalons, réalisés dans les laboratoires nationaux sous forme de bobines, soient prêtés au Bureau International. M. VOLET rappela que la proposition avait déjà été étudiée mais n'avait pas été retenue, malgré l'intérêt qu'elle présente. Des comparaisons d'inductance sur le plan international pourraient, comme l'avait suggéré M. ROMANOWSKI, contribuer au progrès des mesures absolues des unités électriques. Mais cette nouvelle tâche impliquerait l'octroi de crédits supplémentaires au Bureau International.

Le Comité estime que de telles comparaisons seraient utiles; mais la question financière restant le principal obstacle à l'exécution de ce programme, il a été suggéré que le Bureau International fasse une enquête auprès des Laboratoires nationaux afin d'établir un projet de dépenses.

AMÉLIORATION DES INSTALLATIONS DU BUREAU INTERNATIONAL.

Deux perfectionnements ont été apportés au pont double servant à la comparaison des étalons de résistance; ils ont eu pour résultat une répartition plus uniforme de la température et une meilleure élimination de la résistance des connexions.

M. HÉROU intervenant à propos de ce dernier point commenta brièvement le document du L. C. I. E.

(Annexe E 19, p. E 117) où est décrite une méthode de comparaison des étalons ayant des résistances de connexion très différentes.

Le Comité Consultatif d'Électricité approuva l'idée d'une révision de son Règlement par le Comité International.

Avant la clôture de la session, M. DE LA GORCE, au nom du Comité, remercia M. KÖNIG d'avoir dirigé les débats de façon si courtoise et si efficace. M. KÖNIG remercia à son tour ses collègues et exprima, en particulier, sa gratitude à M. VOLET et à ses collaborateurs.

ANNEXE E 1.

Electrotechnical Laboratory, Tokyo.

DÉTERMINATION DE L'OHM ABSOLU

Le Laboratoire Électrotechnique a procédé à la détermination absolue de l'ohm, au moyen d'un pont de Maxwell-Wien et d'un pont à interrupteur de Maxwell. On se propose de fabriquer quelques inducteurs enroulés sur du verre dur, fabriqué par

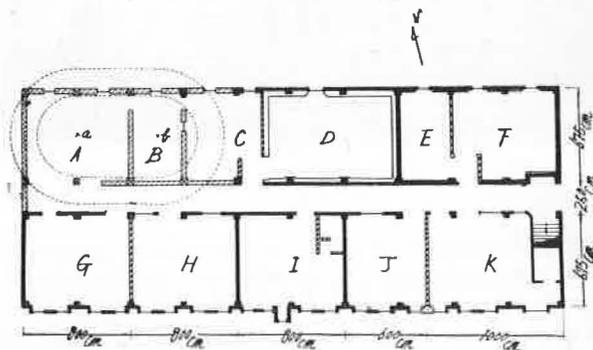


Fig. 1.

l'Institut Gouvernemental de Recherche chimico-industrielle à Osaka, de déterminer leurs valeurs, et de les vérifier au moyen de mesures comparatives entre eux. Pour la mesure des dimensions, on va employer une méthode d'interférence de la lumière. Pour faciliter les expériences, on vient de construire des cabinets d'expérience en béton armé. Dans les cabinets A

et B où l'on s'occupe des travaux électriques, on n'emploie aucune substance ferromagnétique. Les armatures des plafonds et des colonnes de ces cabinets sont en acier au manganèse non magnétique (Mn 14 %) dont la perméabilité magnétique est d'environ 1,02, et les murs sont en pierre. La hauteur de 5,1 m entre le plafond et le plancher de chacun des cabinets a été adoptée en considération des résultats obtenus d'après le calcul fait sur l'influence éventuelle des substances magnétiques sur

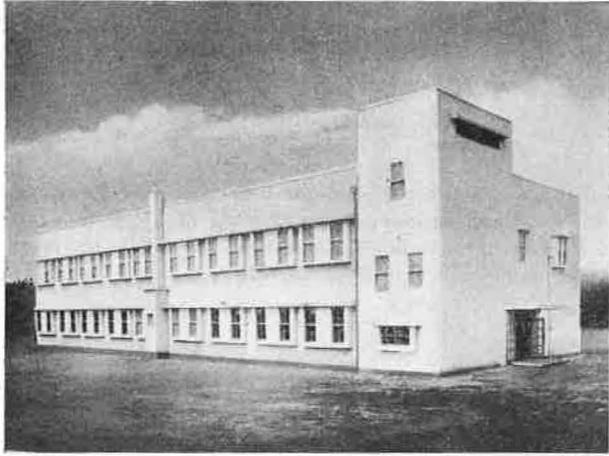


Fig. 2.

l'inducteur, si l'on mettait celui-ci au centre d'une couche sphérique de telles substances ⁽¹⁾. Le cabinet D qui est destiné aux travaux de fabrication et aux mesures des dimensions est isolé thermiquement par l'application de laine de roche et l'on peut y faire un contrôle précis de la température.

Dans les cabinets E et F, destinés respectivement aux examens des éléments étalons et des étalons de résistance, on peut faire baisser la température intérieure à 15° C même dans le cas où celle de l'atmosphère est de 30° C.

⁽¹⁾ K. HARA, *Bulletin du Laboratoire Électrotechnique*, t. 14, 1930, p. 360.

ANNEXE E 2.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.

PROGRAMME

POUR

UNE NOUVELLE DÉTERMINATION
DE L'UNITÉ ABSOLUE DE RÉSISTANCE

Par G. ZICKNER.

Dès 1910, Grünisen et Giebe avaient essayé à la P. T. R. de ramener, au moyen d'un pont à résonance, la valeur de l'inductance de bobines cylindriques à une couche calculées avec exactitude, à la valeur d'une capacité mesurée par une méthode absolue. Ils en déduisaient, par comparaison des valeurs mesurées et des valeurs calculées, la relation entre l'ohm international et l'ohm absolu. Ce fut sans succès, car à cette époque on ne disposait pas de fréquences musicales suffisamment constantes. Pour cette raison, au lieu du pont à résonance on employait, comme l'avait proposé Rosa, le pont de Maxwell dont les conditions d'équilibre sont indépendantes de la fréquence utilisée. Plus tard, cette méthode de détermination de l'ohm a été employée plusieurs fois au N. B. S.

Maintenant qu'un étalon de fréquence d'une précision plus que suffisante est à notre disposition, rien ne s'oppose plus à l'emploi du pont à résonance. Cependant, pour éviter la mesure absolue, toujours difficile à exécuter, de la capacité par la méthode de l'interrupteur tournant de Maxwell-Thomson, on remplace cette mesure par une comparaison de L et de C au pont de Maxwell.

On obtient donc les relations

$$\frac{L}{C} = R_1 R_2 \quad \text{à l'aide du pont de Maxwell,}$$

$$LC = \frac{I}{\omega^2} \quad \text{à l'aide du pont à résonance.}$$

Il en résulte par élimination de C :

$$\omega L = \sqrt{R_1 R_2}.$$

En posant

$$R_1 = (1 + \delta_1) 10^{\psi_1} R,$$

$$R_2 = (1 + \delta_2) 10^{\psi_2} R,$$

on aura une équation de définition de la forme

$$R = \omega L (1 - \delta) \cdot 10^{-\psi},$$

où ψ et δ s'obtiennent d'une manière simple à partir de ψ_1, ψ_2 et de δ_1, δ_2 ; ω est donné par le quartz oscillant avec une précision suffisante, L est obtenu par le calcul à partir des dimensions géométriques de la bobine. Accessoirement, on obtient la mesure absolue de la capacité par la formule

$$C = \frac{1 - \delta}{\omega R} \cdot 10^{-\psi}.$$

Cette méthode a l'avantage que C est chargé dans les deux ponts avec un courant alternatif sinusoïdal et non une fois avec du courant sinusoïdal et une fois avec du courant continu haché, comme dans la méthode de Rosa. Dans celle-ci, on suppose que C a exactement la même valeur avec les deux sortes de courant, ce qui est sans doute vraisemblable pour des condensateurs à air, mais n'est en général pas prouvé avec une précision suffisante comme étant effectivement exact. On ne peut vraisemblablement pas éviter une comparaison expérimentale de bobines d'inductance différente quand on passe d'un des ponts à l'autre.

Naturellement, on profite de toutes les nouvelles améliorations de la précision de mesure, comme par exemple la climatisation du laboratoire, l'amplification accordée de l'indicateur et l'emploi d'un galvanomètre à vibration accordé à distance. Nous avons l'intention de nous procurer deux cylindres de mêmes dimensions, sur l'un le fil de cuivre est engagé dans une rainure hélicoïdale, alors qu'il est enroulé sur la surface polie de l'autre cylindre. Dans le premier cas c'est le pas de la bobine qui est le mieux défini, dans le deuxième cas c'est son diamètre.

Nous avons encore de très grandes difficultés pour l'acquisition de cylindres en céramique, en verre dur ou en quartz pouvant servir de corps de bobine.

ANNEXE E 3.

Deutsches Amt für Mass und Gewicht, Berlin.

RÉSISTANCES ÉTALONS EN OR-CHROME

Par A. SCHULZE.

Jusqu'à présent on a utilisé pour la constitution des résistances étalons presque uniquement des alliages de métaux non précieux, et avant tout la manganine [1]. Plus tard on a cherché à employer dans ce but des métaux précieux de très grande pureté, surtout l'or et le platine [2]. Ceux-ci ont cependant un coefficient de température élevé, environ 4 ‰. Il en résulte qu'un changement de 0,001 degré de la température d'un fil de ces métaux provoque une variation de sa résistance de 4 millièmes. Ainsi l'emploi de métaux précieux purs pour la construction de résistances étalons se heurte à de grandes difficultés à cause de la mesure de la température qui, naturellement, entraîne une incertitude notable si l'on est très exigeant. A la P. T. R. on n'a pas suivi ce chemin, mais on a préféré créer des *alliages* de métaux précieux ayant un coefficient de température particulièrement faible. L'alliage d'or-chrome à 2,05 % en poids de chrome rentre dans cette catégorie; il s'est avéré tout particulièrement apte à l'emploi dans les résistances étalons [3]. Celles-ci sont certainement supérieures aux résistances de manganine employées autrefois en Métrologie. Pour le moment nous avons déjà sur les résistances d'or-chrome une expérience de plus de 15 ans dont nous allons parler dans ce qui suit.

La construction des premières résistances étalons faites avec cet alliage était la même que celle des résistances usuelles en manganine. L'alliage d'or-chrome employé ici, établi par la maison W. C. Heraeus à Hanau-sur-Main, a été recuit pendant

environ 20 heures à 200°C dans le vide ou dans une atmosphère neutre, puis refroidi lentement jusqu'à la température ambiante. Le coefficient de température ainsi obtenu a une valeur d'environ $\pm 1.10^{-6}$; il est donc beaucoup plus petit que celui de la manganine. Un autre avantage très important des résistances étalons d'or-chrome est que la valeur de leur résistance devient stable aussitôt après leur achèvement, au plus au bout de quelques semaines.

Malheureusement une grande partie de la première série (construite en 1936) des résistances d'or-chrome (1, 10, 100, 1000 Ω) a été perdue par suite des faits de guerre, si bien qu'on ne peut donner de résultats que sur celles qui sont restées en notre possession (environ 20 résistances de 1 et 10 Ω) et sur leur comportement pendant une période de 15 ans. D'après cela ces résistances ont varié de 1 à 2.10^{-5} pendant les trois ou quatre premières années, et toutes les résistances ont montré une tendance à l'augmentation. Après une époque d'observations d'ensemble d'environ 7 ans on a constaté une variation moyenne de la résistance de 3.10^{-5} . Pendant les quatre années qui ont suivi on n'a observé que des fluctuations de quelques millionièmes et les mesures des quatre dernières années n'ont montré que des changements sans importance. Il en résulte que les variations d'ensemble des résistances d'or-chrome pendant le courant de 16 années, c'est-à-dire de 1936 à 1952, sont restées très faibles, environ 4.10^{-5} , ce qui témoigne sans aucun doute d'une très bonne tenue.

Un inconvénient de ces résistances d'or-chrome est l'influence notable de l'humidité de l'air sur la valeur de leur résistance. Ce phénomène est dû à l'action de la laque dont on doit recouvrir le fil lorsqu'il est bobiné, afin d'éviter son oxydation. Les fluctuations de la résistance, ainsi engendrées, ne sont que de l'ordre du millionième; cependant on a pu observer plusieurs fois que la limite d'élasticité, très fortement abaissée par suite du traitement thermique, était dépassée lors de grands changements de l'humidité et que les variations de la résistance qui en résultaient devenaient permanentes. Il est donc indispensable de conserver une résistance d'or-chrome dans une enceinte à humidité constante.

Parmi les résistances d'or-chrome ainsi construites, se trouve la résistance 1₁, terminée comme les autres en 1936, et qui, en raison de son comportement particulièrement bon, a été incorporée au

groupe des résistances étalons principales. Cette bobine a varié, dans le courant des huit dernières années, de près de $3 \cdot 10^{-5} \Omega$. Depuis, il n'y a pas eu d'autres variations, comme le montre le tableau I.

TABLEAU I.

*Évolution au cours du temps de la résistance R_1
en or-chrome, à fil baignant dans l'air.*

(Valeurs à 20° C.)

Date.	R_1 $\alpha = -1,11 \cdot 10^{-6}$ $\beta = -0,011 \cdot 10^{-6}$
24 février 1944.....	1,000 061 Ω
24 octobre 1945.....	57
5 juin 1948.....	61
27 août 1951.....	60
5 février 1952.....	62

Pour être complètement indépendant de l'humidité, et ainsi utiliser à fond les propriétés particulièrement intéressantes de l'or-chrome pour la construction des résistances étalons, on a placé le fil de résistance, bobiné (en évitant l'emploi de toute laque) sur un cylindre de porcelaine, dans une enveloppe de laiton remplie d'argon. Ces résistances, construites dès 1939, ont été observées pendant près de 13 ans; elles ont montré pendant ce temps une tenue à peu près identique et se sont comportées brillamment. Ainsi qu'il ressort du tableau II, dans lequel on a donné l'évolution dans le temps de deux résistances pendant cette période, on ne peut pas constater de changements de valeur de ces bobines après 13 ans; les oscillations de quelques millièmes que l'on a observées sont probablement à mettre sur le compte de petits changements de l'humidité du côté de l'étalon de référence (changements inévitables à la suite de l'installation du laboratoire avant et après la guerre).

Après des recherches étendues, il s'est avéré utile d'abandonner le mode de construction jusqu'alors utilisé. On a adopté maintenant l'enveloppe de verre, qui s'est montrée convenir non seulement aux résistances d'or-chrome sans prises de potentiel, mais aussi à celles avec de telles prises [5], [6].

TABLEAU II.

Évolution au cours du temps de résistances d'or-chrome dans une atmosphère d'argon.

(Valeur à 20°C, en ohms internationaux)

Date.	10 GA ₁ .		10 GA ₂ .	
	$\alpha = -0,99.10^{-6}$.	$\beta = -0,06.10^{-6}$.	$\alpha = +1,39.10^{-6}$.	$\beta = -0,07.10^{-6}$.
9 mai 1939....	10,000	20 Ω	10,000	43 Ω
20 juin »		24		43
11 août »		18		47
17 novembre »		23		42
26 janvier 1940....		25		40
15 février »		24		40
27 juin »		20		40
26 septembre »		20		41
25 janvier 1941....		18		35
28 février »		16		37
10 mai »		16		35
25 septembre»		15		37
9 mars 1942....		16		37
23 octobre »		18		35
25 mars 1943....		18		34
22 février 1944....		18		37
9 novembre »		14		42
18 juillet 1945....		16		37
27 octobre »		21		40
15 février 1946....		21		41
20 janvier 1947....		22		43
5 juin 1948....		22		41
11 août 1951....		20		47
6 mars 1952....		20		47

Dans les résistances d'or-chrome en atmosphère de gaz neutre sans prises de potentiel, le fil résistant est, comme d'habitude, bobiné sur un cylindre creux de céramique, muni d'une rainure hélicoïdale (fig. 1). Le corps de résistance se trouve à l'intérieur d'un vase de verre et repose solidement sur un plateau en verre fondu P. Le vase de verre comporte un appendice A dont le diamètre est maintenu suffisamment gros pour que l'on

puisse procéder à l'ajustage de la résistance en la grattant au moyen d'un outil spécial que l'on passe au travers de cet appendice. Celui-ci sert ensuite à faire le vide et à introduire le gaz protecteur (argon); il est alors scellé à la lampe.

Les deux extrémités du fil résistant sont sorties de l'enveloppe de verre à travers un petit tube de platine (Pt) soudé dans

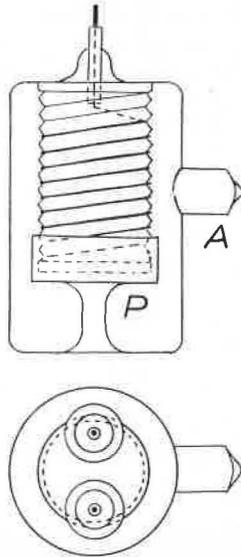


Fig. 1. — Résistance d'or-chrome sans prises de potentiel, construite dans un vase de verre rempli d'argon (élévation et plan).

chacun des nez (N) du réservoir; elles sont isolées du tube de platine par un tube capillaire en quartz (Q) (*fig. 2*). Aux extrémités du fil résistant sont soudés de petits cylindres de cuivre (Cu) qui sortent au-dessus des tubes de platine. Les extrémités du tube de platine sont rigidement soudées au cylindre de cuivre, et les extrémités de ce dernier sont soudées d'une manière plus souple dans des trous percés dans deux fortes barres de cuivre convenablement courbées. Ces barres de cuivre (*fig. 3*) sont vissées et soudées aux arrivées de courant. Leur section est choisie de manière que la résistance totale des barres de cuivre

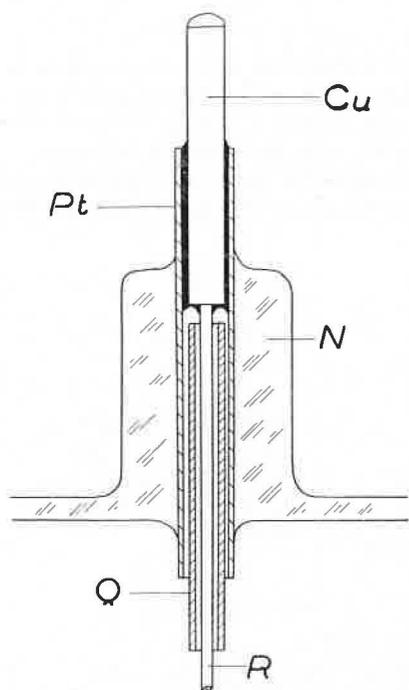


Fig. 2. — Traversée du vase de verre par le fil de résistance (or-chrome).

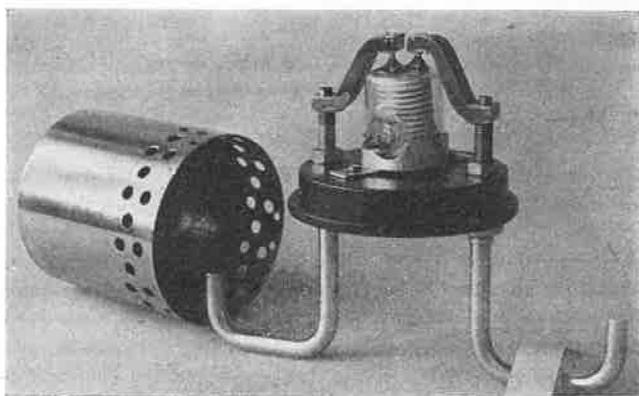


Fig. 3. — Résistance de 1Ω , en or-chrome, sans prises de potentiel, dans un vase de verre rempli d'argon.

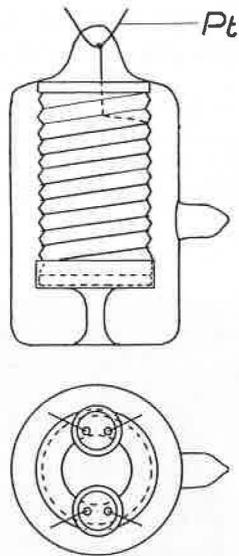


Fig. 4 a. — Résistance d'or-chrome avec prises de potentiel dans un vase de verre rempli d'argon.

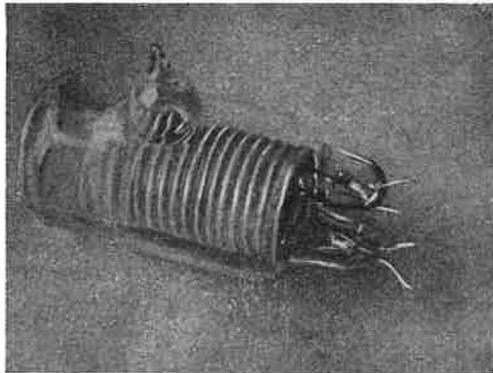


Fig. 4 b. — Résistance d'or-chrome avec prises de potentiel dans un vase de verre rempli d'argon.

et des prises de courant soit encore suffisamment petite, c'est-à-dire qu'un changement de résistance dû à une variation de la température des connexions soit inférieur à $1 \cdot 10^{-6}$ de la résistance totale.

Le réservoir en verre avec le corps de résistance est enfoncé dans le couvercle et y est maintenu au moyen d'un anneau de tôle. L'ensemble est protégé par un étui de résistance étalon du modèle habituel : cylindre de laiton nickelé fixé au couvercle d'ébonite à l'aide de vis.

