

COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ,
SESSION DE 1937.

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES,

RAPPORT ET ANNEXES.

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

PHYSICS DEPARTMENT

CHICAGO, ILL.

RECEIVED AT THE UNIVERSITY OF CHICAGO

PHYSICS DEPARTMENT

PRÉSIDENT

du Comité international des Poids et Mesures :

M. LE SÉNATEUR V. VOLTERRA.

PRÉSIDENT ET MEMBRES

DU

COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ

POUR LA SESSION DE 1937

Président :

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

Membres :

Pour la Physikalisch-Technische Reichsanstalt, *Berlin* :

M. le Prof. H. VON STEINWEHR, Membre de la Reichsanstalt.

Pour le National Bureau of Standards, *Washington* :

M. E. C. CRITTENDEN, Directeur-Adjoint du National Bureau of Standards.

Pour le National Physical Laboratory, *Teddington* :

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

Pour le Laboratoire Central d'Électricité, *Paris* : M. R. JOUAUST, Directeur du Laboratoire Central.

Pour le Laboratoire Électrotechnique, *Tokio* : M. R. YONEDA, Membre du Laboratoire Électrotechnique.

Pour l'Institut de Métrologie, *Leningrad* : M. L. ZALUTZKY, Directeur-Adjoint de l'Institut de Métrologie (Absent).

M. le Prof. L. LOMBARDI, Directeur du Laboratoire Électrotechnique de l'Université, *Rome*.

M. A. PÉRARD, Directeur du Bureau international des Poids et Mesures, *Sèvres*.

Invités :

M. Ch.-Éd. GUILLAUME, Directeur honoraire du Bureau international des Poids et Mesures, 14, avenue de Bellevue, *Sèvres*.

M. P. VIGOREUX, Membre du National Physical Laboratory, *Teddington*.

M. Ch. VOLET, Adjoint du Bureau international des Poids et Mesures, *Sèvres*.

M. M. ROMANOWSKI, Assistant du Bureau international des Poids et Mesures, *Sèvres*.



COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ.

SESSION DE 1937

PROCÈS-VERBAL

DE LA PREMIÈRE SÉANCE,

TENUE AU PAVILLON DE BRETEUIL,

le jeudi 10 juin 1937,

PRÉSIDENCE DE M. J. E. SEARS.

Sont présents : MM. CRITTENDEN, JOUAUST, LOMBARDI, PÉRARD, VON STEINWEHR, YONEDA, membres du Comité consultatif.

Assistent à la séance : MM. GUILLAUME, VIGOUREUX, VOLET et ROMANOWSKI, invités.

La séance est ouverte à 15^h 25.

M. le PRÉSIDENT expose à la suite de quelles circonstances il remplit ces fonctions. D'après le Règlement, le président du Comité consultatif est choisi parmi les membres du Comité international des Poids et Mesures et désigné par ce dernier. M. Paul Janet, qui occupait précédemment ce poste, est décédé au début de l'année. M. Volterra a offert la présidence à M. Kennelly qui a accepté; mais des raisons de santé l'ont empêché de venir. M. Volterra a alors demandé à M. Sears de le remplacer.

Ce dernier ne se reconnaît pas une compétence technique spéciale en matière d'électricité; mais il fera de son mieux pour diriger les débats.

M. PÉRARD souligne la modestie de M. Sears; les Procès-Verbaux des séances du Comité international portent la trace de ses nombreuses interventions dans les questions d'unités électriques et M. Sears est au contraire parfaitement qualifié pour présider le Comité consultatif.

M. le PRÉSIDENT signale, depuis la dernière session, le décès de M. Jaeger, membre d'honneur du Comité, qui n'a pas participé à ses délibérations, mais qui s'y intéressait vivement; il parle surtout du décès de M. Paul Janet, qui a dirigé, dès la création du Comité, toutes les délibérations avec sa haute autorité et sa parfaite courtoisie. Sa disparition laisse d'unanimes regrets. Il invite les membres du Comité à se lever en signe de deuil.

M. JOUAUST, en qualité de collaborateur intime de M. Janet, remercie M. le Président de ce témoignage de sympathie.

M. le Président exprime le plaisir des membres du Comité de voir parmi eux M. Guillaume, toujours en bonne santé et intéressé à la marche de leurs travaux.

Élection d'un secrétaire et d'un rapporteur.

M. le PRÉSIDENT propose comme secrétaire M. VOLET, et comme rapporteur M. CRITTENDEN.

Ces propositions sont adoptées à l'unanimité.

Rapport du Sous-Comité technique.

M. le PRÉSIDENT donne la parole à M. Vigoureux,

rapporteur du Sous-Comité technique, qui lit le rapport suivant :

RAPPORT

DU SOUS-COMITÉ TECHNIQUE D'ÉLECTRICITÉ AU COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ

Par M. P. VIGOUREUX, Rapporteur.

Sur convocation du Président du Comité international, le Sous-Comité technique d'Électricité s'est réuni du 1^{er} juin au 8 juin 1937, sous la Présidence de M. JOUAUST.

Les délégués des Laboratoires nationaux étaient :

Pour la Physikalisch-Technische Reichsanstalt, Berlin : M. le Professeur H. von STEINWEHR, Membre de la Reichsanstalt;

Pour le National Bureau of Standards, Washington : M. E. C. CRITTENDEN, Assistant Director du National Bureau of Standards;

Pour le National Physical Laboratory, Teddington : M. P. VIGOUREUX, Membre du National Physical Laboratory.

Pour le Laboratoire Central d'Électricité, Paris : M. R. JOUAUST, Directeur p. i. du Laboratoire Central.

Pour le Laboratoire Électrotechnique, Tokyo : M. R. YONEDA, Ingénieur du Laboratoire Électrotechnique.

Assistaient, en outre, aux réunions : Pour le Bureau international, Sèvres :

M. A. PÉRARD, Directeur du Bureau;

MM. M. ROMANOWSKI et M. ROUX, Assistants au Bureau international.

Avant l'ouverture de la session, dont la première séance fut tenue à Sèvres, au Bureau international, M. Pérard, Directeur du Bureau, souhaita la bienvenue aux délégués, et leur rappela que, conformément à une décision prise par le Comité international lors de sa réunion de 1933, le Sous-Comité technique devait être présidé par le Président du Comité consultatif.

d'Électricité ou par un membre désigné par lui. M. Pérard expliqua que M. Kennelly avait été désigné par M. Volterra pour présider le Comité consultatif d'Électricité, à la suite du regretté Paul Janet. Mais M. Kennelly s'étant trouvé empêché de venir à Paris pour raison de santé, M. Sears a accepté, sur la demande de M. Volterra, d'assumer cette présidence. Or, comme M. Sears avait annoncé ne devoir pas arriver avant l'ouverture du Comité consultatif, M. Pérard lui avait écrit pour lui demander s'il avait des objections à ce que M. Jouaust fût désigné pour le remplacer à la présidence de l'actuel Sous-Comité. Aucune objection n'ayant été soulevée, M. JOUAUST a été prié de prendre la présidence. Par la suite, M. Sears a confirmé la désignation de M. Jouaust pour remplir les fonctions de président du Sous-Comité.

M. ROMANOWSKI fut nommé secrétaire, et M. VIGOREUX rapporteur.

En ouvrant la séance, M. Jouaust signala qu'une des fonctions les plus importantes du Sous-Comité technique était la fixation des rapports entre les unités internationales et les unités absolues. Pour l'instant, le Sous-Comité ne pourrait donner que des valeurs provisoires, puisque certains Laboratoires n'avaient pas fourni de valeurs au Sous-Comité. La fixation des rapports, même provisoires, exigeait la détermination de la moyenne des unités nationales conservées par les divers Laboratoires nationaux, ainsi que l'examen des résultats des mesures des unités absolues faites par les divers Laboratoires.

M. JOUAUST rappela que la détermination de la moyenne des unités nationales avait été faite tout récemment et avec beaucoup de soin par les physiciens du Bureau international. Les rapports de leurs travaux avaient été distribués aux membres du Sous-Comité, et les notes détaillées des mesures étaient à la disposition des membres. M. Jouaust ajouta qu'il tenait du Directeur du Bureau que les membres qui désireraient effectuer eux-mêmes des comparaisons de résistance et d'éléments étalons dans les laboratoires du Bureau seraient les bienvenus et recevraient toute l'assistance nécessaire.

M. JOUAUST signala ensuite que l'examen des résultats des mesures absolues était susceptible d'entraîner celui des méthodes par lesquelles ces résultats avaient été obtenus. La discussion

des méthodes de mesure était donc aussi au programme du Sous-Comité technique.

Le Sous-Comité a procédé à ses travaux de la façon suggérée par M. Jouaust, et s'est trouvé unanimement d'accord sur les valeurs provisoires à assigner aux rapports des unités internationales moyennes aux unités absolues.

Ces rapports sont :

a. Pour la résistance électrique,

1 ohm international moyen = 1,00048 ohm absolu.

Cette valeur paraît exacte à 2 ou 3 unités près du dernier chiffre inscrit.

b. Pour la force électromotrice,

1 volt international moyen = 1,00036 volt absolu.

Cette valeur paraît exacte à quelques unités près du dernier chiffre inscrit.

Les valeurs des rapports des autres unités internationales aux unités absolues correspondantes peuvent se déduire des deux valeurs ci-dessus.