Dans les résistances d'or-chrome en atmosphère de gaz

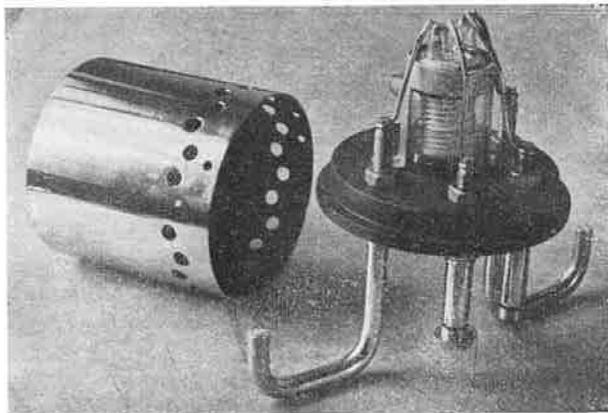


Fig. 5. — Résistance de 1Ω , en or-chrome, avec prises de potentiel, dans un vase de verre rempli d'argon.

neutre avec prises de potentiel, le corps de résistance est encore constitué comme il a été dit plus haut. Cependant aux extrémités du fil résistant on a soudé en leur milieu de courts anneaux de platine (Pt) de 0,5 mm de diamètre (cf. *fig. 4, a et b*). La soudure est le point d'où partent les prises de courant et de potentiel, de telle sorte que la résistance des fils de platine n'entre pas en ligne de compte dans la valeur de la résistance de la bobine. Les points de bifurcation se trouvent à l'intérieur du réservoir en verre. Les fils de platine sont scellés dans deux nez, sur la face supérieure du vase de verre; à leurs extrémités extérieures sont soudés d'épais fils de cuivre qui sont au reste solidement vissés

et soudés aux prises de courant en cuivre et aux prises de potentiel (*fig. 5*).

Ces deux nouveaux modes de construction d'étalons en or-chrome dans une atmosphère d'argon se sont comportés au mieux, comme l'a montré une grande série de résistances de 1Ω ainsi constituées.

Comme exemple, on a donné dans le tableau III, l'évolution dans le temps d'une résistance de chaque sorte, avec prises de potentiel (GA 6) et sans prises de potentiel (Au Cr 25).

TABLEAU III.

Évolution avec le temps de résistances d'or-chrome dans une atmosphère d'argon avec réservoir en verre. (Avec et sans prises de potentiel).

Date.	GA 6.		Date.	Au Cr 25.	
	$\alpha = + 1,9_8 \cdot 10^{-6}$.	$\beta = - 0,1_1 \cdot 10^{-6}$.		$\alpha = - 1,4_4 \cdot 10^{-6}$.	$\beta = + 0,1_1 \cdot 10^{-6}$.
22 août 1951....	1,000	170 Ω	27 nov. 1951....	0,999	799 Ω
22 sept. »		164	11 déc. »		803
20 oct. »		166	27 » »		798
20 nov. »		165	2 janv. 1952....		799
20 déc. »		169	16 » »		801
21 janv. 1952....		170	1 ^{er} fév. »		799
27 fév. »		170	15 » »		801
25 mars »		170	1 ^{er} mars »		807
21 avril »		171	15 » »		804
20 mai »		170	31 » »		802
			15 avril »		805
			30 » »		807
			15 mai »		807
			31 » »		805

On voit d'après les résultats donnés sur les résistances d'or-chrome fabriquées au D. A. M. G., que ces résistances sont, en fait, supérieures à celles de manganine. Aussi les résistances d'or-chrome sont-elles déjà utilisées au D. A. M. G. comme étalons principaux; elles prennent part de ce fait à l'établissement des unités électriques [7], [8].

BIBLIOGRAPHIE.

- [1] A. SCHULZE, *A. T. M.*, Z 931-6 (1940); *Zeitschr. f. techn. Physik*, 21, 117, 1940; *Elektrotechnik*, 3, 23, 1949.
- [2] I. L. THOMAS, *A. T. M.*, Z 111-4 (1934).
- [3] A. SCHULZE, *A. T. M.*, Z 931-5, 1940.
- [4] A. SCHULZE, *Physik Z.*, 41, 12 I, 1940; *Metallzeitschrift*, 19, 177, 1940.
- [5] A. SCHULZE et H. EIKE, *Zs. f. angewandte Physik*, 4 (1952) (à l'impression).
- [6] A. SCHULZE, *A. T. M.*, Z 111-5 (1952).
- [7] A. SCHULZE, *Elektrotechnik*, 6, 209, 1952.
- [8] A. SCHULZE, *A. T. M.*, Z 111-2 (1952).



ANNEXE E 4.

Electrotechnical Laboratory, Tokyo.

RECHERCHES

SUR LES ÉLÉMENTS ÉTALONS (1)

Par Y. ISHIBASHI.

1. ÉLÉMENT ÉTALON WESTON DANS UN VASE DE VERRE EN SILICE.
— Par la méthode décrite dans l'Annexe E 6, on a fabriqué sept éléments Weston neutres, dont les vases en forme de H sont en verre de silice.

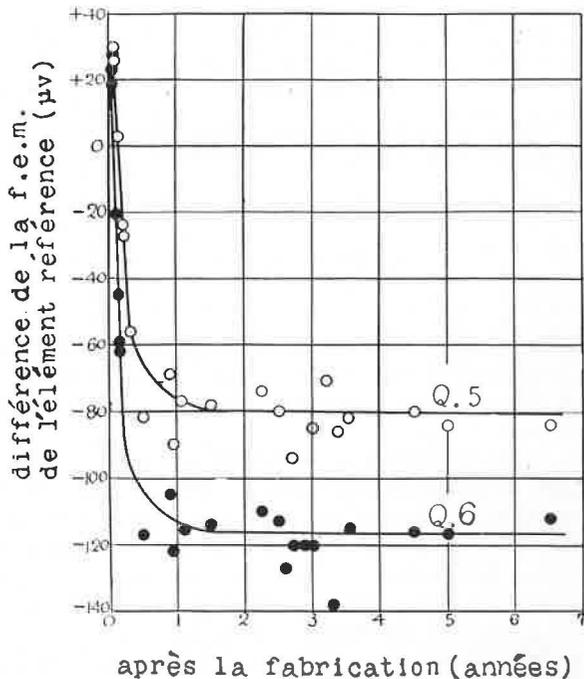
Ayant craint une divergence qui résulterait de la qualité et de la méthode de fabrication du verre de silice, l'auteur en a fait fabriquer trois par le fabricant A et quatre par le fabricant B. Dans chacun des éléments, on a employé un fil de tungstène pur pour les fils conducteurs, et l'entrée des fils conducteurs dans le verre de silice est fermée par la méthode du cachet graduel. En outre, on a construit un élément étalon dans un vase de verre « Pyrex » où ce fil de tungstène pur est soudé directement. On a constaté que sa force électromotrice ne diffère pas de celle qui est produite par un élément ayant des fils de platine pour fils conducteurs

Le tube du haut dans lequel on introduit les matières étant difficile à sceller, on y a inséré un bouchon de liège sur lequel on a versé une solution dense de gomme laque à l'alcool qui est ensuite séchée à la température ordinaire de sorte que le tube soit étanche à l'air. Pour cela, on a extrait préalablement de la

(1) Cette information est extraite des *Recherches sur les éléments étalons* dont le texte entier (en japonais) se trouve dans les *Researches of the Electrotechnical Laboratory*, n° 459, 1942.

résine du bouchon de liège, ensuite on la lave dans l'eau distillée et on la sèche suffisamment.

Les résultats des mesures de la force électromotrice ont montré, comme on le remarque sur la figure, un changement considérable et inattendu. On a constaté que par rapport à la



Évolution avec le temps de la f. é. m. d'éléments Weston à réservoir en silice.

force électromotrice de l'étalon de référence, la force électromotrice dont il s'agit faiblit considérablement avec le temps et qu'elle s'établit à une valeur presque fixe, environ un an et demi après.

Puis on a fabriqué des éléments en verre dur qui contiennent du dépolariseur, de la solution saturée et des cristaux de sulfate de cadmium dans lesquels se trouve de la poudre de SiO_2 , composant du verre de silice. Après avoir mesuré la force élec-

tromotrice de cet élément, on a constaté qu'elle avait la même allure de variation que celle de l'élément avec vase en verre de silice. C'est pourquoi il s'écoule un an et demi avant que le sulfate basique mercureux et l'acide silicique n'équilibrent le silicate de mercure produit.

2. ÉLÉMENT ÉTALON WESTON CONTENANT DE L'ÉLECTROLYTE ACIDE.

— D'après les études de l'auteur, on a constaté que, par rapport à l'élément étalon contenant de l'électrolyte neutre, la constance de la force électromotrice était plus remarquable et l'hystérésis plus petite si l'on rendait l'électrolyte acide à 0,05 N (l'acidité de l'acide sulfurique dilué étant à environ 0,065 N) au lieu de le rendre neutre. La force électromotrice à 20° de l'élément acide dont l'électrolyte est fixé à 0,05 N est plus petite de 42 μ V que celle de l'élément neutre, à savoir 1,018 60 V abs. Il est à remarquer que le coefficient de température de la force électromotrice est presque le même que celui de l'élément neutre.

Il faut indiquer les caractéristiques de l'élément étalon acide :

1° Dans un élément contenant de l'électrolyte à 0,05 N, on n'a pas trouvé sur l'amalgame de cadmium de dégagement de gaz hydrogène comme dans l'élément à acidité élevée; en outre, on a constaté que la constance de sa force électromotrice était bien supérieure à celle de l'élément neutre (2).

2° Par expérience l'auteur a constaté que l'hystérésis pour la température est petite lorsque l'élément est acidifié à environ 0,04 à 0,1 N et qu'au contraire elle est augmentée lorsqu'il est plus acidifié. Dans l'élément contenant de l'électrolyte à faible acidité, le sulfate mercureux dans l'électrolyte est plus dense que dans celui de l'élément neutre, ce qui aboutit rapidement à l'état d'équilibre.

3° La polarisation d'un élément est plus considérable en cas de charge qu'en cas de décharge, et elle se produit surtout du côté du pôle de mercure. Aussi la mesure a-t-elle été faite du même côté. Les résultats sont les suivants :

a. En cas de charge et de décharge, les éléments acides ont une polarisation plus petite et recouvrent leur force électromotrice plus rapidement que les éléments neutres;

b. Mesurés aux températures de 11 et 29° C, les deux types

(2) *Procès-Verbaux du C. I. P. M.*, t. 17, 1935, p. 272.

d'éléments ont également à 29° C environ la moitié ou le tiers de la tension de polarisation qu'ils ont à la température de 11° C.

4° On dit que l'acidité d'un électrolyte de l'élément acide ne peut rester constante pendant longtemps à cause de la solubilité du verre (3). Cependant à la suite de mesures de l'acidité de l'électrolyte, exécutées en décachetant le haut du verre dans un élément acide qui a passé environ 13 ans depuis sa fabrication, l'auteur a pu constater, comme le montre le tableau, que la valeur du changement est du même ordre que la précision de la mesure, mais pratiquement nulle.

Numéros des éléments.	Acidité (N)	
	à la date de la fabrication.	13 ans après fabrication.
A. 24.....	0,083	0,082
A. 98.....	0,183	0,182

3. ÉLÉMENTS ÉTALONS WESTON DONT L'ÉLECTROLYTE CONTIENT DE L'EAU LOURDE. — L'auteur a fabriqué des éléments étalons Weston dont l'électrolyte est préparé au moyen de mélange d'eau distillée ordinaire et d'eau lourde à 1/250, 1/100 et 1/50 en volume, mélange qui est saturé par des cristaux de sulfate de cadmium contenant de l'eau ordinaire de cristallisation (4).

Parmi ces éléments le dernier semblait avoir une constance meilleure et une hystérésis plus petite comparativement aux éléments ordinaires.

Cela peut être expliqué par le fait que, la constante de dissociation de l'eau lourde étant de 1/4 à 1/6 de celle de l'eau ordinaire, si l'on emploie l'eau lourde, même en quantité peu importante, l'hydrolyse du sulfate mercurieux se produit moins que dans le cas où l'on n'emploie que l'eau ordinaire, et dans ce cas le même résultat ne peut être obtenu que si l'on ajoute à l'électrolyte un peu d'acide sulfurique.

L'auteur se doit de signaler que cette étude a été faite avec la collaboration de M. T. Ishizaki.

(3) H. v. STEINWEHR, *Z. f. Instr.*, t. 51, 1931, p. 534.

(4) *Procès-Verbaux du C. I. P. M.*, t. 18, 1937, p. 191. On y lit 1/250, 1/100 et 1/50 au lieu de 1/250, 1/100 et 1/50 pour 100 respectivement.

ANNEXE E 5.

Electrotechnical Laboratory, Tokyo.

ÉTALON DE RÉSISTANCE D'UN OHM

Les figures 1 et 2 montrent la structure de l'étalon de résistance fabriqué par le Laboratoire Électrotechnique.

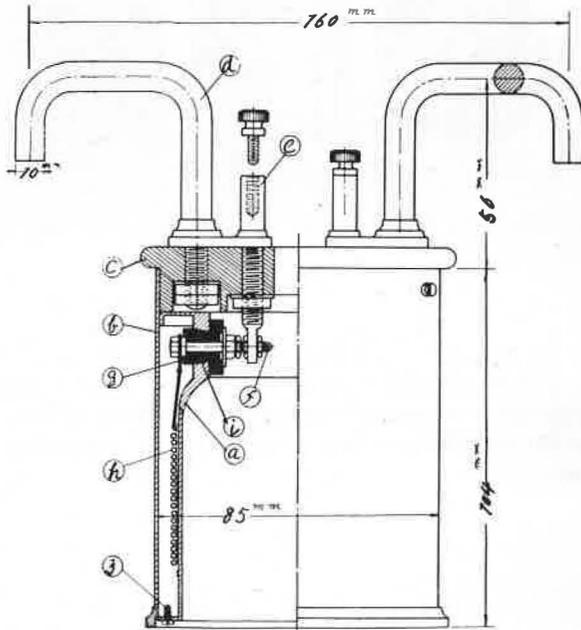


Fig. 1.

a, cylindre de laiton; *b*, récipient externe de laiton; *c*, couvercle en ébonite; *d*, borne de courant en cuivre; *e*, borne de potentiel en cuivre; *f*, boulon de cuivre; *g*, pièce de cuivre; *h*, fil de manganine; *i*, bouchon d'ambréine; *j*, vis.

Sur le cylindre de laiton *a* sur lequel sont collées à la gomme laque des feuilles de mica d'environ 0,2 mm d'épaisseur, on enroule d'une façon bifilaire le fil de manganine recuit suffisamment à 550° C et guipé de soie. Les deux bouts de ce fil de manganine ayant 1,5 mm de diamètre sont soudés à l'argent sur chacune des pièces de cuivre *g*. La pièce *g* est soudée au boulon *f* et ce dernier à la borne de potentiel *e*. Le point plié du fil de la



Fig. 2.

bobine est fixé à la vis *j* par un fil de soie. Après cette préparation, l'objet est recuit durant 48 heures à basse température (140° C). Le récipient *b* et le cylindre *a* sont fixement soudés. Toutes les surfaces de métaux, excepté le fil de manganine, sont nickelées.

ANNEXE E 6.

Electrotechnical Laboratory, Tokyo.

MÉTHODE EMPLOYÉE AU LABORATOIRE ÉLECTROTECHNIQUE POUR CONSTRUIRE LES ÉLÉMENTS ÉTALONS WESTON

1. CONSTRUCTION DE L'ÉLÉMENT ÉTALON WESTON. — L'élément étalon Weston comporte une solution saturée de sulfate de cadmium ($\text{CdSO}_4 \cdot \frac{8}{3} \text{H}_2\text{O}$) comme électrolyte. L'électrolyte doit s'il est neutre, l'être pour le papier rouge du Congo, et aura, s'il est acide, une acidité à 0,05 N.

2. MÉTHODE DE PURIFICATION ET PRÉPARATION DES MATIÈRES. —
a. Mercure. — On purifie le mercure par lavage ou électrolyse, et distillation. Pour le lavage, le mercure est lavé à travers un tube de verre d'environ 1 m de longueur, rempli d'acide azotique dilué (environ cinq fois en volume), et ensuite il est lavé de la même manière, au moins deux fois dans de l'eau distillée. Dans l'électrolyse, on purifie le mercure par un courant de 0,5 A/dm² en employant de l'acide azotique dilué à environ 2 % comme électrolyte, le mercure comme anode, et une lame de platine comme cathode. Ensuite, il est lavé plusieurs fois dans l'eau distillée, et séché. Quant à la distillation, elle doit s'effectuer au moins deux fois constamment sous pression réduite, en faisant passer continuellement de l'air au fond du flacon.

b. Sulfate de cadmium. — Le sulfate de cadmium, dit pur,

du commerce, est d'abord dissous dans de l'eau distillée. Ensuite, on ajoute un peu d'acide sulfurique dilué à cette solution, et on la fait évaporer à la température ordinaire. Ainsi, on obtient des cristaux. Quoiqu'on utilise les cristaux les plus purs (environ 99,8 %), il faut les recristalliser au moins deux fois. On prépare, pour les étalons neutres, une solution saturée à employer dans l'élément, en dissolvant les cristaux ainsi purifiés dans de l'eau distillée pure; cette solution doit être neutre pour le papier rouge du Congo. Mais pour les éléments acides, on rend l'acidité de la solution saturée à environ 0,05 N.

c. Amalgame de cadmium. — En employant, comme anode, un bâtonnet constitué par du cadmium à plus de 99,5 %, le mercure purifié comme cathode et la solution de sulfate de cadmium légèrement acidulée comme électrolyte, on dépose le cadmium dans le mercure et on les mélange. Après avoir déposé le cadmium en excès, en dépassant la quantité que l'on a envisagée par le calcul, on abaisse l'amalgame en y ajoutant du mercure de telle sorte qu'il soit à 10 %. Avant d'utiliser l'amalgame ainsi préparé, on doit le chauffer dans un bassin d'eau et bien agiter pour qu'il soit homogénéifié.

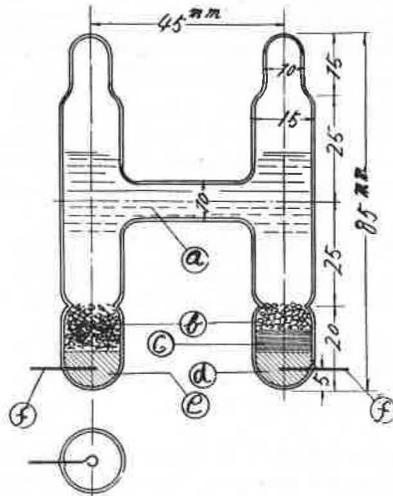
d. Sulfate mercureux. — On prépare le sulfate mercureux par la méthode d'électrolyse par courant continu en employant comme anode le mercure purifié, comme cathode une lame de platine, et, comme électrolyte, l'acide sulfurique dilué (6 volumes d'eau pour 1 volume d'acide). On prend, pour la densité du courant, 2 A/dm² de la surface de mercure. On agite la surface du mercure en tournant un agitateur (employé en même temps comme anode) à une vitesse de 200 t/m. Après avoir terminé l'électrolyse, il faut continuer à agiter le mélange encore pendant quelque temps, et unifier la grosseur des grains de sulfate mercureux. Ensuite, en séparant par décantation le sulfate mercureux du mercure, on place le premier avec du nouvel acide sulfurique dilué (préparé comme électrolyte) dans une bouteille de verre, et on les conserve dans l'obscurité. Contenant des grains de mercure fins, le sulfate mercureux ainsi obtenu est de couleur grise.

e. Pâte. — La pâte (dépolarisateur) est préparée par la méthode suivante. On place un mélange de sulfate mercureux (préparé suivant 2 d) et d'acide sulfurique dilué, dans un creuset de

Gooch (30 cm³) au fond duquel est fixé un papier à filtrer dur. On sépare ce mélange sous basse pression en employant une bouteille à filtrer. Après l'avoir lavé une ou deux fois dans le nouvel acide sulfurique dilué, on le lave dans l'alcool absolu distillé pour faire disparaître l'acidité. Lorsque l'alcool filtré perd son acidité pour le papier rouge du Congo, on lave le sulfate mercurieux deux ou trois fois dans la solution saturée de sulfate de cadmium employée dans l'élément (neutre ou acide).

Le sulfate mercurieux ainsi obtenu est réduit en pâte, en y ajoutant les cristaux pulvérisés de sulfate de cadmium, d'environ un tiers en volume, et la solution saturée (neutre ou acide) en quantité appropriée.

3. MONTAGE DE L'ÉLÉMENT ÉTALON. — *a. Vase de verre.* — On emploie un vase de verre dur de première qualité en forme de H.



a, solution saturée de sulfate de cadmium; *b*, cristaux de sulfate de cadmium; *c*, pâte; *d*, mercure; *e*, amalgame de cadmium; *f*, fil de platine.

Les électrodes sont des fils de platine dont le diamètre est de 0,3 mm (*voir la figure*). On laisse d'abord le vase de verre rempli d'eau régale pendant 30 minutes, et on lave bien ce vase

dans l'eau. Ensuite, il faut amalgamer la surface des électrodes de platine, de façon à compléter le contact de celles-ci avec le mercure ou l'amalgame de cadmium. Pour cela, en remplissant le vase de la solution diluée d'azotate mercurieux, et en employant un fil de platine temporairement introduit comme anode, chacune des deux électrodes de platine du vase même comme cathode, il faut précipiter le mercure électriquement au moyen de deux éléments de pile sèche. Après avoir amalgamé les électrodes de platine, on lave le vase dans l'acide azotique dilué et dans l'eau. La surface des électrodes de platine amalgamé est lavée avec un peu de mercure pur. A la fin, le vase est séché dans un séchoir après avoir été lavé dans de l'eau distillée.

b. Ordre et méthode pour l'introduction des matières. — On met l'amalgame de cadmium dans une branche du vase, le mercure dans l'autre branche.