Nous passerons maintenant en revue les travaux du Sous-Comité technique.

I. — UNITÉS INTERNATIONALES.

a. Unités de résistance électrique. — Les résultats des comparaisons effectuées au Bureau international en novembre et décembre 1936, et dans les laboratoires nationaux avant et après cette date, peuvent être exprimés par le tableau ci-dessous :

TABLEAU I. — Valeurs des unités nationales de résistance électrique en décembre 1936.

Allemagne	$\Omega_A = \Omega_M + 6,6$ microhms
États-Unis	$\Omega_E = - 3,7$
France	$\Omega_F = + 0,9$
Grande-Bretagne	$\Omega_G = - 3,9$
Japon	$\Omega_J = - 10,0$
U. R. S. S.	$\Omega_U = - 0,4$

Il est à remarquer que la somme des écarts n'est pas nulle; cela tient à ce que les résultats ne sont pas exprimés en fonction de la moyenne actuelle, mais de la moyenne obtenue lors des comparaisons de 1935. En effet, après la réunion du Comité consultatif de septembre 1935, un des Laboratoires nationaux, l'I. M., a changé son unité pour la moyenne, conformément au vœu émis par le Comité consultatif. Les autres Laboratoires nationaux, exception faite du L. C. E., qui avait déjà adopté la moyenne, ne se sont pas conformés au vœu du Comité consultatif. Si l'on avait voulu maintenant rapporter les résultats à la moyenne actuelle des 6 Laboratoires, il en serait résulté pour tous les Laboratoires une discontinuité, et en particulier pour la France et l'U. R. S. S. un changement fictif qui aurait rejeté leurs unités hors de cette nouvelle moyenne.

b. Unités de force électromotrice. — Les résultats des comparaisons effectuées au Bureau international en janvier 1937, et dans les Laboratoires nationaux avant et après cette date peuvent être exprimés par le tableau ci-dessous :

TABLEAU II. — Valeurs des unités nationales de force électromotrice en janvier 1937.

Allemagne.....	$V_A = V_M - 7,3$ microvolts
États-Unis.....	$V_E = - 9,5$
France.....	$V_F = + 0,7$
Grande-Bretagne.....	$V_G = + 7,6$
Japon.....	$V_J = + 0,7$
U. R. S. S.....	$V_U = - 5,5$

Ces résultats sont exprimés en fonction de la moyenne obtenue lors des comparaisons de décembre 1934; pour la même raison qui vient d'être donnée au sujet des unités de résistance, la somme des écarts n'est pas nulle.

II. — UNITÉS ABSOLUES.

a. Unités de résistance électrique. — Trois Laboratoires ont communiqué au Sous-Comité technique les résultats de mesures récentes. Ce sont le Laboratoire Électrotechnique (Japon), le National Bureau of Standards (États-Unis); et le National Physical Laboratory (Grande-Bretagne). La Physikalisches

Technische Reichsanstalt (Allemagne), bien que n'ayant pas encore obtenu les résultats de mesures actuellement en cours, a communiqué une valeur obtenue en 1914. Les résultats ⁽¹⁾, exprimés en fonction de la moyenne Ω_M des unités nationales de résistance électrique, sont les suivants :

E. T. L.	$\Omega_M = 1,00046_5$	ohm absolu
N. B. S.	$= 1,00045_4$	
N. P. L.	$= 1,00050_4$	
P. T. R.	$= 1,00048_3$	

b. Unités de courant électrique. — Trois Laboratoires ont communiqué au Sous-Comité technique les résultats de mesures récentes. Ces résultats, exprimés en fonction de la moyenne A_M des unités nationales de courant électrique, sont les suivants :

E. T. L.	$A_M = 0,99993_8$	ampère absolu
N. B. S.	$= 0,99989_5$	
N. P. L.	$= 0,99984_8$	

c. Unités de force électromotrice. — Les rapports de la moyenne V_M des unités nationales de force électromotrice aux unités absolues déterminées dans les divers Laboratoires, se déduisent des résultats donnés ci-dessus, et sont les suivants :

E. T. L.	$V_M = 1,00040_3$	volt absolu
N. B. S.	$= 1,00034_9$	
N. P. L.	$= 1,00035_2$	

III. — RAPPORTS PROVISOIRES DES UNITÉS INTERNATIONALES AUX UNITÉS ABSOLUES.

Le Sous-Comité technique est d'avis qu'il suffit de donner les valeurs du rapport pour deux seulement des unités électriques

(¹) D'une manière générale, les Laboratoires nationaux n'estiment pas l'exactitude de leurs mesures supérieure à 2 ou 3 unités de la cinquième décimale. La sixième décimale donnée ci-dessus est un résultat de calcul dû à la conversion en fonction de l'unité internationale moyenne.