Ensuite, après avoir mis de la pâte sur le mercure, on ajoute dans les deux branches un peu de solution saturée (neutre ou acide), et lorsque la pâte se dépose, on y fait introduire des cristaux de sulfate de cadmium. A la fin, on remplit le vase de verre avec la solution (neutre ou acide), et l'on fait communiquer les deux électrodes. Une fois terminée l'introduction des matières, on scelle hermétiquement le haut du vase avec un brûleur à gaz.

4. COEFFICIENTS DE TEMPÉRATURE. — Les résultats des mesures des coefficients de température des 13 éléments neutres ainsi construits ont donné, entre 11 et 31° C, la valeur moyenne suivante :

$$E_t = E_{20} - 42,8 \cdot 10^{-6} (t - 20) - 0,90 \cdot 10^{-6} (t - 20)^2 + 0,01 \cdot 10^{-6} (t - 20)^3.$$

En général, les coefficients de température des éléments acides croissent avec l'acidité. Mais pour les éléments à l'acidité 0,05 N, on pourra adopter la formule précitée quand une haute précision n'est pas nécessaire.

ANNEXE E 7.

Bureau International des Poids et Mesures.

NORMALISATION
DES ÉTALONS DE RÉSISTANCE

Pour permettre, pendant les comparaisons, de substituer rapidement et avec le minimum de manipulation un étalon à un autre, il serait souhaitable que les bobines présentées par les différents laboratoires eussent certaines de leurs dimensions normalisées.

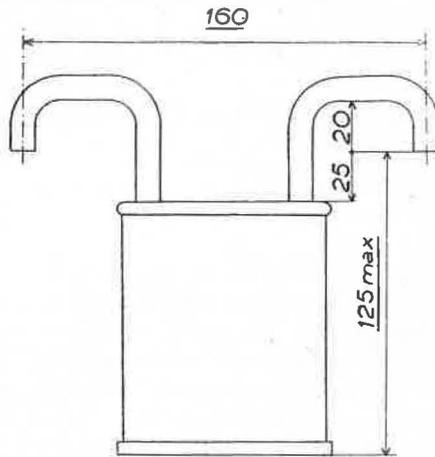


Fig. 15

Le schéma ci-dessus indique (en millimètres) les cotes que nous désirerions voir adoptées internationalement, les dimensions soulignées étant celles sur lesquelles nous insistons spécialement.

ANNEXE E 8.

Bureau International des Poids et Mesures.

RAPPORT

SUR

LES COMPARAISONS DES ÉTALONS NATIONAUX
DE RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE

EFFECTUÉES EN FÉVRIER ET MARS 1950 (1)

Par G. LECLERC et M. GAUTIER.

Dans sa session de 1948, le Comité International des Poids et Mesures ayant prévu la comparaison des étalons nationaux de résistance électrique pour l'automne 1949, le Bureau tenta de réunir à Sèvres, pour cette époque, les instruments représentatifs des six grands Laboratoires; malgré ses efforts, il ne put y parvenir, des retards étant survenus dans l'acheminement des étalons de quelques pays; les mesures ne commencèrent ainsi qu'au début de l'année 1950.

Cinq seulement des six grands Laboratoires nationaux se firent représenter, savoir :

(1) Les résultats des comparaisons de 1950 ont été donnés initialement sous forme d'un rapport daté d'avril 1951 et d'un complément à ce rapport publié en février 1952. Le rapport que nous publions ici résulte de la fusion des deux précédents.

Numéros des étalons.	Arrivée au B. I. P. M.	Sortie du B. I. P. M.	Mode de transport.
	<i>D. A. M. G.</i> (Berlin).		
1 _A , 1 _E , 1 _F et 1217.....	13 janv. 1950	24 juin 1950	{ Tenus à la main par le Dr Schulze.
	<i>N. B. S.</i> (Washington).		
72, 73 et 83.....	4 nov. 1949	4 juil. 1950	{ Aller : valise diplomatique; Retour : tenus à la main par le Dr Crittenden.
	<i>L. C. I. E.</i> (Paris).		
3961 et 3962.....	9 nov. 1949	31 mars 1950	{ Tenus à la main par M. Richard.
	<i>N. P. L.</i> (Teddington).		
726 et 727.....	23 nov. 1949	5 août 1950	{ Aller : valise diplomatique; Retour : tenus à la main par M. Harts-horn.
	<i>E. T. L.</i> (Tokyo).		
34030, 34034 et 36060.	1 ^{er} déc. 1949	28 juin 1950	{ Par avion, non accompagnés, dans des emballages spéciaux.

De plus, la Physikalisch-Technische Anstalt (Braunschweig) envoya, pour être rattachée, la résistance d'un ohm n° 917.

Tous ces étalons, sauf les nos 1_A, 1_E, 1_F et 1217, possèdent des prises de potentiel.

La conduite générale des opérations fut la même qu'en février 1939; le pont a été démonté, nettoyé et révisé avant les comparaisons, l'ohm tare soigneusement étudié et les corrections de la boîte shunt (boîte établie par la Cambridge Instrument Co) bien déterminées.

Désirant faire participer à la comparaison la totalité des étalons reçus et aussi quelques autres de tout premier ordre en dépôt au Pavillon de Breteuil, notamment ceux qui conservent

l'unité moyenne de l'ohm depuis 1939 [c'est-à-dire S(85), N(717), E(34052) et LN(65)] et ceux de l'Institut de Métrologie [M(9) et M(12)], nous avons opéré comme suit :

1^o Les deux observateurs ont effectué, indépendamment l'un de l'autre, les mesures constituant le schéma principal (*fig. 1*) ci-après :

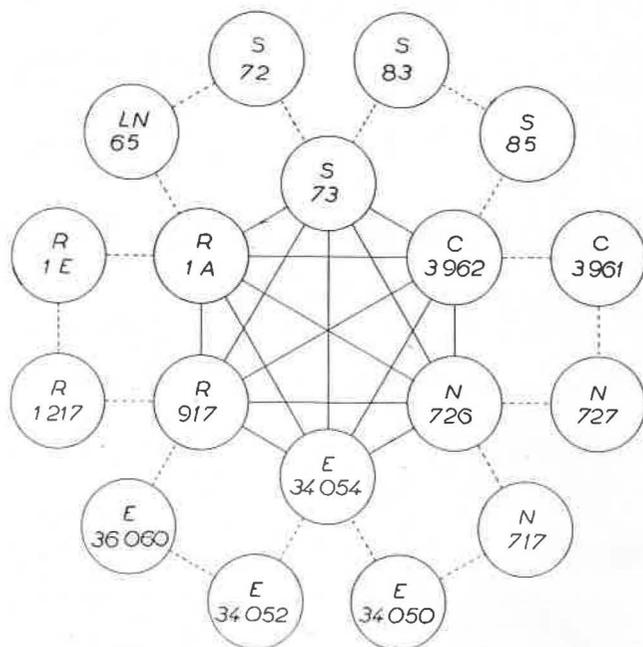


Fig. 1.

Chacun des ohms qui figurent dans l'hexagone central appartient à un laboratoire différent (la place réservée à l'Institut de Métrologie non représenté étant occupée par l'ohm n° 917 de Braunschweig). Nous les appellerons étalons primaires, pour simplifier l'exposé; ils ont été comparés entre eux dans toutes les combinaisons possibles.

Les autres étalons, dits secondaires, ont été rattachés aux premiers par des comparaisons directes (en pointillé sur la figure).

Les deux observateurs ont utilisé une même intensité de courant : 0,1 A (puissance dissipée : 0,01 W). Chacun d'eux a effectué un « aller » et un « retour » symétriques par rapport à la même date centrale (19 février 1950).

2° Chaque observateur a rattaché, suivant un schéma personnel, un certain nombre d'étalons, dont les numéros et les valeurs sont donnés plus loin, aux étalons primaires ou secondaires ci-dessus.

RÉDUCTION DES OBSERVATIONS. — Ayant constaté au cours des mesures l'instabilité de l'étalon n° 917, nous avons décidé de l'exclure, pour les calculs, de l'hexagone principal et de prendre pour base de référence la moyenne A_5 des cinq étalons restants : 1A, 73, 3962, 726 et 34034.

Par rapport à cette base, nous avons calculé la valeur de chaque ohm en procédant de la manière suivante :

1° Pour les cinq étalons constituant A_5 , nous avons utilisé la méthode des moindres carrés.

2° Pour l'ohm n° 917, nous avons simplement pris la moyenne des cinq valeurs résultant de ses comparaisons avec les étalons de base.

3° Les valeurs des douze étalons secondaires complétant le schéma principal ont été déduites de celles des étalons ci-dessus, après répartition de l'erreur de fermeture de chaque carré, également sur les trois séries secondaires qu'il comporte.

4° Quant au reste des étalons, leurs valeurs découlent directement de celles attribuées plus haut aux ohms auxquels ils ont été rattachés. Signalons cependant que, comme au paragraphe 3, nous avons, là encore, réparti les écarts de fermeture des différents schémas sur l'ensemble des séries dont les valeurs n'étaient pas déjà fixées immuablement par les calculs antérieurs.

RÉSULTATS. — Les calculs effectués indépendamment par chacun des observateurs ont permis d'établir le tableau qui suit :

I. — *Étalons voyageurs.*

	G. Leclerc.	M. Gautier.	Moyenne.
<i>D. A. M. G.</i>			
R(1A)	= A_{5-111} +127,50 $\mu\Omega$	+129,43 $\mu\Omega$	+128,46 $\mu\Omega$
R(1E)	» ... +275,65	+277,66	+276,66
R(1F)	» ... +124,17	+127,62	+125,90
R(1217)	» ... +392,74	+394,38	+393,56

P. T. A.

R(917) = A₅... +163,87 +163,73 +163,80

N. B. S.

S(72) = A₅... -316,70 -317,38⁽¹⁾ -317,04

S(73) » ... -314,97 -315,60 -315,29

S(83) » ... -322,55 -323,14 -322,84

L. C. I. E.

C(3961) = A₅... +258,58 +258,54⁽¹⁾ +258,56

C(3962) » ... +242,13 +241,74 +241,94

N. P. L.

N(726) = A₅... -316,34 -316,83 -316,58

N(727) » ... -312,15 -312,45⁽¹⁾ -312,30

E. T. L.

E(34050) = A₅... +275,90 +275,64 +275,77

E(34054) » ... +261,69 +261,25 +261,47

E(36060) » ... -140,37 -141,00 -140,68

II. — *Étalons constituant le groupe de base GO₃ du B. I. P. M.*
(c'est-à-dire conservant l'ohm moyen depuis février 1939).

	G. Leclerc.	M. Gautier.	Moyenne.
S(83) = A ₅ ...	-311,92 μΩ	-312,41 μΩ	-312,16 μΩ
N(717) » ...	+177,26	+176,93	+177,10
E(34052) » ...	-252,01	-252,44	-252,22
LN(65) » ...	+139,89	+139,28 ⁽¹⁾	+139,58
GO ₃ » ...	- 61,69 ₅	- 62,16	- 61,93

⁽¹⁾ L'erreur de fermeture du carré, comprenant les étalons R(1A), S(73), S(72) et LN(65), étant anormalement élevée (2 μΩ) pour cet observateur et un examen attentif ayant révélé qu'elle était imputable aux séries de mesures opposant S(72) à R(1A), nous avons éliminé ces séries aberrantes et rattaché S(72) et LN(65) au seul étalon primaire S(73) en utilisant les résultats bruts sans aucune espèce de compensation.

Pour une raison analogue, les ohms N(727) et C(3961) ont été uniquement rattachés à l'étalon primaire N(726).

III. — *Étalons en dépôt au B. I. P. M.*

	G. Leclerc.	M. Gautier.	Moyenne.
R(3751) = A ₅ ...	+208,17 μΩ	+207,22 μΩ	+207,70 μΩ
R(2836) » ...	+357,43	+359,32	+358,38
S(86) » ...	-312,20	-312,86	-312,53
S(87) » ...	-321,08	-321,68	-321,38
N(645) » ...	+167,96	+168,52	+168,24
N(722) » ...	-295,62	-295,76	-295,69
N(725) » ...	-326,78	-326,98	-326,88
M(9) » ...	+ 94,10	—	+ 94,10
M(12) » ...	+139,98	—	+139,98

CALCUL DE A₅ EN FONCTION DE L'UNITÉ MOYENNE CONSERVÉE PAR LE B.I.P.M. — Rappelons que pour conserver son unité le B.I.P.M. admet que la moyenne des quatre étalons qui constituent sa base de référence GO₅' est demeurée constante depuis février 1939 et vaut 1,000 265 0 Ω_{BIPM}.

On en déduit :

Pour G. Leclerc :

$$GO_5' = A_5 - 61,70 \mu\Omega = 1,000\ 265\ 0 \Omega_{BIPM};$$

d'où

$$A_5 = 1,000\ 326\ 7 \Omega_{BIPM}.$$

Pour M. Gautier :

$$GO_5' = A_5 - 62,16 \mu\Omega = 1,000\ 265\ 0 \Omega_{BIPM};$$

d'où

$$A_5 = 1,000\ 327\ 2 \Omega_{BIPM}.$$

En moyenne :

$$GO_5' = A_5 - 61,93 \mu\Omega = 1,000\ 265\ 0 \Omega_{BIPM};$$

d'où

$$A_5 = 1,000\ 326\ 9 \Omega_{BIPM}.$$

VALEURS DES ÉTALONS EN FONCTION DE L'UNITÉ CONSERVÉE PAR LE B. I. P. M. — En remplaçant A₅ par sa valeur exprimée en Ω_{BIPM} on obtient :

I. — *Étalons voyageurs.*

	G. Leclerc.	M. Gautier.	Moyenne.	Différence (Le — Gt)
<i>D. A. M. G.</i>				
R(1 _A).....	1,000 454 2	1,000 456 6	1,000 455 4	—2,4 μΩ
R(1 _E).....	1,000 602 3	1,000 604 9	1,000 603 6	—2,6
R(1 _F).....	1,000 450 9	1,000 454 8	1,000 452 8	—3,9
R(1217)....	1,000 719 4	1,000 721 6	1,000 720 5	—2,2
<i>P. T. A.</i>				
R(917)....	1,000 490 6	1,000 490 9	1,000 490 7	—0,3
<i>N. B. S.</i>				
S(72).....	1,000 010 0	1,000 009 8	1,000 009 9	+0,2 μΩ
S(73).....	1,000 011 7	1,000 011 6	1,000 011 6	+0,1
S(83).....	1,000 004 1	1,000 004 1	1,000 004 1	0,0
<i>L. C. I. E.</i>				
C(3961)....	1,000 585 3	1,000 585 7	1,000 585 5	—0,4
C(3962)....	1,000 568 8	1,000 568 9	1,000 568 8	—0,1
<i>N. P. L.</i>				
N(726).....	1,000 010 4	1,000 010 4	1,000 010 4	0,0
N(727).....	1,000 014 5	1,000 014 7	1,000 014 6	—0,2
<i>E. T. L.</i>				
E(34050)...	1,000 602 6	1,000 602 8	1,000 602 7	—0,2
E(34054)...	1,000 588 4	1,000 588 4	1,000 588 4	0,0
E(36060)...	1,000 186 3	1,000 186 2	1,000 186 2	+0,1

II. — *Étalons constituant GO₃.*

S(85).....	1,000 014 8	1,000 014 8	1,000 014 8	0,0 μΩ
N(717). ...	1,000 504 0	1,000 504 1	1,000 504 0	—0,1
E(34052)...	1,000 074 7	1,000 074 8	1,000 074 7	—0,1
LN(65)....	1,000 466 6	1,000 466 5	1,000 466 5	+0,1
GO ₃	1,000 265 0	1,000 265 0	1,000 265 0	

III. — *Étalons en dépôt au B. I. P. M.*

R(3731)....	1,000 534 9	1,000 534 4	1,000 534 6	+0,5 $\mu\Omega$
R(2836)....	1,000 684 1	1,000 686 5	1,000 685 3	-2,4
S(86).....	1,000 014 5	1,000 014 3	1,000 014 4	+0,2
S(87).....	1,000 005 6	1,000 005 5	1,000 005 5	+0,1
N(645)....	1,000 494 7	1,000 495 7	1,000 495 2	-1,0
N(722)....	1,000 031 1	1,000 031 4	1,000 031 2	-0,3
N(725)....	0,999 999 9	1,000 000 2	1,000 000 0	-0,3
M(9).....	1,000 420 8	—	1,000 420 8	—
M(12)....	1,000 466 7	—	1,000 466 7	—

L'examen des différences (Lc-Gt) donne une idée de la précision des mesures et de la qualité des étalons. Par exemple, on voit nettement que les ohms R(1_A), R(1_E), R(1_F) et R(1217) qui ne possèdent pas de prises de potentiel, sont beaucoup moins bien définis que les autres. On peut constater, par contre, l'excellent accord des résultats obtenus par les deux observateurs pour tous les étalons composés d'un fil ayant été stabilisé par recuit à plusieurs centaines de degrés et enfermé dans un boîtier hermétiquement clos. La valeur attribuée à chacun de ces étalons, à la date moyenne des expériences, c'est-à-dire au 19 février 1950, est certainement exacte à 2 ou 3 dixièmes de microhm près.

VALEURS DES ÉTALONS VOYAGEURS EXPRIMÉES EN UNITÉ
DU LABORATOIRE D'ORIGINE A LA DATE DU 19 FÉVRIER 1950 (1) :

		<i>D. A. M. G.</i>		Valeurs au 19 février 1950.	
R(1 _A)...	{ janvier	1950....	1,000 442	{	1,000 442 0 Ω_A
	{ novembre	1950....	1,000 442		
R(1 _E)...	{ janvier	1950....	1,000 584	{	1,000 584 7 Ω_A
	{ novembre	1950....	1,000 589		
R(1 _F)...	{ janvier	1950....	1,000 431	{	1,000 431 3 Ω_A
	{ novembre	1950....	1,000 433		

(1) A partir des valeurs attribuées par chaque laboratoire à ses étalons avant et après leur venue à Sèvres, nous avons calculé leurs valeurs au 19 février 1950 par interpolation en supposant les dérives proportionnelles au temps écoulé.

N. B. S.

S(72)...	septembre 1949....	1,000 010 5	} 1,000 010 5 Ω _{EU}
	juillet-août 1950....	1,000 010 5	
S(73)...	septembre 1949....	1,000 012 0	} 1,000 011 97 Ω _{EU}
	juillet-août 1950....	1,000 011 9 ₈	
S(83)...	septembre 1949....	1,000 004 3	} 1,000 004 27 Ω _{EU}
	juillet-août 1950....	1,000 004 2 ₅	

L. C. I. E.

C(3961)..	4 novembre 1949....	1,000 583 9	} 1,000 585 2 Ω _F
	6 avril 1950....	1,000 585 7	
C(3962)..	4 novembre 1949....	1,000 565 6	} 1,000 567 1 Ω _F
	6 avril 1950....	1,000 567 7	

N. P. L.

N(726)...	juin-août 1949....	1,000 013 0	} 1,000 012 8 ₆ Ω _{GB}
	août-octobre 1950....	1,000 012 7	
N(727) ..	juin-août 1949....	1,000 017 4	} 1,000 017 4 Ω _{GB}
	août-octobre 1950....	1,000 017 4	

E. T. L.

E(34030).	10 octobre 1949....	1,000 606	} 1,000 605 7 Ω _J
	30 novembre 1950....	1,000 605	
E(34034).	10 octobre 1949....	1,000 590	} 1,000 590 0 Ω _J
	30 novembre 1950....	1,000 590	
E(36060).	10 octobre 1949....	1,000 188	} 1,000 188 0 Ω _J
	30 novembre 1950....	1,000 188	

VALEUR DE L'UNITÉ CONSERVÉE PAR CHACUN DES GRANDS LABORATOIRES
EN FONCTION DE L'UNITÉ CONSERVÉE PAR LE B. I. P. M.

Allemagne.

R(1 _A).....	1,000 442 0 Ω _A = 1,000 455 4 Ω _{BIPM}	Ω _A = Ω _{BIPM} + 13,4 μΩ
R(1 _E).....	584 7 = 603 6	+ 18,9
R(1 _F).....	431 3 = 452 8	+ 21,5
	<hr/>	<hr/>
	1,000 486 0 Ω _A = 1,000 503 9 Ω _{BIPM}	Ω _A = Ω _{BIPM} + 17,9 μΩ

États-Unis.

S(72).....	1,000 010 5 Ω _{EU} = 1,000 009 9 Ω _{BIPM}	Ω _{EU} = Ω _{BIPM} - 0,6 μΩ
S(73).....	012 0 = 011 6	- 0,4
S(83).....	004 3 = 004 1	- 0,2
	<hr/>	<hr/>
	1,000 008 9 Ω _{EU} = 1,000 008 5 Ω _{BIPM}	Ω _{EU} = Ω _{BIPM} - 0,4 μΩ

France.

C(3961)....	1,000 585 2 Ω_F	= 1,000 585 5 Ω_{BIPM}	$\Omega_F = \Omega_{BIPM} + 0,3 \mu\Omega$
C(3962)....	567 1	= 568 8	+ 1,7
	<u>1,000 576 2 Ω_F</u>	<u>= 1,000 577 2 Ω_{BIPM}</u>	<u>$\Omega_F = \Omega_{BIPM} + 1,0 \mu\Omega$</u>

Grande-Bretagne.

N(726)....	1,000 012 9 Ω_{GB}	= 1,000 010 4 Ω_{BIPM}	$\Omega_{GB} = \Omega_{BIPM} - 2,5 \mu\Omega$
N(727)....	1,000 017 4	= 014 6	- 2,8
	<u>1,000 015 1 Ω_{GB}</u>	<u>= 1,000 012 5 Ω_{BIPM}</u>	<u>$\Omega_{GB} = \Omega_{BIPM} - 2,6 \mu\Omega$</u>

Japon.

E(34030)...	1,000 605 7 Ω_J	= 1,000 602 7 Ω_{BIPM}	$\Omega_J = \Omega_{BIPM} - 3,0 \mu\Omega$
E(34034)...	590	588 4	- 1,6
E(36060)...	188	186 2	- 1,8
	<u>1,000 461 2 Ω_J</u>	<u>= 1,000 459 1 Ω_{BIPM}</u>	<u>$\Omega_J = \Omega_{BIPM} - 2,1 \mu\Omega$</u>

RATTACHEMENT DE L' « UNITÉ DE RÉSISTANCE DE L'U. R. S. S. ».

A. *Rattachement de Ω_U à Ω_{BIPM} en août 1951.* — MM. Kolosov et Alessine ayant apporté à Sèvres en juillet 1951 les deux étalons nos 6 et 8, ces derniers furent comparés en août aux quatre ohms S(85), N(717), E(34052) et LN(65) qui constituent le groupe de référence GO_3 du Bureau International.

Les résultats furent les suivants :

N° 6.....	1,000 434 4 Ω_{BIPM}
N° 8.....	1,000 446 1 Ω_{BIPM} .

Les valeurs de ces deux étalons exprimées en « unité absolue de l'U. R. S. S. » étant à la même époque données par le tableau ci-dessous :

	En juin 1951 (certificat de l'I. M. du 23 juin 1951).	En septembre 1951 (lettre de l'I. M. du 16 janvier 1952).	Valeurs admises en août 1951.
N° 6.....	1,000 433 8	1,000 434 7	1,000 434 2 Ω_U
N° 8.....	1,000 445 7	1,000 445 9	1,000 445 8 Ω_U

nous en déduisons la relation suivante entre les unités de l'U. R. S. S. et du B. I. P. M. en août 1951 :

N° 6...	1,000 434 2 $\Omega_U = 1,000 434 4 \Omega_{BIPM}$	d'où $\Omega_U = \Omega_{BIPM} + 0,2 \mu\Omega$
N° 8...	1,000 445 8 $\Omega_U = 1,000 446 1 \Omega_{BIPM}$	d'où $\Omega_U = \Omega_{BIPM} + 0,3 \mu\Omega$
Moyenne...	1,000 440 0 $\Omega_U = 1,000 440 2 \Omega_{BIPM}$	d'où $\Omega_U = \Omega_{BIPM} + 0,2 \mu\Omega$

B. *Rattachement de Ω_U à Ω_{BIPM} à l'époque moyenne des comparaisons internationales (février-mars 1950).* — En mai 1948 les comparaisons effectuées à Sèvres entre les étalons nos 6 et 8 de l'Institut de Métrologie et ceux du Bureau International avaient conduit aux résultats ci-dessous :

	Valeurs en Ω_U en janvier 1948 (certificat de P. I. M. de mars 1948).	Valeurs en Ω_{BIPM} en mai 1948 (résultats des mesures effec- tuées à Sèvres).	Relation entre Ω_U et Ω_{BIPM} en janvier-mai 1948.
N° 6 . . .	1,000 438 5	1,000 439 6	$\Omega_U = \Omega_{BIPM} + 1,1 \mu\Omega$
N° 8 . . .	1,000 445 9	1,000 449 1	$\Omega_U = \Omega_{BIPM} + 2,2 \mu\Omega$
Moyenne . . .	1,000 442 2	1,000 444 3 ₅	$\Omega_U = \Omega_{BIPM} + 2,2 \mu\Omega$

Par interpolation, nous admettrons qu'en février-mars 1950 la correspondance entre les unités de résistance conservées par l'Institut de Métrologie et le Bureau International était la suivante :

$$\Omega_U = \Omega_{BIPM} + 2,2 - (2,2 - 0,2) \frac{2,4}{41},$$

soit :

$$\Omega_U = \Omega_{BIPM} + 1,0 \mu\Omega.$$

Résultats des comparaisons internationales de 1950. — Expression de l'unité de résistance conservée par chacun des six grands Laboratoires en fonction de leur moyenne :

$$\Omega_{m(abs)} = \frac{1}{6} [\Omega_A + \Omega_{EU} + \Omega_F + \Omega_{GB} + \Omega_J + \Omega_U].$$

$$\Omega_A = \Omega_{BIPM} + 17,9 \mu\Omega = \Omega_{m(abs)} + 15,4 \mu\Omega$$

$$\Omega_{EU} = \text{ » } - 0,4 = \text{ » } - 2,9$$

$$\Omega_F = \text{ » } + 1,0 = \text{ » } - 1,5$$

$$\Omega_{GB} = \text{ » } - 2,6 = \text{ » } - 5,1$$

$$\Omega_J = \text{ » } - 2,1 = \text{ » } - 4,6$$

$$\Omega_U = \text{ » } + 1,0 = \text{ » } - 1,5$$

$$\Omega_{m(abs)} = \Omega_{BIPM} + 2,5 \mu\Omega.$$

Conclusion. — Le passage aux unités absolues a rapproché les unités conservées par chacun des grands Laboratoires puisque, hormis Ω_A , elles coïncident maintenant entre elles à quelques millièmes près.

Malgré ce résultat satisfaisant il est souhaitable que de nouvelles déterminations absolues soient effectuées sans tarder, afin de confirmer les valeurs des étalons matériels, valeurs obtenues pour la plupart à partir des anciennes unités internationales par simple application d'un coefficient.

ANNEXE E 9.

Bureau International des Poids et Mesures.

RAPPORT

SUR

LES COMPARAISONS DES ÉTALONS NATIONAUX
DE FORCE ÉLECTROMOTRICE

EFFECTUÉES EN FÉVRIER ET AVRIL 1950 (1)

Par G. LECLERC et M. GAUTIER.

Dans le même temps qu'il avait envisagé la comparaison des étalons de résistance électrique (c'est-à-dire dans sa session de 1948), le Comité International avait prévu celle des étalons nationaux de force électromotrice.

Cinq Laboratoires répondirent à son appel et firent parvenir à Sèvres, pour l'automne 1949 ou le début de 1950, leurs éléments Weston représentatifs. Ce furent :

Laboratoires.	Numéros des étalons	Date d'arrivée.	Date de départ.	Symbole.
D. A. M. G. (Berlin)...	$\left. \begin{array}{l} 49204-49205 \\ 49208-49212 \\ 49213 \end{array} \right\}$	13 janv. 1950	—	R _V ₁

(1) Les résultats des comparaisons de 1950 ont été donnés initialement sous la forme d'un rapport daté d'avril 1951 et d'un complément à ce rapport publié en février 1952. Le rapport que nous publions ici résulte de la fusion des deux précédents.

N. B. S. (Washington).	$\left\{ \begin{array}{l} 1047-1053 \\ 1055-1056 \\ 1059-1062 \end{array} \right\}$	2 sept. 1949	4 juil. 1950	S _V
L. C. I. E. (Paris),.....	$\left\{ \begin{array}{l} 2908-2909 \\ 2911 \end{array} \right\}$	9 nov. 1949	28 avr. 1950	C _V
N. P. L. (Teddington)..	$\left\{ \begin{array}{l} 4833-4836 \\ 4851-4852 \\ 4853-4854 \end{array} \right\}$	23 nov. 1949	5 août 1950	N _V
E. T. L. (Tokyo),....	$\left\{ \begin{array}{l} A(78)-A(82) \\ 456-467-490 \end{array} \right\}$	1 ^{er} déc. 1949	28 juin 1950	E _V

Malheureusement, au cours du voyage entre leur laboratoire d'origine et Sèvres les groupes du D. A. M. G. et du N. P. L. furent détériorés. Le premier fut rendu absolument inutilisable par une fausse manœuvre en douanes. Quant au second, bien que trois des six éléments qu'il comportait parussent encore stables et mesurables, les valeurs trouvées à Sèvres différaient de quantités telles par rapport à celles données par le Certificat du N. P. L., qu'il ne fut pas possible de le considérer comme représentant l'unité britannique. Le D. A. M. G. et le N. P. L. prévenus décidèrent l'envoi de nouveaux groupes. Cependant, l'arrivée de ces éléments de remplacement pouvant demander de longs délais, et le Bureau ne voulant pas retarder exagérément la date des comparaisons, celles-ci furent entreprises sans plus attendre.

A ces comparaisons participèrent donc :

1^o Les quatre groupes S_V, C_V, N_V' (c'est-à-dire N_V diminué des éléments nos 4835, 4836 et 4853) et E_V. Ils furent comparés dans toutes les combinaisons possibles et forment les sommets du carré principal du schéma ci-après (*fig. 1*).

2^o Tous les groupes sédentaires présents à Sèvres à cette époque, savoir :

R₁, S₂, C₂, E₁, M₁, I₁, S, I_A et I_B qui constituent la base de référence du Bureau International et conservent le « Volt moyen » depuis 1939;

N₁' et N₁', étalons du N. P. L. en dépôt à Sèvres depuis juillet 1945;

M_A', étalons de l'I. M. en dépôt à Sèvres depuis mai 1948;

I_C et I_B, étalons appartenant au B. I. P. M.

L'intérêt du rattachement de tous ces groupes sédentaires aux groupes nationaux était double; il devait permettre d'abord de comparer l'unité conservée par le B. I. P. M. à celles des différents laboratoires, et il servirait ensuite à comparer indirectement les unités allemande et britannique aux unités américaine, française et japonaise, dans le cas, fort probable, où les nouveaux groupes d'éléments Weston, promis par le D. A. M. G. et le

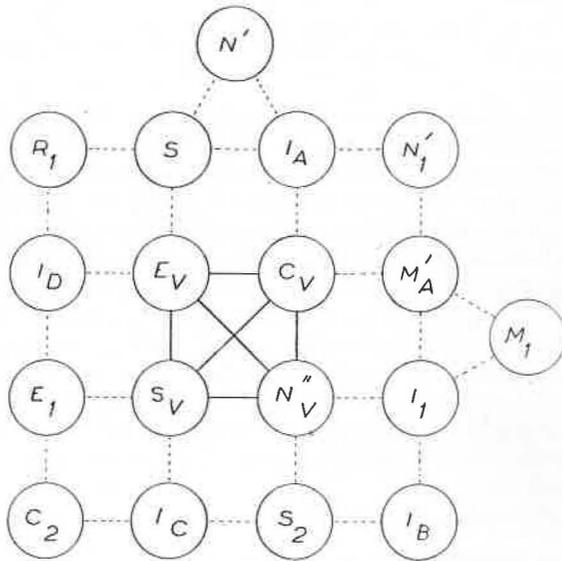


Fig. 1.

N. P. L., arriveraient à Sèvres après le départ des étalons du N. B. S., du L. C. I. E. et de l'E. T. L., ce qui rendrait impossible toute comparaison directe.

La manière dont ces groupes furent comparés entre eux est représentée sur le schéma qui précède (*fig. 1*).

Les mesures furent faites par deux observateurs, qui effectuèrent indépendamment l'un de l'autre un « aller » et un « retour » symétriques par rapport à une date centrale commune. Voici d'ailleurs le calendrier des mesures :

G. Leclerc : séries aller, du 30 janvier au 9 février 1950;

M. Gautier : séries aller, du 10 février au 18 février 1950;
 M. Gautier : séries retour, du 20 février au 28 février 1950;
 G. Leclerc : séries retour, du 1^{er} mars au 11 mars 1950.

Le dispositif potentiométrique utilisé pour les comparaisons fut le même que celui employé en 1936 et en 1939, hormis l'interpolateur conçu en 1946 et réalisé en 1947 par G. Leclerc (Voir *Procès-Verbaux des séances du Comité International*, session 1948, p. 14).

RÉDUCTION DES OBSERVATIONS. — Nous avons rapporté la valeur de chaque groupe à la moyenne $B_4 = \frac{1}{4}(S_V + C_V + N_V'' + E_V)$ des groupes nationaux voyageurs.

Ces quatre groupes ayant d'ailleurs été comparés entre eux de toutes les façons possibles, nous avons utilisé pour les évaluer la méthode des moindres carrés.

Résultats.

	G. Leclerc.	M. Gautier.	Moyenne.
(6) $S_V = B_4$	— 8,76 μV	— 8,94 μV	— 8,85 μV
(3) C_V »	— 4,91	— 4,71	— 4,81
(3) N_V'' »	— 16,71	— 16,65	— 16,68
(5) E_V »	+30,38	+30,30	+30,34
(4) R_1 »	+91,37	+90,68	+91,03
(4) S »	+15,87	+16,07	+15,97
(6) S_2 »	+21,31	+21,00	+21,16
(4) C_2 »	+19,87	+18,40	+19,14
(5) N_1' »	— 20,92	— 21,34	— 21,13
(3) N' »	— 21,38	— 21,52	— 21,45
(4) E_1 »	+29,17	+28,70	+28,94
(4) M_A' »	+40,71	+40,55	+40,63
(6) M_1 »	— 7,13	— 7,18	— 7,16
(6) I_A »	— 20,47	— 20,51	— 20,49
(6) I_B »	— 16,24	— 16,83	— 16,54
(6) I_C »	— 5,31	— 5,56	— 5,43
(6) I_D »	— 15,74	— 16,46	— 16,10
(6) I_1 »	— 4,81	— 5,08	— 4,95

Tous les autres groupes furent ensuite rattachés à B_4 par l'intermédiaire des étalons voyageurs ci-dessus, soit directement,

soit indirectement, mais toujours après qu'on eut réparti les écarts de fermeture de chaque schéma (rectangle ou triangle) sur l'ensemble des séries dont les valeurs n'étaient pas encore invariablement fixées par des calculs antérieurs. Le chiffre entre parenthèses indique le nombre d'éléments constituant chaque groupe.

VALEUR DE B_1 EN FONCTION DE L'UNITÉ CONSERVÉE AU BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES. — Rappelons que le Bureau International conserve son unité moyenne V_{BIPM} en admettant comme fixe, depuis février 1939, la moyenne des 46 éléments ⁽¹⁾ constituant les groupes R_1 , S , S_2 , C_2 , E_1 , M_1 , I_A , I_B et I_1 , cette moyenne valant par définition

$$1,018\,266\,5\,V_M^{(2)} \text{ ou } 1,018\,612\,7\,V_{BIPM}.$$

Or, la moyenne des 46 éléments exprimée en fonction de B_1 , c'est-à-dire déduite des résultats ci-dessus, est la suivante :

Pour G. Leclerc.	Pour M. Gautier.	En moyenne.
$B_1 + 10,02\,\mu V$	$B_1 + 9,65\,\mu V$	$B_1 + 9,84\,\mu V$

On en déduit que :

Pour G. Leclerc.....	$B_1 = 1,018\,602\,68\,V_{BIPM}$
Pour M. Gautier.....	$B_1 = 1,018\,603\,05$
En moyenne.....	$B_1 = 1,018\,602\,86\,V_{BIPM}$

⁽¹⁾ Jusqu'en 1949, V_{BIPM} fut conservée par la moyenne de 47 éléments, mais au cours des comparaisons de 1950, la pile n° 368 du groupe sédentaire japonais E, étant devenue instable, on l'élimina des mesures. Le groupe E diminué d'un élément devint le groupe E_1 , le nombre des piles servant à la conservation de l'unité étant ainsi ramené à 46.

⁽²⁾ Rappelons que V_M représentait l'unité « internationale moyenne », tandis que V_{BIPM} désigne maintenant l'unité « absolue moyenne » qui l'a remplacée depuis le 1^{er} janvier 1948. Ces deux unités sont liées par la relation

$$V_M = 1,000\,34\,V_{BIPM}.$$

(Voir *Procès-Verbaux des séances du Comité International des Poids et Mesures*, sessions 1945-1946, p. 129).

VALEURS DES DIFFÉRENTS GROUPES EXPRIMÉES EN FONCTION DE V_{BIPM} A LA DATE DU 19 FÉVRIER 1950. — En remplaçant B_1 par sa valeur on obtient :

	G. Leclerc.	M. Gautier.	Moyenne.	Différence (Lc-Gt).
$S_V \dots$	1,018 593 9 ₂	1,018 594 1 ₁	1,018 594 0 ₁	— 0,2 μ V
$C_V \dots$	597 7 ₇	598 3 ₄	598 0 ₅	— 0,6
$N_V'' \dots$	585 9 ₇	586 4 ₀	586 1 ₈	— 0,4
$E_V \dots$	633 0 ₆	633 3 ₅	633 2 ₀	— 0,3
$R_1 \dots$	694 0 ₅	693 7 ₃	693 8 ₀	+ 0,3
$S_1 \dots$	618 5 ₅	619 1 ₂	618 8 ₃	— 0,6
$S_2 \dots$	623 9 ₀	624 0 ₅	624 0 ₂	— 0,1
$C_2 \dots$	622 5 ₅	621 4 ₅	622 0 ₀	+ 1,1
$N_1' \dots$	581 7 ₆	581 7 ₁	581 7 ₃	+ 0,1
$N' \dots$	581 3 ₀	581 5 ₃	581 4 ₁	— 0,2
$E_1 \dots$	631 8 ₅	631 7 ₅	631 8 ₀	+ 0,1
$M_1' \dots$	643 3 ₉	643 6 ₀	643 4 ₉	— 0,2
$M_1 \dots$	595 5 ₅	595 8 ₇	595 7 ₁	— 0,3
$I_A \dots$	582 2 ₁	582 5 ₁	582 3 ₈	— 0,3
$I_B \dots$	586 4 ₁	586 2 ₂	586 3 ₃	+ 0,2
$I_C \dots$	597 3 ₇	597 4 ₉	597 4 ₃	— 0,1
$I_D \dots$	586 9 ₁	586 5 ₉	586 7 ₆	+ 0,4
$I_1 \dots$	597 8 ₇	597 9 ₇	597 9 ₂	— 0,1

Les différences (Lc-Gt) figurant dans la dernière colonne donnent une indication sur la précision des mesures et sur la stabilité des groupes. On voit par exemple que C_2 vieillit et devra bientôt être éliminé. Dans l'ensemble les écarts restent inférieurs au demi-microvolt, ce qui est satisfaisant.

VALEURS DES GROUPES NATIONAUX VOYAGEURS EXPRIMÉES EN UNITÉ DU LABORATOIRE D'ORIGINE A LA DATE DU 19 FÉVRIER 1950. — Les écarts constatés entre les valeurs communiquées par les Laboratoires nationaux avant et après la venue de leurs groupes à Sèvres, résultant davantage de variations accidentelles dues aux voyages qu'à une évolution régulière des éléments Weston avec le temps, une interpolation n'est pas justifiable et nous avons simplement pris la moyenne arithmétique des deux valeurs données par les certificats.

N. B. S. — Groupe S_V :

	Août 1949.	Oct.-Nov. 1950.	Valeurs admises.
1047.....	1,018 594 4	1,018 593 7	1,018 594 0 ₅ V _{EU}
1053.....	594 5	594 9	594 7
1058.....	593 9	594 8	594 3 ₅
1056.....	594 1	594 6	594 3 ₅
1039.....	594 3	595 1	594 7
1062.....	588 8	587 9	588 3 ₅
S_V	1,018 593 3 ₃	1,018 593 5	1,018 593 4 ₂ V _{EU}

L. C. I. E. — Groupe C_V :

	Nov. 1949.	Mai 1950.	
	1,018 598 1	1,018 598 0	1,018 598 0 ₅ V _F

N. P. L. — Groupe N_V'' :

	Juil. 1949.	Août-Sept. 1950.	
4831.....	1,018 588	1,018 578 4	1,018 583 2 V _{GB}
4832.....	586	575 0	580 5
4834.....	586	572 6	579 3
N_V''	1,018 586 7	1,018 575 3	1,018 581 0 V _{GB}

E. T. L. — Groupe E_V :

	Oct. 1949.	Nov. 1950.	
486....	1,018 662	1,018 663	1,018 662 5 V _J
467....	647	643	645
490....	647	643	645
A (78)...	615	616	615 5
A (82)...	615	616	615 5
	1,018 637 2	1,018 636 2	1,018 636 7

VALEUR DE L'UNITÉ DE CHACUN DES GRANDS LABORATOIRES EN FONCTION DE CELLE CONSERVÉE PAR LE BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES A LA DATE DU 19 FÉVRIER 1950.

N. B. S. :

$$S_V = 1,018 593 4_2 V_{EU} = 1,018 594 0_1 V_{BIPM},$$

donc

$$V_{EU} = V_{BIPM} + 0,58 \mu V.$$

L. C. I. E. :

$$C_V = 1,018\ 598\ 0_5\ V_F = 1,018\ 598\ 0_4\ V_{BIPM},$$

donc

$$V_F = V_{BIPM} - 0,01\ \mu V.$$

N. P. L. :

$$N_V'' = 1,018\ 581\ 0\ V_{GB} = 1,018\ 586\ 1_8\ V_{BIPM},$$

donc

$$V_{GB} = V_{BIPM} + 5,09\ \mu V.$$

E. T. L. :

$$E_V = 1,018\ 636\ 7\ V_J = 1,018\ 633\ 2_0\ V_{BIPM},$$

donc

$$V_J = V_{BIPM} - 3,44\ \mu V.$$

La concordance entre les unités conservées par les Laboratoires nationaux et le B. I. P. M. est très satisfaisante. Seule V_{GB} s'écarte de V_{BIPM} de $5\ \mu V$ (ce qui d'ailleurs est encore assez faible); cependant, le groupe voyageur N_V'' du N. P. L. ayant souffert du voyage, comme nous l'avons déjà dit, nous ne pensons pas qu'il ait permis de rattacher V_{GB} à V_{BIPM} avec précision. C'est pourquoi la valeur obtenue plus bas avec un second groupe voyageur nous paraît plus digne de confiance.

DEUXIÈME COMPARAISON DES ÉTALONS VOYAGEURS ENTRE EUX (AVRIL 1950). — Le N. P. L. ayant fait parvenir à Sèvres, dès la fin de mars 1950, un nouveau groupe d'éléments Weston (composé des piles nos 4833, 4836 et 4837), et les groupes voyageurs des autres laboratoires n'ayant pas encore été repris par leurs propriétaires, nous avons refait une comparaison en séries fermées des groupes nationaux : S_V , C_V , N_V (désignation du nouveau groupe du N. P. L.) et E_V .

Les résultats rapportés à la moyenne $C_1 = \frac{1}{4}(S_V + C_V + N_V + E_V)$, à la date du 15 avril 1950, furent les suivants :

	G. Leclere.	M. Gautier.	Moyenne.
$S_V = C_1, \dots$	— 8,25 μV	— 7,94 μV	— 8,09 μV
C_V »	— 4,68	— 4,57	— 4,63
N_V , »	— 17,58	— 17,94	— 17,76
E_V »	+ 30,51	+ 30,45	+ 30,48

RATTACHEMENT DE LA MOYENNE $C_i = \frac{1}{4} (S_V + C_V + N_V + E_V)$

A LA MOYENNE $B_i = \frac{1}{4} (S_V + C_V + N_V + E_V)$. — Les éléments sédentaires conservant l'unité du B. I. P. M. n'ayant pas participé à la seconde comparaison, il nous fallait, pour rattacher les unités des laboratoires à V_{BIPM} , exprimer C_i en fonction de cette unité. Nous l'avons fait par l'intermédiaire de B_i en posant que la moyenne des trois groupes nationaux S_V , C_V et E_V était restée constante entre le 19 février et le 15 avril 1950. Nous avons donc écrit :

G. Leclerc :

	19 février 1950.		15 avril.
$S_V =$	$B_i - 8,76 \mu V =$	$C_i -$	$8,25 \mu V$
$C_V =$	$- 4,91 =$	$-$	$4,68$
$E_V =$	$+30,38 =$	$+30,51$	
	<hr/>		<hr/>
	$3 B_i + 16,71 \mu V =$	$3 C_i +$	$17,58 \mu V$

d'où

$$C_i = B_i - 0,29 \mu V = 1,018 602 39 V_{BIPM}.$$

M. Gautier :

	19 février 1950.		15 avril.
$S_V =$	$B_i - 8,94 \mu V =$	$C_i -$	$7,94 \mu V$
$C_V =$	$- 4,71 =$	$-$	$4,57$
$E_V =$	$+30,30 =$	$+30,45$	
	<hr/>		<hr/>
	$3 B_i + 16,65 \mu V =$	$3 C_i +$	$17,94 \mu V$

d'où

$$C_i = B_i - 0,42 \mu V = 1,018 602 62 V_{BIPM}.$$

En moyenne (Lc, Gt) :

$$C_i = B_i - 0,36 \mu V,$$

$$C_i = 1,018 602 50 V_{BIPM}.$$

A la date moyenne du 15 avril 1950 nous avons donc, pour les groupes nationaux voyageurs, les valeurs ci-dessous exprimées en unité du B. I. P. M. :

	G. Leclerc.	M. Gautier.	Moyenne.
S_V	1,018 594 1 ₄	1,018 594 6 ₈	1,018 594 4 ₁ V_{BIPM}
C_V	597 7 ₁	598 0 ₅	597 8 ₈
N_V	584 8 ₁	584 6 ₈	584 7 ₄
E_V	632 9 ₀	633 0 ₇	632 9 ₈

Les valeurs des éléments Weston constituant le second groupe du N. P. L. et exprimées en unité britannique étant les suivantes :

	Mars 1949.	Août-Sept. 1950.	Valeurs moyennes admises.
4855....	1,018 585	1,018 578 2	1,018 581 6 V _{GB}
4856....	585	581 4	583 2
4837....	584	581 4	582 7
N _{V₂} ...	1,018 5847	1,018 580 3	1,018 582 5 V _{GB}

nous avons finalement les relations ci-après entre les unités nationales et celle du B. I. P. M.

$$\begin{aligned} V_{EU} &= V_{BIPM} + 0,97 \mu V. \\ V_F &= \text{»} - 0,17 \\ V_{GB} &= \text{»} + 2,20 \\ V_J &= \text{»} - 3,65. \end{aligned}$$

En comparant ces résultats à ceux obtenus en février, on constate une différence importante pour l'unité du N. P. L. Cet écart confirme nos suppositions : le groupe N_Vⁿ détérioré en cours de route n'avait plus qualité pour représenter l'unité britannique après son voyage Teddington-Sèvres. Nous admettrons donc comme valeur exacte celle résultant des mesures effectuées en avril avec le groupe N_{V₂}.

Pour les trois autres groupes la concordance est satisfaisante. Elle fixe un ordre de grandeur de la précision des comparaisons : environ $0,3 \cdot 10^{-6}$ V. Nous prendrons d'ailleurs la moyenne des valeurs obtenues en février et avril comme résultats définitifs des comparaisons internationales de 1950, soit

$$\begin{aligned} V_{EU} &= V_{BIPM} + 0,77 \mu V \\ V_F &= \text{»} - 0,09 \\ V_{GB} &= \text{»} + 2,20 \\ V_J &= \text{»} - 3,54. \end{aligned}$$

RATTACHEMENT DE L'UNITÉ ALLEMANDE A V_{BIPM}. — Pour remplacer le premier groupe du D. A. M. G., rendu inutilisable par une fausse manœuvre en douanes, le Docteur Schulze apporta au Bureau International, en juin 1950, un second groupe composé des éléments n^{os} 49 203, 265, 267, 268 et 269, qu'on appela R_{V₂}, puis R_{V₃}, après élimination de la pile n^o 268, jugée trop instable. Malheureusement, à cette date la plupart des étalons nationaux

des autres laboratoires n'étaient plus à Sèvres. Une comparaison directe étant par conséquent impossible, nous avons rattaché les éléments du D. A. M. G. aux meilleurs des groupes sédentaires en dépôt à Sèvres. Nous avons admis que la moyenne de ces groupes était demeurée constante depuis février 1950 et nous avons obtenu ainsi, pour R_{V_3} , la valeur suivante à la date moyenne du 25 août 1950.

	G. Leclerc.	M. Gautier.	Moyenne.
R_{V_3}	1,018 677 8 V_{BIPM}	1,018 679 4 V_{BIPM}	1,018 678 6 V_{BIPM} .

Valeur du groupe R_{V_3} , exprimée en unité allemande, à la date moyenne du 25 août 1950 :

	Valeurs en juin 1950 (lettre du 16 juin 1950).	Valeurs au 8 juillet 1951 (lettre du 24 juillet 1951).	Valeurs moyennes admises pour août 1950.
49 203.....	1,018 664	1,018 649	1,018 656 5 V_A
265.....	695	707	701
267.....	695	707	701
269.....	691	704	697 5
R_{V_3}	<u>1,018 686</u>	<u>1,018 692</u>	<u>1,018 689 V_A</u>

Valeur de V_A en fonction de V_{BIPM} :

$$R_{V_3} = 1,018 689 \quad V_A = 1,018 678 6 \quad V_{BIPM}$$

d'où l'on déduit :

$$V_A = V_{BIPM} - 10,2 \mu V.$$

II. — RATTACHEMENT DE L'UNITÉ DE FORCE ÉLECTROMOTRICE DE L'U. R. S. S. A CELLE DU B. I. P. M.

A. *Rattachement en août 1951.* — L'Institut de Métrologie ayant fait parvenir à Sèvres en juillet 1951 un groupe d'éléments Weston, ceux-ci furent comparés en août aux étalons de référence du Bureau International. Les résultats furent les suivants :

2706.....	1,018 611 5 V_{BIPM}
2709.....	617 1
2715.....	618 0
2736.....	618 4
2746.....	611 5
Moyenne.....	<u>1,018 615 3 V_{BIPM}</u>

Les valeurs de ces mêmes éléments, exprimées en unité de l'U. R. S. S. étant celles calculées ci-dessous :

	En mai 1951 (certificat de l'I. M. du 25 juin 1951).	En octobre 1951 (lettre de l'I. M. du 16 janvier 1952).	Valeurs admises pour août 1951.
2706.....	1,018 588 7	1,018 583 8	0,018 586 2 V_U
2709.....	593 9	597 6	595 8
2713.....	595 9	596 1	596 0
2736.....	595 6	595 2	595 4
2746.....	586 5	584 0	585 2
Moyenne	1,018 592 1	1,018 591 3	1,018 591 7 V_U

nous en déduisons qu'en août 1951, il existait entre V_U et V_{BIPM} la relation ci-après :

$$V_U = V_{BIPM} + 23,2 \mu V.$$

B. *Rattachement à la date moyenne des comparaisons internationales (février-avril 1950).* — Les déterminations effectuées à Sèvres en mai 1948, sur un groupe d'une vingtaine d'éléments Weston appartenant à l'Institut de Métrologie, avaient permis d'obtenir à cette époque la relation qui suit, entre V_U et V_{BIPM} :

$$V_U = V_{BIPM} + 22,9 \mu V.$$

Il paraît alors légitime d'admettre qu'en février-avril 1950 la correspondance entre les deux unités était la suivante :

$$V_U = V_{BIPM} + 23,0 \mu V.$$

III. — RÉSULTATS DES COMPARAISONS INTERNATIONALES DE 1950.

Expression de l'unité de force électromotrice conservée par chacun des six grands Laboratoires en fonction de leur moyenne :

$$V_{m(abs)} = \frac{1}{6} [V_A + V_{EU} + V_F + V_{GB} + V_J + V_U].$$

$$V_A = V_{BIPM} - 10,2 \mu V = V_{m(abs)} - 12,2 \mu V$$

$$V_{EU} = \text{»} + 0,8 = \text{»} - 1,2$$

$$V_F = \text{»} - 0,1 = \text{»} - 2,1$$

$$V_{GB} = \text{»} + 2,2 = \text{»} + 0,2$$

$$V_J = \text{»} - 3,5 = \text{»} - 5,5$$

$$V_U = \text{»} + 23,0 = \text{»} + 21,0$$

$$V_{m(abs)} = V_{BIPM} + 2,0 \mu V$$

IV. — CONCLUSION.

Bien que des retards ou des accidents survenus en cours de transport n'aient pas permis de réunir simultanément à Sèvres et de comparer directement entre eux les étalons représentatifs de tous les grands Laboratoires, nous croyons pourtant que les résultats donnés ci-dessus ont été obtenus avec la précision désirable. Leur nombre élevé, leur qualité et les études fréquentes auxquelles ils sont soumis autorisent en effet la plus grande confiance dans les éléments du Bureau International qui ont servi d'intermédiaires.

Les comparaisons de 1950 sont la première confrontation importante effectuée depuis 1939 entre les « unités » conservées par les divers pays. Il est instructif et rassurant de constater que malgré tant d'années écoulées la concordance entre ces unités reste bonne.

C'est aussi la première comparaison depuis le passage aux « unités absolues » de janvier 1948. Le tableau ci-dessus ne doit donc pas être directement comparé à celui de 1939. Il a une signification propre, l'écart de chaque « unité » par rapport à $V_{m(\text{abs})}$ traduisant la dérive apparente de ladite « unité » depuis 11 ans.

Nous espérons que ces comparaisons faciliteront le travail du Comité Consultatif d'Électricité, qui se réunira à Sèvres en juin prochain.

ANNEXE E 10.

National Bureau of Standards.

PROPOSITION DE PROCÉDURE
POUR LA COORDINATION DES UNITÉS ÉLECTRIQUES
PAR LE BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES.

L'expérience des 40 dernières années a montré qu'en dépit du soin extrême pris par les divers Laboratoires d'étalonnage nationaux pour maintenir à une valeur constante leurs unités de résistance et de force électromotrice, des écarts se sont produits entre les unités de chaque laboratoire et celles des autres (*voir* par exemple les figures 8 et 9 de la *N. B. S. Circular 475*). Ces écarts sont d'ordinaire petits et n'atteindront probablement que quelques millièmes dans les deux années qui séparent les intercomparaisons internationales régulières. Ces changements dans chacun des laboratoires peuvent être quelconques, mais montrent souvent une tendance systématique dans un certain sens, jusqu'à produire finalement un désaccord considérable. En général, il apparaît que l'ohm tend à dériver vers une valeur plus grande, tandis que le volt tend vers une valeur plus faible. Ces tendances reflètent vraisemblablement les différences fondamentales dans la nature des étalons utilisés pour la conservation des deux unités. Pendant la guerre aucune comparaison n'a été effectuée et les dérives accumulées ont été plus grandes. Par un hasard heureux, pendant la deuxième guerre mondiale, il s'est trouvé des dérives en sens opposés pour deux Laboratoires nationaux, aussi bien dans le cas de l'ohm que dans celui du volt. En conséquence, l'unité moyenne fondée sur l'ensemble des six Laboratoires n'en a probablement pas été très affectée. Cependant, s'il n'y avait pas eu cette coïncidence heureuse et si l'un

seulement des Laboratoires avait vu son unité changée, l'ohm moyen aurait bien pu varier de plus de 1 milliardième, et le volt moyen de près de 4 milliardièmes.

La procédure actuelle, qui consiste à envoyer des résistances étalons et des piles étalons de chaque Laboratoire au Bureau International, puis à les renvoyer au Laboratoire d'origine, sert à établir la « valeur à Sèvres » pour chaque unité nationale. Ces valeurs peuvent différer légèrement des unités nationales telles qu'elles sont maintenues à l'intérieur de chaque laboratoire, en raison principalement des légers changements des étalons pendant les transports. L'incertitude ainsi introduite ne devrait pas dépasser 2 milliardièmes pour l'ohm et 5 milliardièmes pour le volt, ce qui est beaucoup par rapport aux erreurs de mesure tant au Bureau International qu'aux Laboratoires nationaux. Dans le passé la pratique habituelle du Bureau International a consisté à ajuster les diverses valeurs de telle sorte que la moyenne algébrique des six « unités à Sèvres » nationales conserve la même valeur qu'à la fin de l'intercomparaison biennale précédente. (En raison du changement volontaire introduit par l'U. R. S. S. dans ses unités afin de les accorder exactement avec la moyenne internationale en 1935 après que cette valeur moyenne internationale a été établie, les ajustements depuis cette date ont été effectués de façon à conserver pour la moyenne des unités une valeur légèrement différente de l'unité).

Étant donné le comportement excellent montré par les groupes de piles et de résistances étalons conservés en permanence au Bureau International, il est recommandé que dans les intercomparaisons futures l'on considère l'unité définie par ces groupes d'étalons sur un pied d'égalité avec les « unités à Sèvres » des six autres Laboratoires. Ainsi le résultat final serait fondé sur sept Laboratoires indépendants au lieu de six, comme c'est le cas à présent.

Nous proposons que l'on modifie légèrement l'ancienne procédure afin de donner un poids plus grand, dans l'ajustement des résultats, aux unités qui depuis l'intercomparaison précédente ont montré relativement peu de changement, et un poids un peu plus petit aux unités qui ont montré des dérives anormalement grandes. Un procédé possible pour le choix de ces poids est donné en détail en annexe.

Dans ce procédé les poids sont fondés sur la dérive apparente de chaque unité entre les intercomparaisons et sont choisis

proportionnels à l'inverse de la quantité ($d_i^2 + u^2$). Dans cette expression d_i est, par rapport à une moyenne non pondérée, la dérive apparente montrée par l'unité du $i^{\text{ème}}$ laboratoire, et u est une valeur constante arbitraire qui devrait être choisie de préférence comme approximativement égale au changement attendu normalement des « unités à Sèvres » entre les intercomparaisons. Si une unité de l'un des sept Laboratoires devait changer entre les intercomparaisons d'une quantité d_i , tandis que les six autres unités resteraient réellement inchangées, l'effet sur les autres valeurs obtenues serait celui qui est indiqué au tableau I dans le cas où u serait choisi égal à 2 millièmes.

TABLEAU I.

Changement d'une unité.	Effet sur les autres unités (non pondéré).	Poids relatifs ($\frac{\text{inchangé}}{\text{changé}}$).	Effet sur les autres unités (pondéré).
+ 2	-0,29	$\frac{1,7}{1}$	-0,18
+10	-1,43	$\frac{13}{1}$	-0,13

Les valeurs moyennes des unités conservées par une telle procédure devraient rester très constantes; néanmoins une dérive est évidemment probable et celle-ci pourrait, au cours de plusieurs décades, aboutir à un changement qui dépasserait l'incertitude des mesures absolues. Il est à espérer par conséquent que les Laboratoires nationaux et d'autres institutions scientifiques effectueront de temps en temps des déterminations absolues et communiqueront leurs résultats au Comité International. Nous suggérons qu'après chaque intercomparaison biennale, dans laquelle une telle mesure absolue est mise en rapport avec l'unité moyenne internationale, cette dernière soit à nouveau ajustée en prenant en considération la valeur de la nouvelle détermination. Dans cet ajustement, on devrait tenir compte d'une part : *a.* de l'incertitude sur la valeur de la nouvelle détermination et *b.* de l'incertitude introduite par le transport de ce nouveau résultat du laboratoire d'origine à Sèvres; et d'autre part : *c.* de l'incertitude sur la détermination originale des unités absolues en 1938 et *d.* des incertitudes accumulées dans la conservation des unités entre 1938 et la date de l'intercomparaison. Ce serait le rôle du Comité Consultatif d'Électricité d'évaluer ces incertitudes.

Les mesures absolues futures peuvent être de l'un des deux types suivants : *a.* déterminations par une nouvelle méthode ou par une méthode ancienne avec des appareils nouveaux ou modifiés; *b.* répétition de mesures utilisant des méthodes et des appareils identiques à ceux qui avaient été utilisés à une occasion précédente. Des mesures du type *b* peuvent être de grande valeur pour mettre en évidence une dérive de l'unité, car les erreurs systématiques de l'appareillage sont les mêmes dans les deux mesures et doivent s'éliminer lorsque l'on calcule le changement de l'unité. Les erreurs accidentelles d'une mesure absolue peuvent fort bien être si petites que les expériences du type *b* sont capables de fournir une précieuse valeur de confirmation pour le contrôle de la constance des unités sur des périodes d'une décade ou deux.

On se rend bien compte que les valeurs des unités telles qu'elles sont effectivement réalisées dans les divers Laboratoires nationaux ne seront pas en réalité égales à 1 millionième près. De légères dérives vont se produire pendant la période suivante de deux ans, même si les valeurs nationales individuelles avaient été réajustées après chaque intercomparaison biennale. Il semblerait donc que, dans le futur comme dans le passé, chacun des sept Laboratoires maintiendra ses propres unités de résistance et de force électromotrice et que le Bureau International continuera tous les deux ans à indiquer officiellement à chaque Laboratoire la valeur probable corrigée de ses unités, d'après le procédé indiqué ci-dessus. On doit espérer que tout Laboratoire qui trouverait que son unité montre une tendance à s'écarter d'une façon continue de l'unité moyenne internationale prendra les mesures appropriées pour porter remède à la cause de cette dérive. Nous suggérons que tout Laboratoire qui trouverait que son unité reste constamment différente de l'unité moyenne d'une quantité nettement supérieure à 10 millionièmes devrait corriger cet état de choses en assignant à son unité une valeur révisée. Une telle modification volontaire devrait évidemment être portée à la connaissance du Bureau International et celui-ci devrait en tenir compte comme il convient pour le calcul de la nouvelle valeur approchée et des poids relatifs pour les unités à la comparaison suivante.

ANNEXE E 41.

National Bureau of Standards.

SUPPLÉMENT ET CORRECTION

A LA NOTE

« PROPOSITION DE PROCÉDURE
POUR LA COORDINATION DES UNITÉS ÉLECTRIQUES
PAR LE BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES. »

A la date du 21 novembre 1950, le National Bureau of Standards a envoyé aux Membres du Comité Consultatif d'Électricité une proposition de procédure pour la coordination des unités électriques par le Bureau International des Poids et Mesures. Le but de ce supplément est de donner des exemples de procédure susceptibles de guider dans le choix de valeurs convenables pour le paramètre u et de corriger une erreur dans la procédure proposée primitivement. Cette erreur réside dans l'application de poids aux nouvelles valeurs des différences individuelles c_i par rapport à la moyenne. Les poids doivent être appliqués aux dérivés individuelles, d_i , ce qui permet d'obtenir une dérive moyenne pondérée, d_m , que l'on suppose être la dérive réelle de la moyenne. La feuille ci-jointe, intitulée « Annexe (révisée) », décrit la procédure corrigée et doit être substituée à la feuille précédente intitulée « Annexe ». L'ancienne Annexe doit être détruite.

A titre d'exemple de la nouvelle procédure, considérons les ajustements qui auraient été faits en décembre 1936 sur les diffé-

rences entre l'ohm tel qu'il a été maintenu dans les divers Laboratoires nationaux et ce que l'on appelle l'ohm international « moyen ». Dans le tableau, les valeurs publiées pour mars 1935 sont désignées par a_i et celles qui ont été ajustées en décembre 1935 pour avoir la même valeur moyenne non pondérée, — 1,7, sont désignées par c_i .

Laboratoire.	a_i .	c_i .	d_i .	d_i^2 .	$d_i^2+u^2$.	w_i .	$w_i d_i$.	f_i .
P. T. R...	+ 9,8	+ 6,6	-3,2	10,24	14,24	0,070	-0,225	+ 6,4
N. B. S...	- 5,5	- 3,7	+1,8	3,24	7,24	0,138	+0,249	- 3,9
L. C. E...	0	+ 0,9	+0,9	0,81	4,81	0,208	+0,187	+ 0,7
N. P. L...	- 3,6	- 3,9	-0,3	0,09	4,09	0,244	-0,073	- 4,1
E. T. L...	-11,2	-10,0	+1,2	1,44	5,44	0,184	+0,221	-10,2
I. M.	0	- 0,4	-0,4	0,16	4,16	0,240	-0,096	- 0,6
	-10,5	-10,5	0			1,084	+0,263	-11,7
	$a_m = 1,7$	$c_m = 1,7$				$d_m = +0,24$	$f_m = - 1,9$	

Chacun des d_i est donné par $c_i - a_i$. Le paramètre u a été choisi ici égal à 2 millièmes. Chacun des poids w_i est calculé par $\frac{1}{d_i^2 + u^2}$, et l'on a calculé la moyenne pondérée d_m . Cette valeur d_m est retranchée de chacun des c_i , ce qui donne finalement les différences f_i .

Comme autres exemples nous avons essayé d'appliquer la procédure aux résultats passés publiés dans les *Procès-Verbaux du Comité International* (vol. 19, p. E 68 et E 72; vol. 21, p. 37 et 38). Ces résultats sont donnés dans les quatre premières lignes du tableau I et du tableau II pour le volt et l'ohm respectivement.

Dans le tableau I, les lignes 3, 6 et 7 contiennent les valeurs du volt que l'on aurait obtenues si l'on avait utilisé dès janvier 1937 la procédure proposée en utilisant $u = 4$. Les valeurs contenues dans les lignes 8, 9 et 10 sont celles qui remplaceraient celles de la colonne 7 si d'autres valeurs de u (indiquées dans la seconde colonne) avaient été utilisées à la place de $u = 4$ à la dernière intercomparaison. Il se trouve que les résultats de la ligne 10 illustrent un cas très particulier parce que, pendant l'intervalle de février 1939 à 1946-1948, la première approximation indique une dérive nulle de l'unité du N. P. L. Par conséquent, pour

$u = 0$, on donne à cette unité un poids infini par rapport aux autres; cependant le résultat qui en découle n'indique qu'une dérive nulle et il est identique à celui de la ligne 8, dans laquelle des poids égaux sont assignés à toutes les unités. Le tableau II donne des résultats analogues pour l'ohm.

On verra d'après ces tableaux que, dans la plupart des cas, les résultats de la procédure proposée ne sont pas très différents de la moyenne non pondérée. De plus, les résultats ne sont pas très affectés par des changements dans la valeur choisie pour u . Cependant cette procédure d'attribution des poids servira de sauvegarde contre les rares occasions dans lesquelles l'unité d'un Laboratoire montrerait une dérive excessive.

Des considérations théoriques suggéreraient que lorsque l'intervalle de temps entre des comparaisons successives est plus long que la période de deux ans habituelle (comme ce fut le cas pendant la deuxième guerre mondiale), une valeur plus grande devrait être choisie pour u . Le plus raisonnable paraît être de choisir u proportionnel à la racine carrée de l'intervalle de temps. Pour cette raison, des valeurs de 8 millièmes pour le volt et de 4 millièmes pour l'ohm ont été essayées dans la ligne 9 du tableau I et la ligne 8 du tableau II. Il ne serait probablement pas sage de poser $u = 0$ comme cela a été essayé dans la ligne 10 du tableau I, parce que dans certains cas ceci produirait des différences plus grandes qu'il ne convient dans les poids assignés aux différentes unités. Même cet exemple extrême, cependant, ne conduit pas à des changements très importants. Une autre possibilité, qui ne paraît pas judicieuse, est de faire dépendre dans chaque cas la valeur de u de la grandeur des d_i . (Par exemple, la choisir égale à leur moyenne sans considérer leur signe ni leur moyenne quadratique.) D'ordinaire, cette relation ne ferait que compliquer les calculs sans affecter sensiblement le résultat, et dans les cas, rares mais importants, où une valeur s'écarte nettement des autres, elle réduirait l'efficacité de la procédure.

L'examen des tableaux indiquerait que la valeur $u = 2$ millièmes pour l'ohm et la valeur $u = 4$ millièmes pour le volt sont convenables pour un intervalle de deux ans entre les inter-comparaisons. Pour des intervalles plus grands les valeurs de u devraient être choisies proportionnelles à la racine carrée de l'intervalle.

TABLEAU I.

Conservation du volt.

Ligne.	Laboratoire.						Moyenne non pondérée
	P. T. R.	N. B. S.	L. C. E.	N. P. L.	E. T. L.	I. M.	
<i>Résultats du Bureau International.</i>							
1. Décembre 1934.....	— 4	—12	0	+5	— 2	0	—2,2
2. Janvier 1937.....	— 7,3	— 9,5	+ 0,7	+7,6	+ 0,7	— 5,5	—2,2
3. Février 1939.....	— 5,5	—11,2	+18,5	+6,5	+ 1,3	—23,1	—2,2
4. 1946-1948 ($V_m = \text{const}$)....	—	— 8,8	+ 9,4	+4,6	—20,8	— 2,0	(—3,5) ₅ ⁽¹⁾
<i>Calculé avec les poids utilisant $u = 4$.</i>							
5. Janvier 1937.....	— 7,9	—10,1	+ 0,1	+7,0	+ 0,1	— 6,1	—2,3
6. Février 1939.....	— 6,0	—11,7	+18,0	+6,0	+ 0,8	—23,6	{ (—2,7) ₆ (—2,1) ₅
7. 1946-1948.....	—	— 7,5	+10,7	+5,9	—18,5	— 0,7	(—2,2) ₅
<i>1946-1948. Calculé d'après la ligne 6 avec d'autres valeurs de u.</i>							
8. $u = \infty$ (poids égaux).....	—	— 7,4	+10,8	+6,0	—19,4	— 0,6	—2,1
9. $u = 8$	—	— 7,1	+11,1	+6,3	—19,1	— 0,3	—1,8
10. $u = 0$	—	— 7,4	+10,8	+6,0	—19,4	— 0,6	—2,1

(1) Les indices indiquent le nombre de Laboratoires entrant dans le calcul de la moyenne.

TABLEAU II.

Conservation de l'ohm.

Ligne.	Laboratoire.						Moyenne non pondérée.
	P. T. R.	N. B. S.	L. C. E.	N. P. L.	E. T. L.	I. M.	
<i>Résultats du Bureau International.</i>							
1. Mars 1935.....	+ 9,8	- 5,5	0,0	-3,6	-11,2	0,0	-1,7
2. Décembre 1936.....	+ 6,6	- 3,7	+ 0,9	-3,9	-10,0	- 0,4	-1,7
3. Février 1939.....	+ 0,1	- 3,2	+ 3,7	-6,5	-14,4	+ 0,8	-1,7
4. 1946-1948.....	+14,3	- 2,3	+ 4,3	-1,7	-21,0	+ 4,0	-0,4
<i>Calculé avec les poids utilisant $u = 2$.</i>							
5. Décembre 1936.....	+ 6,4	- 3,9	+ 0,7	-4,1	-10,2	- 0,6	-1,9
6. Février 1939.....	+ 8,4	- 3,9	+ 3,0	-7,2	-15,1	+ 0,1	-2,4
7. 1946-1948.....	+11,9	- 4,7	+ 1,9	-4,1	-23,4	+ 1,6	-2,8
<i>1946-1948. Calculé d'après la ligne 6 avec d'autres valeurs de u.</i>							
8. $u = 4$	+11,6	- 5,0	+ 1,6	-4,4	-23,7	+ 1,3	-3,1
9. $u = \infty$ (poids égaux).....	+12,3	- 4,3	+ 2,3	-3,7	-23,0	+ 2,0	-2,4

ANNEXE (révisée).

Appelons a_1, a_2, \dots, a_n , de valeur moyenne a_m , les valeurs des différences, par rapport à la moyenne, des unités de n Laboratoires nationaux à l'achèvement d'une comparaison internationale. A la comparaison suivante appelons $(1 + b_1), (1 + b_2), \dots, (1 + b_n)$ les valeurs d'un étalon de référence commun mesuré en fonction de chacune des n unités nationales. A titre de première approximation, formons l'ensemble des différences c_i désigné par

$$c_i = \frac{B}{n} - b_i + a_m,$$

où $B = \Sigma b_i$. Ces valeurs de c_i ont pour valeur moyenne a_m et représentent les différences ajustées que l'on a utilisées dans le passé.

Pour calculer les poids relatifs, calculons d'abord la dérive apparente d_i de chacune des unités par la formule

$$d_i = c_i - a_i.$$

Chacun des poids, w_i , est alors donné par

$$w_i = \frac{1}{d_i^2 + u^2},$$

où u est une constante qui devrait être à peu près l'incertitude que l'on peut raisonnablement s'attendre à trouver dans les valeurs à la suite de dérives ou de variations pendant le transport. Nous proposons de choisir pour l'ohm $u = 2$ millionièmes et pour le volt $u = 4$ millionièmes. On calcule alors la moyenne pondérée des d_i que l'on désigne par d_m . L'ensemble des différences corrigées f_i est alors calculé par la formule

$$f_i = c_i - d_m.$$

Ces valeurs de f_i sont les différences finales entre les unités corrigées et la moyenne internationale corrigée. La moyenne non pondérée des f_i différera en général légèrement de a_m , mais elle doit être prise comme nouvelle moyenne à l'époque de la comparaison internationale suivante.

ANNEXE E 12.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.

REMARQUES

sur la

PROPOSITION DU N. B. S.

CONCERNANT

LA FORMATION DES VALEURS MOYENNES INTERNATIONALES Ω_M ET V_M

Par G. ZICKNER et W. HETZEL.

Nous référant à la proposition du N. B. S. du 27 novembre 1950, et à son complément du 23 février 1951, nous remarquons ce qui suit :

Étant donné que, parmi les unités nationales, il y en a toujours quelques-unes dont la valeur change notablement, tandis que la plupart d'entre elles se rangent aux alentours de leur valeur moyenne Ω_M , on se trouve obligé de réviser le procédé jusqu'ici employé qui attribue un poids égal à chaque unité nationale. Si l'on admet que la valeur moyenne d'un grand nombre de valeurs, qui varient avec le temps de différentes manières, reste constante dans le temps, on doit considérer celles des valeurs qui s'écartent plus fortement de la moyenne que les autres comme étant plus ou moins défectueuses, et ceci sans égard pour la cause d'ailleurs inconnue de leur dérive. Il semblerait par conséquent juste, en principe, de diminuer l'influence de tels étalons exceptionnels sur la valeur moyenne Ω_M en leur attribuant un poids réduit (avec la restriction cependant, que des nombres tels que 6 ou 7 ne doivent pas être considérés comme grands au sens de la statistique).

D'après la proposition américaine, le poids doit dépendre du changement d'une unité entre deux établissements de la moyenne internationale au B. I. P. M., c'est-à-dire de la variation et non du montant de l'écart de cette unité.

Pour le poids, on se sert de la formule

$$(1) \quad W_i = \frac{1}{d_i^2 + u^2}.$$

La présence de l'exposant 2 fait que les variations les plus grandes perdent beaucoup de leur influence par rapport aux plus petites. La grandeur u a pour but de tenir compte de l'instabilité résultant d'altérations « fortuites » d'origine inconnue que l'expérience montre survenir au cours du transport aller et retour des étalons à Sèvres. Elle doit empêcher surtout que le dénominateur ne s'annule, ce qui conduirait à un poids infini. Cette grandeur est considérée, dans la proposition américaine, comme une constante. Là-dessus on peut émettre quelques doutes, car si la grandeur u doit refléter l'influence du transport, elle doit dépendre de la distance, de la durée du voyage, et finalement du moyen de transport (chemin de fer, bateau, avion).

Comme il est presque impossible d'évaluer ces variations dues au transport, nous proposons d'introduire une nouvelle grandeur v égale à la différence des valeurs des étalons voyageurs avant et après leur transport. Dans ce but, cette différence devrait être mesurée par les Laboratoires nationaux et communiquée à Sèvres. Ainsi la valeur u proposée par le N. B. S., qui paraît légèrement arbitraire, serait partagée en deux grandeurs u et v .

De ce qui précède, il résulte que la valeur de v peut être atteinte par l'expérience. La différence mesurée se compose des écarts δ_1 et δ_2 , s'ajoutant l'un à l'autre, qui représentent les variations de l'objet à mesurer pendant le transport à l'aller, puis au retour respectivement. C'est leur somme qui correspond à la différence qu'on peut mesurer expérimentalement.

Ainsi nous proposons de prendre la moyenne de ces chiffres

$$(2) \quad v = \frac{\delta}{2} = \frac{\delta_1 + \delta_2}{2}$$

pour la détermination des poids selon l'équation (1).

De cette manière la grandeur u tiendrait compte seulement des changements fortuits pendant la durée de deux ans et elle

pourrait en outre agir comme un frein de surpoids en empêchant le dénominateur de s'annuler. On pourrait prendre pour u la valeur proposée par le N. B. S., c'est-à-dire 2.10^{-6} pour l'ohm et 4.10^{-6} pour le volt.

On obtiendrait ainsi la formule de poids :

$$(3) \quad W_t = \frac{I}{d_t^2 + u^2 + v^2}$$

En employant cette méthode on suppose que le nombre des unités nationales qui varient plus fortement que les autres est petit devant leur nombre total (¹). On ne peut plus employer la méthode de formation de la valeur moyenne, dans le cas de n unités nationales, si l'inégalité

$$\Sigma d_i^2 \gg (n d_m)^2$$

est remplie. Dans ce cas, toutes les possibilités de former la valeur moyenne perdent leur sens et il faudrait fixer ladite unité par des mesures absolues.

Nous sommes d'accord avec l'opinion, émise par ailleurs, que la proposition américaine a des inconvénients sérieux, et que notre proposition accessoire ne peut éliminer ces inconvénients. Mais nous supposons qu'une proposition provisoire est quand même meilleure qu'aucune; pour cette raison, il nous semble qu'on doive en recommander l'adoption provisoire jusqu'à ce que l'on en trouve une meilleure.

(¹) C'est pourquoi on pourrait recommander d'examiner pendant un temps suffisant la constance des unités nationales d'autres Laboratoires, avant de les admettre à coopérer aux comparaisons internationales.



ANNEXE E 13.

Bureau International des Poids et Mesures.

COMMENTAIRES A LA PROCÉDURE

PROPOSÉE PAR LE NATIONAL BUREAU OF STANDARDS

POUR

LA COORDINATION DES UNITÉS ÉLECTRIQUES

PAR LE BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

Par A. PÉRARD.

(8 janvier 1951)

Dans l'ensemble, le Bureau International des Poids et Mesures (B. I. P. M.) est d'accord avec les propositions du National Bureau of Standards (N. B. S.), sous les quelques réserves qui sont indiquées ci-dessous.

1^o Pour l'établissement des grandeurs ⁽¹⁾ considérées comme les plus probables des unités internationales, grandeurs que le N. B. S. désigne sous le terme « grandeurs à Sèvres », la Note propose de considérer le B. I. P. M. au même titre que l'un des six grands Laboratoires nationaux pour l'établissement de ces grandeurs. Le Bureau International est flatté de cette proposition qui, effectivement, se justifie par le fait que le B. I. P. M. possède des étalons provenant des divers laboratoires, c'est-à-dire de fabrications différentes, fréquemment comparés les uns aux autres, maintenus presque constamment à la même place et

⁽¹⁾ Le mot « grandeur » a été employé de préférence au mot « valeur » qui s'applique plutôt à un nombre.

à une température qui est comprise dans l'intervalle de 15 à 20 degrés C.

Sans doute, le Bureau International n'a pas à son actif l'expérience des déterminations absolues, mais il est incontestablement très renseigné sur la tenue des divers étalons qui passent entre ses mains; et il a un jugement très formé qui lui permet de reconnaître, rien que dans le cours des expériences qui se suivent chez lui, les étalons susceptibles de présenter une moindre stabilité que les autres.

2^o Pour l'établissement de la « grandeur à Sèvres » des unités, le N. B. S. propose d'adopter une certaine formule, qui aurait pour but d'accorder un poids moindre à la grandeur de l'unité d'un laboratoire qui s'écarterait davantage de l'ensemble des autres.

Une telle décision aurait sans doute le grand avantage, par la simple application d'une formule convenue préalablement, d'éviter entre laboratoires toute discussion portant sur une tenue moins bonne des instruments de l'un d'eux.

L'expérience des réunions précédentes montre combien il est délicat de faire admettre à un laboratoire une semblable infériorité.

Cependant, un tel mode de calcul suppose essentiellement que les étalons des diverses provenances sont *grosso modo* de même matière et de mêmes dispositions pratiques; il ne devrait être invoqué que dans ce cas général, qui est en effet le cas actuel, où, pour les résistances, tous les étalons sont constitués de bobines de manganine contenues dans des boîtes, étanches ou non, avec prises de potentiel extérieures, et pour les forces électromotrices les éléments Weston ont la forme en H, avec électrolyte neutre et électrodes en tous points semblables. Mais il est bien évident qu'il serait injuste de vouloir en faire l'application à un laboratoire dont les étalons présenteraient un dispositif essentiellement dissemblable.

Imaginons par exemple que l'un des laboratoires ait ses étalons de résistance construits dans cet or-chrome découvert par Thomas au N. B. S., dont ce laboratoire aurait pu apprécier, non seulement les qualités électriques, mais encore une stabilité remarquable; cet alliage, formé de deux constituants inoxydables, pourrait avoir une stabilité supérieure à celle de la manganine; et si ce laboratoire s'écartait de tous les autres qui utilisent ce dernier alliage, on aurait grand tort de lui donner un poids

moindre, alors que peut-être, bien au contraire, à lui seul il devrait avoir un poids égal à tous les autres réunis identiques entre eux. Autrement dit, la règle proposée ne devrait pas être appliquée aveuglément, mais proposée comme un principe qui se trouverait commode dans la plupart des cas.

3^o Reste la grave question des expériences à exécuter en valeur absolue.

Sans doute ce sont là des travaux longs, difficiles et pénibles; et les divers laboratoires hésitent avant de s'engager dans une telle entreprise, dont il n'est pas certain que l'on puisse tirer des résultats supérieurs à ceux qui ont été obtenus dans le passé.

L'avis du Bureau International est que, après bientôt 15 années écoulées depuis les dernières expériences, il serait absolument nécessaire d'en exécuter à nouveau, en commençant par la reprise d'expériences identiques à celles qui avaient été exécutées entre 1935 et 1939.

Il y a en effet pour l'avenir un intérêt primordial à connaître la dérive des étalons présentement utilisés; et pour le faire, le moyen n'est évidemment pas d'imaginer des instruments ou des dispositifs nouveaux; comme le fait bien remarquer le Rapport du N. B. S., s'il y a eu précédemment des erreurs systématiques (et il y en a toujours), il faudrait pouvoir retrouver les mêmes pour juger du sens et de l'importance de la dérive générale. Or, la reprise avec des appareils déjà existants d'expériences déjà faites, fastidieuses sans doute, ne paraît pas un travail considérable; et elle s'imposerait d'autant plus que la concordance en 1935-1940 était loin d'être satisfaisante, pour ce qui concerne l'ampère.

La proposition du Bureau International sera donc, dès le Comité Consultatif de 1952, de presser tous les laboratoires susceptibles d'exécuter de telles expériences, et particulièrement ceux qui en avaient déjà fait dans la période sus-indiquée, d'en reprendre de semblables, de façon à présenter en 1954 un premier groupe de grandeurs susceptibles d'un rapprochement très intéressant avec les précédentes conservées tant bien que mal par les étalons en service.

Ensuite, et suivant les résultats obtenus alors, serait vraisemblablement demandée une deuxième série d'expériences apportant si possible des dispositifs perfectionnés par rapport aux anciens. Les résultats ne pourraient vraisemblablement en être présentés qu'en 1956 ou même 1958.

Le Bureau International voudrait s'élever contre l'idée de déterminations qui seraient échelonnées d'un laboratoire à un autre. Rien ne serait plus fâcheux que de reconnaître, à plusieurs années d'intervalle, des écarts dont on ne pourrait fixer la provenance : variation des étalons, ou discordance entre les méthodes. Si l'on veut se décider à faire des expériences sur les unités absolues, il faut que tous les laboratoires les exécutent avec une simultanéité aussi exacte que possible.

Sans doute, comme cela s'est déjà produit, la discussion qui suivra pour l'adoption de la grandeur de l'unité qu'on pourra appeler la plus probable entre tous les résultats fournis, sera de nouveau fort délicate. Convendra-t-il d'appliquer une règle comme celle que le N. B. S. propose pour la grandeur des unités conservées par des étalons ? Cela paraît bien difficile ; car, surtout pour des expériences aussi importantes, aucun laboratoire ne voudra sans doute convenir que les siennes sont moins bonnes que les autres ; et il sera impossible de lui prouver qu'il a tort. Un laboratoire qui s'écarte tout seul du groupe des autres est peut-être celui qui fournit le résultat le meilleur ; un avenir très éloigné pourrait seulement apporter une preuve décisive. Le Comité Consultatif sera vraisemblablement conduit à adopter la simple moyenne.

4^e Enfin, lorsque la grandeur d'une unité sera fixée internationalement, soit dans la réunion d'un Comité Consultatif, soit à la suite d'une intercomparaison à Sèvres avec accord par correspondance, le Bureau International voudrait insister sur l'obligation, d'ailleurs admise implicitement par la Note du N. B. S. pour les Laboratoires nationaux, d'adopter cette grandeur dans leurs propres déterminations. Il ne devrait plus subsister d'unité nationale, sous peine que continue à se produire ce que nous avons vu assez souvent dans le passé : un Institut de l'un des pays possédant un grand Laboratoire national demandant directement au Bureau International la détermination de l'un de ses étalons ; celle-ci est naturellement fournie en fonction de la « grandeur à Sèvres », qui se trouve discorder de ce que lui donne le Laboratoire national ; d'où grande incertitude de l'Institut en question, malgré les explications que l'on s'efforce de lui donner ; et dans l'avenir, difficulté pour reconnaître l'unité correspondant à une expérience exécutée à une date déterminée.

Sans doute, après l'accord, se produirait-il, inmanquablement,

des dérives relatives; mais celles-ci devraient être résorbées au mieux chaque fois qu'elles se révéleraient.

Cette disposition n'empêcherait aucunement chaque Laboratoire national de conserver par devers lui la grandeur qu'il considère comme la plus satisfaisante, de façon à maintenir chez lui la continuité de ses travaux.

ANNEXE E 14.

Institut de Métrologie de l'U. R. S. S.

NOTES

DE L'INSTITUT DE MÉTROLOGIE DE L'U. R. S. S.

SUR LA

PROCÉDURE POUR LA COORDINATION
DES UNITÉS ÉLECTRIQUES

PAR LE BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES,

PROPOSÉE PAR LE NATIONAL BUREAU OF STANDARDS

(Août 1951)

La procédure proposée par le N. B. S. a pour but de tenir compte de l'influence des écarts dans les grandeurs des unités électriques (ohm, volt) des divers Laboratoires nationaux par rapport à la moyenne internationale de ces grandeurs, obtenue lors de la comparaison biennale des étalons au B. I. P. M. et de garantir l'immuabilité de cette moyenne durant plusieurs années. Cette procédure consiste en ce que l'on accorde un poids plus grand aux unités qui ont révélé des petits changements visibles pendant la dernière comparaison par rapport aux unités qui ont révélé des changements relativement grands, le poids étant pris inversement proportionnel à la grandeur $(d_i^2 + u^2)$, où d_i est le changement visible de l'unité dans l'intervalle d'une comparaison à une autre, la plus proche, et u est une grandeur constante arbitraire, prise approximativement égale à l'incertitude que l'on peut attendre des grandeurs des unités à la suite des change-

ments probables de ces unités et de l'influence du transport. Pour certaines raisons le N. B. S. donne à cette grandeur la valeur $u = 2$ millièmes pour l'ohm et $u = 4$ millièmes pour le volt. Ensuite l'on calcule la moyenne pondérée de tous les d_i , qui est la mesure des changements de la moyenne internationale dans l'intervalle d'une comparaison à une autre, la plus proche.

Le N. B. S. n'expose pas les motifs de la procédure proposée et cependant celle-ci inspire de grands doutes à cause de l'incertitude du problème.

1° Les mêmes changements visibles des unités peuvent se produire à la suite de la réunion des divers changements réels de ces unités et, dans ce cas, l'emploi de la procédure proposée n'atteindra pas son but. Ainsi, par exemple, les changements visibles d_i des unités des six Laboratoires (en millièmes) :

$$+ 3, + 1, + 1, - 1, - 1, - 3$$

peuvent se produire à la suite de la présence des changements véritables :

$$+ 4, + 2, + 2, 0, 0, - 2.$$

Cependant la même série des valeurs se produirait dans le cas où toutes les unités seraient changées en réalité de la façon suivante :

$$+ 2, 0, 0, - 2, - 2, - 4.$$

L'emploi de la procédure proposée aurait donné pour le changement de la moyenne internationale la grandeur zéro, tandis qu'en réalité son changement est égal dans le premier cas à $+ 1$ millièmes et dans le second cas à $- 1$ millièmes.

2° Comme la procédure attribue les mêmes poids aux mêmes valeurs de d_i indépendamment de leur signe, la moyenne pondérée d_m aura toujours une valeur absolue réduite et ne permettra d'introduire qu'une correction partielle.

3° La grandeur pondérée $w_i d_i$, définie par la formule

$$w_i d_i = \frac{d_i}{d_i^2 + u^2}$$

ayant un maximum quand $d_i = u$ et un minimum quand $d_i = -u$, dégage ainsi sans raison ces valeurs d_i des autres et, en consé-

quence, la constante u étant conventionnelle et le signe de d_i ne lui correspondant pas, la procédure peut conduire à une grande altération du résultat.

Tout ceci mène à la conclusion que les corrections introduites par la procédure sont illusoires.

Cela se confirme par l'exemple suivant, pris du tableau II du texte du 15 février 1951. Dans la ligne 6 de ce tableau est indiquée la moyenne impondérée $f_m = 2,4$, calculée d'après la procédure proposée, ce qui correspond à un changement de $-0,7$ par rapport aux données de la ligne 1. Si, cependant, employant la même procédure, on calcule la grandeur de la même moyenne impondérée f_m en se basant directement sur les lignes 1 et 3, c'est-à-dire en omettant les données de la ligne 2, on obtient la valeur $f_m = 1,7$, donc égale à la valeur de la ligne 1, que nous prenions pour ce calcul la valeur $u = 2$ ou la valeur $u = 2\sqrt{2}$, recommandée par la procédure pour une période de 4 ans. Ainsi l'emploi de la procédure proposée conduit à des résultats évidemment contradictoires.

D'après les considérations précitées il faut refuser la procédure proposée par le N. B. S. Même dans le cas où l'unité d'un seul laboratoire aurait un très grand changement, il est douteux que cette procédure donne une meilleure correction, que la simple division par $(n-1)$ de la grandeur du changement visible d_i , correspondant à cette unité.

La nécessité même de quelque procédure, outre celle acceptée par le B. I. P. M., ne paraît pas sans objection. En réalité, la moyenne internationale est une grandeur purement conventionnelle qui sert de base neutre pour l'établissement des écarts entre les unités des divers Laboratoires nationaux et qui n'a de sens que pour chaque comparaison internationale. Sa dénomination « l'unité internationale » a aussi un sens conventionnel. En effet, elle ne représente aucune unité et n'est que la meilleure approximation à l'unité adoptée par l'accord international et définie par les grandeurs absolues, que possède en ce moment le B. I. P. M. pour la définition de ses étalons, lesquels peuvent donc différer sensiblement de la grandeur véritable.

Pour être persuadé de la justesse de cette moyenne internationale, il n'y a que le procédé des mesures absolues, que l'on effectue de temps en temps dans les Laboratoires nationaux et qui rapprocheront de plus en plus cette moyenne de la grandeur véritable.

L'adjonction, proposée par le N. B. S., des étalons du B. I. P. M. au nombre des étalons des six Laboratoires nationaux qui définissent la moyenne internationale, comme étalons qui ne sont pas basés sur les mesures absolues, ne donne rien d'essentiel au maintien de la moyenne internationale et ne changera pas les rapports qui existent entre les unités des divers Laboratoires nationaux. Voilà pourquoi cette proposition du N. B. S. peut être acceptée; il y aura une liaison plus étroite des unités reproduites par les étalons du B. I. P. M. avec les unités des Laboratoires nationaux.



ANNEXE E 15.

Institut de Métrologie de l'U. R. S. S.

NOTES

DE L'INSTITUT DE MÉTROLOGIE DE L'U. R. S. S.

SUR LES

COMMENTAIRES DU BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
A LA PROCÉDURE

PROPOSÉE PAR LE NATIONAL BUREAU OF STANDARDS

POUR LA COORDINATION DES UNITÉS ÉLECTRIQUES

(Août 1951)

Dans l'article 1 le B. I. P. M. explique les avantages de l'adjonction du B. I. P. M. au nombre des six Laboratoires nationaux dont les étalons servent à établir la grandeur moyenne internationale des unités électriques. Les motifs cités sont dignes d'attention et la proposition du N. B. S. ne soulève aucune objection.

Dans l'article 2 le B. I. P. M., tout en ne se prononçant pas sur la substance de la procédure proposée par le N. B. S., critique l'emploi de cette procédure.

Les Notes de l'I. M. sur la procédure proposée par le N. B. S. montrent l'imperfection de cette procédure, qui n'atteint pas le but proposé.

Dans l'article 3 on considère la question des mesures absolues. Le B. I. P. M. s'élève contre les déterminations absolues non

coordonnées, faites par les Laboratoires nationaux non simultanément et propose que tous les Laboratoires nationaux, susceptibles d'exécuter de telles déterminations, les fassent simultanément, de façon à présenter en 1954 les premiers résultats au Comité Consultatif.

On peut s'allier pleinement à la proposition du B. I. P. M. La date prévue est admissible pour l'I. M.

Dans l'article 4 le B. I. P. M. propose d'adopter comme obligatoire pour les Laboratoires nationaux lors de leurs propres travaux, la grandeur d'une unité fixée internationalement à la suite d'une intercomparaison des étalons (c'est-à-dire la moyenne internationale des unités des Laboratoires qui ont pris part aux comparaisons).

Sur cette proposition on peut faire les deux objections suivantes :

a. En 1935, les Laboratoires nationaux consentirent à changer leurs unités électriques en les considérant comme égales aux moyennes internationales; cet accord a été approuvé par le Comité International des Poids et Mesures.

Cependant, ce ne sont que l'I. M. et le Laboratoire Central d'Électricité à Paris (qui prit l'initiative de cette proposition) qui ont changé leurs unités, tandis que les autres Laboratoires nationaux n'ont pas accompli leur obligation internationale, ce qui complique davantage le maintien de la grandeur moyenne internationale des unités. Il n'y a aucune garantie qu'après l'adoption de la proposition du B. I. P. M. par les Laboratoires nationaux ceux-ci s'y conforment.

b. La moyenne internationale est une grandeur purement conventionnelle qui sert de base neutre pour l'établissement des rapports entre les unités des divers Laboratoires nationaux. Elle ne peut être nommée « unité internationale » que conventionnellement, car en réalité l'unité internationale est celle dont la définition formelle est adoptée par un accord international. Voilà pourquoi il n'existe pas des « unités nationales », mais il y a des étalons nationaux qui reproduisent les unités, adoptées par un accord international.

Puisque la moyenne internationale n'est pas une grandeur qui s'approche le plus de la grandeur correspondant à la détermination de l'unité adoptée internationalement, chaque Laboratoire

national, qui estime que ses étalons reproduisent l'unité mieux que la moyenne internationale, a le droit de ne pas accepter pour ses travaux la moyenne internationale.

Pour éviter des malentendus, tels que celui qui est cité par le B. I. P. M., il est indispensable d'avoir un accord international spécial concernant la qualification des moyennes internationales, par exemple en indiquant l'année de leur établissement (« ohm 1954 », « volt 1954 », etc.), indépendamment du fait que cette moyenne est employée comme unité seulement au B. I. P. M. ou que les autres Laboratoires nationaux acceptent son emploi. On ne peut avoir d'objections contre ces unités spécialement qualifiées.



APPAREIL POUR LE TRANSPORT DES ÉLÉMENTS ÉTALONS

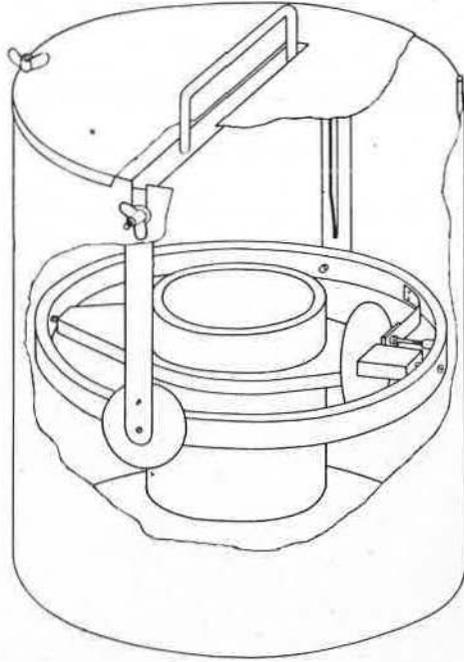
Par W. HETZEL.

Pour faire circuler des éléments étalons d'un laboratoire à l'autre, la Physikalisch-Technische Bundesanstalt (P. T. B.) à Braunschweig a construit un appareil de transport, qui est montré sur la figure ci-contre. L'appareil est caractérisé par la protection thermique des éléments étalons dans un vase de Dewar, suspendu à la cardan dans un cylindre métallique.

Dans les suspensions à la cardan non freinées, des coups rythmés, par exemple en train ou en bateau, peuvent causer des vibrations du système, dont l'amplitude augmente jusqu'à ce que le récipient bascule et commence à se retourner. Le modèle de la P. T. B. contient des freins, formés par des paires de disques métalliques dont l'un est garni de feutre et qui sont placés l'un contre l'autre sous pression réglable pour produire le frottement nécessaire.

La monture de la suspension traverse le couvercle du cylindre extérieur, qui contient toute l'installation, de telle sorte que ce cylindre lui-même n'est pas chargé. Le vase de Dewar contient les éléments étalons, emballés dans de l'ouate.

Cet appareil a été récemment employé avec succès à l'occasion d'un transport de cinq éléments étalons de Braunschweig à Vienne.

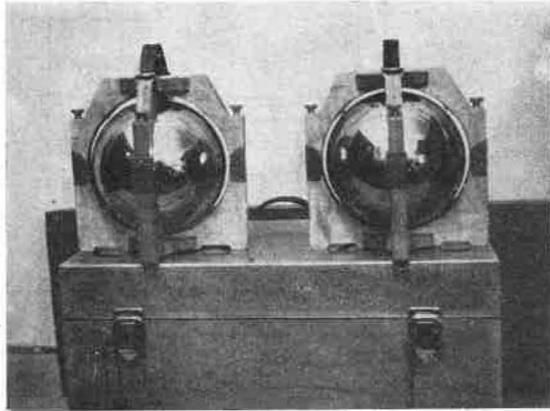


— — —

ANNEXE E 17.

Institut de Métrologie de l'U. R. S. S.

Appareil pour le transport des éléments Weston.



ANNEXE E 18.

Institut de Métrologie de l'U. R. S. S.

PROPOSITIONS CONCERNANT L'ÉTABLISSEMENT
DES
ÉTALONS DES UNITÉS MAGNÉTIQUES ABSOLUES
AU BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

Le problème de l'établissement des étalons des unités magnétiques absolues au Bureau International des Poids et Mesures a été soulevé il y a 20 ans, mais il n'a pas encore été résolu. En 1932 le Comité Consultatif d'Électricité reçut de l'Institut de Métrologie de l'U.R.S.S. des Notes dans lesquelles était exposé le programme pour l'établissement des unités magnétiques absolues et où étaient cités les premiers résultats obtenus dans ce domaine par l'Institut de Métrologie de l'U.R.S.S. (*voir les Procès-Verbaux des séances du Comité International des Poids et Mesures, 2^e série, t. XVI, annexe n^o 23, C.C.E. 1933, p. 206*). En 1939 l'Institut de Métrologie de l'U.R.S.S. a formulé des propositions pour le Comité Consultatif d'Électricité, relatives au problème de l'établissement des étalons des unités magnétiques (*voir les Procès-Verbaux des séances du Comité International des Poids et Mesures, 1939, 2^e série, t. XIX, annexe E 14, p. E 88*).

A présent il est nécessaire que le Comité Consultatif d'Électricité s'occupe de nouveau de la question de l'établissement des étalons des unités magnétiques absolues, que l'on doit résoudre d'une façon analogue à la solution du problème des étalons des unités électriques. Le plus simple serait de le réaliser par la cession au Bureau International de bobines, spécialement fabriquées par les Laboratoires nationaux et reproduisant les unités de

l'intensité de champ magnétique et de flux magnétique en mesures absolues. Ces bobines doivent être comparées avec les étalons des Laboratoires nationaux et accompagnées des certificats de ces Laboratoires.

Lesdites bobines permettront aux Laboratoires nationaux d'obtenir des données sur les intercomparaisons des étalons de l'intensité de champ magnétique et de flux magnétique au Bureau International. Pour les comparaisons au Bureau International un schéma spécial doit être établi, en vue duquel on peut recommander celui qu'on emploie à l'Institut de Métrologie de l'U.R.S.S. et au National Bureau of Standards.

Conformément aux considérations précitées, nous suggérons les propositions suivantes :

1. Le Comité Consultatif d'Électricité devrait étudier les questions relatives à l'établissement des étalons des unités absolues de l'intensité de champ magnétique et de flux magnétique.

2. Le Comité Consultatif d'Électricité devrait demander aux Laboratoires métrologiques nationaux des rapports sur l'état de la reproduction des unités de l'intensité de champ magnétique et de flux magnétique dans le système absolu des unités dans ces Laboratoires. Ces rapports devraient envisager l'établissement des étalons des unités magnétiques au Bureau International des Poids et Mesures et les dispositions à prendre pour l'organisation des comparaisons par le Bureau International.

3. Le Bureau International des Poids et Mesures aurait à réaliser en 1952-1953 l'organisation des comparaisons des étalons magnétiques des Laboratoires nationaux.

ANNEXE E 19.

Laboratoire Central des Industries Électriques, Paris.

SUR

UN MODE DE COMPARAISON

DES ÉTALONS DE RÉSISTANCE

ÉLIMINANT LES ERREURS DUES A LA RÉSISTANCE

DES PRISES DE POTENTIEL.

Par P. DE LA GORCE, R. HÉROU et A. RICHARD.

L'identité aussi précise que possible des éléments à comparer est évidemment une circonstance favorable à leur comparaison; l'idéal serait qu'ils soient de grandeurs très voisines, et construits de façon semblable. Malheureusement il est parfois nécessaire d'utiliser dans les laboratoires certains étalons ne satisfaisant pas à ces conditions et comportant en particulier des prises de potentiel de deux types (ohms à courtes ou à longues dérivations).

Si le pont double est employé pour les comparaisons sous sa forme la plus simple, l'opérateur doit se préoccuper d'éliminer les causes d'erreurs dans les mesures en déterminant par le calcul la correction à apporter au résultat brut, compte tenu de la résistance des prises de potentiel et des bras principaux du pont.

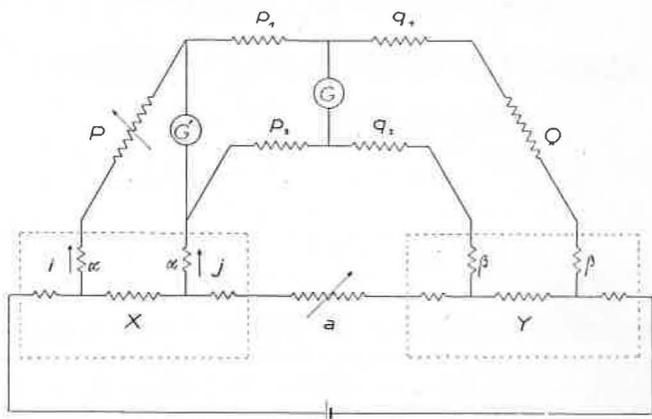
Ces erreurs peuvent se trouver accrues quand on utilise la méthode classique d'équilibrage du pont consistant à agir sur une résistance variable auxiliaire disposée en parallèle sur la plus élevée des deux résistances à comparer.

Le procédé de réglage est ainsi faussé, le courant dérivé créant une chute de tension parasite dans les prises de potentiel.

Dans certains cas très défavorables, il peut arriver que les grandeurs à comparer diffèrent de plus de 5 dix-millièmes (étalons encore ajustés sur l'ancienne unité internationale comparés à des étalons ajustés sur l'unité absolue) et que les résistances des prises de potentiel diffèrent de plus de 1 m Ω .

Les corrections à apporter aux résultats des mesures peuvent atteindre dans ces conditions plusieurs millièmes. Certains laboratoires se sont affranchis du calcul correctif en apportant au pont double les perfectionnements appropriés.

Le procédé décrit ci-après ⁽¹⁾ nous semble nouveau. Ne comportant ni shunt de réglage, ni systèmes jumelés mécaniquement,



il nécessite deux éléments variables seulement dont un seul doit être connu avec précision; le schéma en est donné ci-dessus.

Pour la clarté de l'exposé, nous supposons que les résistances des deux prises de potentiel d'un étalon sont égales entre elles. La différence de potentiel à atteindre, existant entre les origines fictives des prises de potentiel, se trouvera reproduite entre leurs extrémités si les courants qui les parcourent sont égaux entre eux.

Cette condition peut être réalisée par l'insertion d'une petite résistance réglable en série dans la connexion reliant directement entre elles les deux résistances à comparer, à condition toutefois

(1) Suggéré par A. Richard.

que les résistances des bras du pont soient convenablement choisies.

Si l'on pouvait réaliser exactement $p_1 = p_2$ et $q_1 = q_2$, le zéro simultané des deux galvanomètres ⁽²⁾ G' et G correspondrait aux deux conditions

$$i = j \quad \text{et} \quad Py = Qx.$$

A défaut, et puisque le rapport $\frac{P}{Q}$ ne peut pas être connu avec précision, il est nécessaire d'opérer par croisement ou substitution. Le calcul esquissé ci-dessous se rapporte à la méthode de croisement.

En appelant P et P' les valeurs correspondant aux deux dispositions obtenues en échangeant x et y , on trouve facilement

$$\frac{x}{y} = \frac{P + \alpha \left(1 - \frac{p_1}{p_2}\right)}{Q + q_1 - q_2 \frac{p_1}{p_2} + \beta \left(1 - \frac{p_1}{p_2}\right)}$$

et

$$\frac{y}{x} = \frac{P' + \beta \left(1 - \frac{p_1}{p_2}\right)}{Q + q_1 - q_2 \frac{p_1}{p_2} + \alpha \left(1 - \frac{p_1}{p_2}\right)},$$

soit

$$\left(\frac{y}{x}\right)^2 = \frac{Q + q_1 - q_2 \frac{p_1}{p_2} + \beta \left(1 - \frac{p_1}{p_2}\right)}{Q + q_1 - q_2 \frac{p_1}{p_2} + \alpha \left(1 - \frac{p_1}{p_2}\right)} \left[\frac{P' + \beta \left(1 - \frac{p_1}{p_2}\right)}{P + \alpha \left(1 - \frac{p_1}{p_2}\right)} \right].$$

Si l'on choisit approximativement $p_1 = p_2 = q_1 = q_2$ en s'attachant à égaliser à l'unité les rapports $\frac{q_1}{q_2}$ et $\frac{p_1}{p_2}$ à moins de 2 millièmes près et si d'autre part P et Q sont choisis suffisamment grands pour que α et β soient inférieurs au cent-millième de P, P' et Q, il apparaît que

$$\frac{y}{x} = \sqrt{\frac{P'}{P}}$$

à 2 cent-millionièmes près.

⁽²⁾ Bien entendu on n'utilise qu'un seul galvanomètre, qu'un commutateur inversera d'un pont à l'autre.

Réglage. — La théorie et l'expérience montrent que l'équilibre final est très rapidement obtenu. Par exemple, pour

$$Q = 1\ 000\ \Omega,$$
$$p_1 = p_2 = q_1 = q_2 = 5\ \Omega$$

trois opérations successives sont suffisantes :

- 1^o Réglage grossier de P, le galvanomètre étant en G.
- 2^o Réglage de α , le galvanomètre étant en G'.
- 3^o Réglage précis de P, le galvanomètre étant en G.

La résistance α est de l'ordre de 0,001 Ω et doit être réglée à 5 dix-millièmes près pour que l'erreur résultant n'excede pas le dix-millionième.

Extension du procédé. — Il pourrait arriver que les étalons comparés soient de constitution dissymétrique et que les résistances de leurs prises de potentiel soient inégales. Le procédé par croisement reste valable, à condition que l'on prenne soin de conserver aux étalons la même orientation par rapport au circuit d'alimentation.

D'autre part, le procédé peut être étendu à la comparaison de résistances inégales. Les rapports $\frac{P_1}{q_1}$ et $\frac{P_2}{q_2}$ devraient alors être approximativement égaux au rapport $\frac{x}{y}$.

ANNEXE E 20.

Central Inspection Institute of Weights and Measures,
Tokyo.

SUR LA POSITION D'ÉQUILIBRE

DANS

L'OSCILLATION AMORTIE

Par R. YONEDA.

(29 février 1952)

Préface. — Dans la mesure absolue du courant électrique, nous avons calculé beaucoup de positions d'équilibre de la balance par la formule ordinaire en nous basant sur les élongations impaires successives γ_λ à partir de γ_0 . Il nous a alors semblé que la valeur de la position d'équilibre M devenait légèrement plus grande ou plus petite que sa vraie valeur selon que $\gamma_0 > M$ ou $\gamma_0 < M$. Nous avons analysé ce phénomène un peu systématiquement et nous en avons déduit une méthode utile pour le calcul de M .

Formule d'erreur. — Si nous supposons qu'une oscillation soit uniformément amortie, et que la vraie valeur de la position d'équilibre soit x , la $\lambda^{\text{ème}}$ élongation γ_λ peut être exprimée par la formule

$$(1) \quad \gamma_\lambda = x + (-1)^\lambda A_0 e^{-p\lambda},$$

où

A_0 est l'amplitude première;
 p , l'amortissement logarithmique;
 e , la base des logarithmes népériens.

En posant $\lambda = 0, 1, 2, \dots, 2r$ dans la formule (1) successivement, on a $2r + 1$ des y_λ dans lesquels les uns ($r + 1$) sont plus grands que x , et les autres (r) sont plus petits.

Pour étudier ce phénomène plus généralement, nous désignons la valeur de la position d'équilibre par le symbole $M(y_\lambda, r, n)$ où y_λ est la première élongation, r représente le nombre total d'élongations $2r + 1$, et n est un indice variable signifiant le degré d'approximation, sur lequel nous reviendrons plus tard.

Avec cette définition, pour $n = 1$, on a

$$(2) \quad M(y_\lambda, r, 1) = \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{r+1} \sum_{s=0}^r y_{\lambda+2s} + \frac{1}{r} \sum_{s=0}^{r-1} y_{\lambda+2s+1} \right\}.$$

De la formule (1), en posant $\lambda = \lambda, \lambda + 1, \dots, \lambda + 2r$, on tire $2r + 1$ des $y_\lambda : y_\lambda, y_{\lambda+1}, \dots, y_{\lambda+2r}$, et si on les met dans la formule (2), on aura

$$(3) \quad M(y_\lambda, r, 1) = x + \frac{(-1)^\lambda A_0 e^{-\lambda p}}{2r(r+1)} \times \left[r \sum_{s=0}^r e^{-2s p} - (r+1) \sum_{s=0}^{r-1} e^{-(2s+1)p} \right].$$

Alors les termes dans les crochets sont décomposables et l'on a

$$(4) \quad r \sum_{s=0}^r e^{-2s p} - (r+1) \sum_{s=0}^{r-1} e^{-(2s+1)p} = (1 - e^{-p})^2 \varphi(r, p),$$

où

$$(5) \quad \varphi(r, p) = \sum_{s=1}^r \{ s(r-s-1) e^{-(2s-2)p} + s(r-s) e^{-(2s-1)p} \}$$

et l'on prouve facilement que la fonction $\varphi(r, p)$ n'est jamais négative.

Ensuite, en posant $\lambda = 0, 1$ dans la formule (2), on a

$$(6) \quad M(y_0, r, 1) = x + \frac{A_0}{2r(r+1)} (1 - e^{-p})^2 \varphi(r, p),$$

$$(7) \quad M(y_1, r, 1) = x - \frac{A_0 e^{-p}}{2r(r+1)} (1 - e^{-p})^2 \varphi(r, p).$$

Si nous définissons une fonction $M(\gamma_0, r, 2)$ par la formule :

$$(8) \quad M(\gamma_0, r, 2) = \frac{1}{2} [M(\gamma_0, r, 1) + M(\gamma_1, r, 1)]$$

on aura

$$(9) \quad M(\gamma_0, r, 2) = x + \frac{\Lambda_0}{2^2 r(r+1)} (1 - e^{-p})^2 \varphi(r, p)$$

et l'on voit que la formule (9) est de la même forme que celle de (6).

De plus, si nous définissons une autre fonction $M(\gamma_\lambda, r, n)$ par la formule

$$(10) \quad M(\gamma_\lambda, r, n) = \frac{1}{2} [M(\gamma_\lambda, r, n-1) + M(\gamma_{\lambda+1}, r, n-1)],$$

on aura

$$(11) \quad M(\gamma_\lambda, r, n) = x + \Delta(\gamma_\lambda, r, n),$$

où

$$(12) \quad \Delta(\gamma_\lambda, r, n) = \frac{(-1)^\lambda \Lambda_0 e^{-\lambda p}}{2^n r(r+1)} (1 - e^{-p})^{n+1} \varphi(r, p).$$

D'après la formule (11), on peut regarder $\Delta(\gamma_\lambda, r, n)$ comme étant l'erreur de x et $M(\gamma_\lambda, r, n)$, comme une approximation.

Caractères d'erreur. — D'abord, en posant $p = 0$ dans la formule (12), on a $\Delta(\gamma_\lambda, r, n) = 0$, c'est-à-dire, $M(\gamma_\lambda, r, n) = x$ quels que soient γ_λ, r et n , donc, il n'y a pas d'erreur, tant que l'oscillation donnée est non amortie. Puis on voit que la valeur de $\Delta(\gamma_\lambda, r, n)$ est proportionnelle à la première amplitude $\Lambda_0 e^{-\lambda p}$ qui est comprise dans $M(\gamma_\lambda, r, n)$.

Il est facile de prouver que $|1 - e^{-p}| > 1$ et $\varphi(r, p) < 0$, parce que p et n ne deviennent pas négatifs. On en déduit que, selon que λ est pair ou impair, le signe de $\Delta(\gamma_\lambda, r, n)$ est plus ou moins, quels que soient r et p ; en conséquence, la valeur de $M(\gamma_\lambda, r, n)$ devient une approximation par excès ou par défaut de x . La relation entre la valeur absolue de l'erreur $|\Delta(\gamma_\lambda, r, n)|$ et le nombre total d'élongations $2r + 1$ peut être exprimée par la fonction $\frac{\varphi(r, p)}{r(r+1)}$. Malheureusement cette fonction est si compliquée qu'on ne peut pas l'analyser davantage, mais il nous paraît que son caractère qualitatif soit à peu près le suivant. En gardant $n = \text{const.}$ et $p = \text{const.}$ dans

cette fonction, et en faisant varier r de zéro à l'infini, elle est d'abord croissante, devient décroissante et enfin converge vers zéro. On en déduit qu'il existe au moins une valeur r_m de r , pour laquelle cette fonction est maximum. Les valeurs de r_m pour certaines valeurs de p sont données dans le tableau I.

TABLEAU I.

p .	r_m .	p .	r_m .	p .	r_m .
0,025.....	53	0,35.....	3	0,70.....	1
0,05.....	27	0,40.....	3	0,75.....	1
0,10.....	13	0,45.....	3	0,80.....	1
0,15.....	8	0,50.....	2	0,85.....	1
0,20.....	6	0,55.....	2	0,90.....	1
0,25.....	5	0,60.....	2	0,95.....	1
0,30.....	4	0,65.....	2	1,00.....	1

Comme la valeur de p est plus petite que 1,5 dans l'oscillation ordinaire, il est évident que la valeur de $\Delta(\gamma_\lambda, r, n)$ au moins augmentera en même temps que celle de r , pendant que la valeur de r reste petite. Donc, si l'on ne tenait pas compte d'erreurs provenant d'observations, il serait inutile de faire grandir r au delà de l'unité.

La relation entre la valeur absolue de l'erreur $|\Delta(\gamma_\lambda, r, n)|$ et l'indice n est donnée par la formule

$$(13) \quad \Delta(\gamma_\lambda, r, n) = \left(\frac{1 - e^{-p}}{2} \right)^{n-1} \Delta(\gamma_\lambda, r, 1).$$

En tenant compte de $|1 - e^{-p}| \gg 1$, et de $|\Delta(\gamma_\lambda, r, 1)| < \infty$ on en déduit

$$(14) \quad \lim_{n \gg 2} \Delta(\gamma_\lambda, r, n) = 0,$$

c'est-à-dire

$$(15) \quad \lim_{n \gg \infty} M(\gamma_\lambda, r, n) = x.$$

D'après la formule (15), on voit que pour une assez grande valeur de n , la valeur de $M(\gamma_\lambda, r, n)$ peut s'approcher de la vraie valeur x . C'est pourquoi nous avons appelé n l'indice exprimant le degré d'approximation de x . Par la formule (13) on pourra obtenir la valeur de $\Delta(\gamma_\lambda, r, n)$, pour n'importe quelle valeur

de n , si l'on a calculé les valeurs de $\Delta(\gamma_\lambda, r, 1)$ et de $\frac{1}{2}(1 - e^{-p})$.

Ces expressions sont calculées, pour certaines valeurs de r et de p , et données dans le tableau II, en faisant l'hypothèse $A_0 = 1$.

TABLEAU II.

Valeurs des $(\gamma_\lambda, r, 1)$, $\frac{1}{2}(1 - e^{-p})$ et e^{-p} .

p	r	$(\gamma_\lambda, r, 1) \cdot 10^{+3}$					$\frac{1}{2}(1 - e^{-p}) \cdot 10^{+2}$	e^{-p}
		1.	2.	3.	4.	5.		
0,05	0,59	0,94	1,26	1,54	1,80	2,35	0,953
0,10	2,27	3,53	4,37	5,12	5,72	4,76	0,905
0,15	4,85	7,02	8,57	9,66	10,39	6,97	0,861
0,20	8,21	11,39	13,37	14,52	15,11	9,06	0,819
0,25	12,23	16,28	18,41	19,36	19,56	11,01	0,779
0,30	16,77	21,45	23,46	23,94	23,60	12,46	0,741
0,35	21,80	26,87	28,47	28,31	27,30	14,77	0,705
0,40	27,16	33,23	33,27	32,31	30,59	16,47	0,670
0,45	32,93	37,00	37,84	36,00	33,53	18,12	0,638
0,50	38,70	43,11	42,17	39,39	36,20	19,17	0,606

Calcul de $M(\gamma_\lambda, r, n)$. — D'abord, en considération des conditions de l'oscillation amortie et de la précision demandée, on choisit une valeur de r convenable (il suffit que r soit égal à 1 ou 2). Des élongations observées $\gamma_0, \gamma_1, \dots, \gamma_{2r}, \dots, \gamma_{2r+\lambda}$, on calcule les valeurs des $M(\gamma_\lambda, r, 1)$ ($\lambda = 0, 1, \dots, 2r$). S'il n'y a pas d'erreurs systématiques entre elles, l'une d'elles, par exemple $M(\gamma_0, r, 1)$, est la position d'équilibre. Dans les autres cas on continue à calculer les valeurs des $M(\gamma_\lambda, r, n)$ ($\lambda = 0, 1, 2, \dots, 2r$) par la formule (10) jusqu'à ce que, entre elles, il n'y ait pas d'erreurs systématiques.

Exemple (1). — Trouvons la position d'équilibre dans une oscillation amortie dont les élongations sont

$$\begin{aligned} \gamma_0 &= 285,5, & \gamma_1 &= 709,5, & \gamma_2 &= 341,4, & \gamma_3 &= 662,3, \\ \gamma_4 &= 384,0, & \gamma_5 &= 625,6, & \gamma_6 &= 415,0. \end{aligned}$$

(1) Voir F. KOHLRAUSCH, *Lehrbuch der Praktischen Physik*, Aufl. 14, p. 109.

Solution. — D'abord on calcule $M(\gamma_\lambda, 1, 1)$, $M(\gamma_\lambda, 1, 2)$ et $M(\gamma_\lambda, 1, 3)$ et on les arrange comme suit :

Valeurs des $M(\gamma_\lambda, 1, n)$.

λ	n	1.	2.	3.
0	511,5 ⁽²⁾		
1	513,6	512,6	
2	512,5	513,1	512,9
3	514,0	513,3	513,2
4	512,7	513,3	513,3

Dans ce tableau, on voit que pour $n = 1$, il y a des erreurs systématiques encore, mais pour $n = 2$ il n'y en a déjà plus. Ainsi la valeur de la position d'équilibre est 513,1, et naturellement cette valeur s'accorde avec celle qui a été donnée par F. Kohlrausch. A la fin si une oscillation donnée n'est pas fortement décroissante et si on peut prendre une huitaine d'élongations, la position d'équilibre peut être facilement obtenue par cette méthode.

(²) Cette valeur est obtenue ainsi qu'il suit :

$$M(\gamma_0, 1, 1) = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{2} (285,5 + 341,4) + 709,5 \right] = 511,5.$$

ANNEXE E 21.

Deutsches Amt für Mass und Gewicht, Berlin.

SUR

QUELQUES QUESTIONS QUI VONT ÊTRE TRAITÉES

AU COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ

Par A. SCHULZE

(Le D^r A. Schulze a résumé, dans les remarques suivantes, ce qu'il n'a pu exposer au Comité par suite de circonstances qui l'ont empêché d'assister à la session actuelle).

1^o *Résistances d'or-chrome.* — Ci-joint se trouve un résumé de nos expériences sur les résistances d'or-chrome pendant 15 années d'usage au D. A. M. G. Je dois à ce sujet souligner que les résistances d'or-chrome sont supérieures aux résistances de manganine; à la condition bien entendu qu'elles soient contenues dans une atmosphère de gaz noble. Les anciennes résistances d'or-chrome atteignaient une valeur constante après une durée assez brève, tandis que, au contraire, les résistances de nouvelle construction (avec des prises de potentiel séparées) sont un peu plus longues à se stabiliser, ainsi que nous l'avons observé. Ceci dépend vraisemblablement du nouveau mode de construction des connexions. En tous cas nos nouveaux étalons d'or-chrome ont maintenant atteint un état stable et sont constants. A titre d'exemple, j'ai donné dans le résumé ci-joint un seul exemple pour chaque mode de construction. Je mets à votre disposition le travail ci-joint *Sur les résistances d'or-chrome*, préparé en vue de l'impression aux *Procès-Verbaux* (voir p. E 41).

Comme nous l'avons déjà indiqué, à la suite de votre lettre de l'automne 1951, nous avons entrepris de nouvelles recherches par-

ticulières sur les résistances d'or-chrome avec diverses intensités de courant, afin d'étudier les phénomènes en relation avec l'effet thermique qui en résulte. Ceci a nécessité un assez gros travail et les expériences ne sont pas terminées. Dès qu'elles le seront, je vous en ferai parvenir les résultats.

2^o *Variation de l'unité de résistance du D. A. M. G.* — Si, d'une part, d'après les comparaisons internationales effectuées à Paris en 1950, les résistances de manganine du D. A. M. G. ont varié d'environ 9.10^{-6} depuis 1939, les résistances anciennes d'or-chrome sont restées constantes. On peut aussi affirmer que nos résistances de manganine ont gardé leurs valeurs anciennes jusqu'en 1948 et qu'elles n'ont commencé à changer qu'à partir de 1948. C'est en 1949 qu'a eu lieu le déménagement du Laboratoire de Weida à Berlin et, à cette occasion, se sont produits des changements dans les bâtiments des Laboratoires, qui ont été nuisibles et très désagréables, de telle sorte que, en conséquence, les étalons de résistance ont souffert malgré les grandes précautions prises. La question du National Bureau of Standards, relative à la cause de la variation de l'unité de résistance du D. A. M. G., trouve sa réponse dans ce que nous venons de dire. *Elle n'est pas en relation* avec le passage de l'unité internationale à l'unité absolue, car, lors de ce passage, on se contente d'ajouter la différence.

Étant donné qu'une grande partie de nos étalons ont été perdus par les faits de guerre, et que seule une partie des anciens étalons a été conservée, j'ai dû reconstruire entièrement l'unité de résistance du D. A. M. G. au cours de l'année dernière; pour la constitution de cette unité ont été introduits, à titre d'étalons principaux, trois étalons anciens en manganine et cinq résistances en or-chrome.

En conséquence, le D. A. M. G. tient particulièrement à être rattaché aux comparaisons internationales, si, comme je l'espère, cela est encore possible.

3^o *Résistances quartz-mercure.* — J'ai joint également mes recherches sur les résistances quartz-mercure. Je n'ai malheureusement pour l'instant qu'un seul tirage à part, de telle sorte que je mets également ce travail à votre disposition, pour le cas où vous désireriez le publier dans les *Procès-Verbaux*. (Ce travail est publié dans *Elektrotechnik*, 1952, p. 72.)

4^o *Mesures absolues de l'intensité de courant.* — En ce qui concerne les mesures absolues des unités électriques, ou a commencé au D. A. M. G. à redéterminer l'unité de résistance absolue, selon l'ancienne méthode qui a été mise au point par Grüneisen et Giebe à la Reichsanstalt (avec des moyens perfectionnés) .

En ce qui concerne la détermination de l'ampère absolu, tous les appareils en relation avec la balance de courant ont été perdus. A la suite de la session de juin 1939 du Comité, nous avons préparé un échange des nouvelles bobines de la Reichsanstalt avec celles du National Bureau of Standards, qui aurait donné certainement beaucoup de clarté sur les différences dans les résultats des mesures entre les Laboratoires nationaux, et aurait ainsi amené les travaux à une conclusion satisfaisante. Au D. A. M. G., pour la détermination de l'unité absolue d'intensité de courant, on utilise la méthode proposée par von Steinwehr. Entre temps, sont en cours également des recherches préliminaires sur la calorimétrie différentielle; elles progressent favorablement.



ANNEXE E 22.

Electrotechnical Laboratory, Tokyo.

PROJETS A PRÉSENTER

AU COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ EN 1952.

1. FIXATION DE LA VALEUR MOYENNE DES COMPARAISONS INTERNATIONALES. — A ce sujet, nous acceptons en principe la méthode de la moyenne pondérée proposée par le National Bureau of Standards (N. B. S.). Cependant la méthode elle-même soulève divers problèmes : par exemple la base de la valeur u dans cette formule ne paraît pas claire, et surtout, si cette valeur résulte de l'incertitude causée par le transport, il n'est pas convenable de la proportionner à la racine carrée de la période. Quoi qu'il en soit, les données ne sont pas encore suffisantes pour fixer cette méthode, mais nous acceptons la proposition du N. B. S. comme méthode provisoire jusqu'à ce qu'on en trouve une meilleure dans l'avenir.

Nous espérons que le Bureau International donnera non seulement les résultats définitifs mais aussi, même à titre non officiel, les rapports détaillés concernant les valeurs observées elles-mêmes pour pouvoir servir à trouver une méthode meilleure.

2. ÉTALONS POUR MAINTENIR L'UNITÉ. — *Étalons de résistance.* — Il est très nécessaire de construire dans les laboratoires des différents pays des résistances en alliage chrome-or dont on pourra espérer une très grande stabilité, et d'en faire des études en les comparant avec les résistances de manganine. Cependant les premières n'ayant pas encore beaucoup de données, nous ne pouvons pas accepter qu'on leur donne plus d'importance qu'à celles de manganine, qui ont une plus longue expérience.

Afin qu'il soit possible de faire les comparaisons internationales avec la plus haute précision, nous proposons que les étalons de

résistance présentés au Bureau International observent au moins les conditions indiquées dans les spécifications suivantes : le récipient sera de type hermétique; les bornes de courant seront placées des deux côtés de façon qu'elles puissent baigner dans les coupes de mercure; les bornes de potentiel seront disposées séparément des bornes de courant de façon que les valeurs mesurées ne subissent pas d'influence quand on serre le câble sur les bornes de potentiel.

La construction des étalons de résistance que le Laboratoire Électrotechnique a présentés pour les comparaisons internationales est montrée dans l'Annexe E 5 (voir p. E 55).

b. Éléments étalons Weston. — Notre Laboratoire proposa déjà à la deuxième session du C. C. E. en 1931 la spécification des éléments étalons Weston (*Procès-Verbaux du C.I.P.M.*, t. XIV, p. 163). Le procédé actuel de construction ne présente pas une grande différence avec le procédé de 1931, comme on le constatera dans l'Annexe E 6 (voir p. E 57).

3. MESURE ABSOLUE. — Pour vérifier les changements des valeurs des unités électriques, on doit enfin recourir au procédé des mesures absolues. Seulement, comme on ne peut pas dire que dans l'état actuel la précision de la mesure absolue soit suffisante, on doit la continuer dans les laboratoires de différents pays et tâcher d'en augmenter la précision.

Nous espérons échanger entre nous à la session prochaine du C. C. E. prévue pour 1954, les rapports concernant l'état actuel des études, et selon les circonstances de ce temps-là nous déciderons le terme de la présentation des résultats définitifs.