et, conformément à la proposition du National Bureau of Standards, il propose de donner les valeurs du rapport pour l'ohm et le volt, parce que, en pratique, ce sont ces deux unités qui sont conservées dans les Laboratoires nationaux au moyen de bobines de résistance et d'éléments étalons.

a. Unités de résistance. — Après examen des résultats fournis par les Laboratoires E. T. L., N. B. S., N. P. L. et P. T. R., la valeur 1,00048 est adoptée comme la mieux appropriée pour le rapport de l'ohm international moyen Ω_M , dont il est fait mention plus haut, à l'ohm absolu. Cette valeur paraît exacte à 2 ou 3 unités près du dernier chiffre inscrit.

b. Unités de force électromotrice. — Après examen des résultats fournis par les Laboratoires E. T. L., N. B. S. et N. P. L., la valeur 1,00036 est adoptée comme la mieux appropriée pour le rapport du volt international moyen V_M , dont il est fait mention plus haut, au volt absolu. Cette valeur paraît exacte à quelques unités près du dernier chiffre inscrit.

IV. — DISCUSSION SUR LES MÉTHODES DE MESURE.

Les détails des méthodes de comparaison des bobines de résistance et des éléments étalons ainsi que des méthodes dont se servent les divers Laboratoires pour les mesures en unités absolues, ont donné lieu à d'intéressantes discussions, auxquelles tous les membres présents du Sous-Comité ont pris part. Les membres ont tous été d'avis que de telles discussions sont d'une grande utilité pour leurs recherches, et ne peuvent que les aider dans les efforts qu'ils font pour obtenir une précision toujours plus haute.

M. le PRÉSIDENT remercie M. Vigoureux et ouvre la discussion.

M. JOUAUST, Président du Sous-Comité technique : En ce qui concerne les valeurs provisoires à attribuer aux unités internationales en fonction des unités absolues correspondantes, on a estimé qu'il ne fallait pas s'arrêter au dix-millième, mais aller jusqu'au cent-millième. On a pris les

valeurs qui ont paru les mieux appropriées d'après les résultats déjà publiés et en tenant compte, dans une certaine mesure, des travaux en cours, qui n'ont fourni jusqu'alors que des valeurs provisoires.

Pour l'ohm, il est à supposer que cette valeur sera la valeur définitive à 2 ou 3 unités près; pour le volt, on n'a pu être aussi précis. Ces résultats seront dès maintenant une utile indication pour les hommes de science et pour les constructeurs.

M. LOMBARDI a lu avec intérêt le rapport du Bureau of Standards, où l'on préconisait à peu près les chiffres adoptés. Il exprime sa confiance dans les résultats admis par le Sous-Comité, et souhaite que les mesures ultérieures viennent confirmer les valeurs déjà adoptées.

Le Rapport du Sous-Comité technique, mis aux voix, est adopté à l'unanimité.

M. le PRÉSIDENT remercie et félicite le Sous-Comité pour le travail accompli.

Fixation, par le Comité consultatif, d'une valeur en unités absolues pour les étalons envoyés par les divers laboratoires.

M. PÉRARD rappelle le désir exprimé par chaque Laboratoire national de rapporter chez lui cette valeur avec ses étalons. Il n'y a pas lieu d'insister, puisque cette question a été traitée dans le rapport précédent. Les valeurs en question seront reproduites dans les annexes des Rapports du Bureau international (Annexe E 16, p. 208).

*Examen des études faites en vue du perfectionnement
des étalons représentatifs des unités.*

M. H. VON STEINWEHR présente sur ce sujet deux Notes. L'une est relative à l'emploi des alliages chrome-or pour les résistances étalons. On a recherché à la Physikalisch-Technische Reichsanstalt quelle est la meilleure composition à réaliser pour que les valeurs de la résistance présentent la plus grande stabilité, et l'on a trouvé 2,05 pour 100 de chrome. Cette proportion est légèrement différente de celle qui a été trouvée au National Bureau of Standards. Un tableau indique la valeur des résistances pour des bobines d'un ohm après recuit à 200°.

La seconde Note concerne les alliages de manganine et la recherche de la température de recuit la plus favorable pour obtenir à la fois la disparition de l'érouissage dû aux traitements mécaniques et l'homogénéisation de la structure.

M. PÉRARD lit un résumé de ces Notes qui sera publié en annexe (Annexe E 3, p. 139). Après un échange de vues auquel prennent part tous les membres du Comité, M. PÉRARD souligne tout l'intérêt de cette question et exprime les remerciements des usagers aux divers laboratoires qui ont poursuivi ces délicates recherches.

M. YONEDA présente également deux mémoires, l'un sur les étalons de résistance électriques en alliage de chrome et d'or (Annexe E 13, p. 191), sur lesquels on a obtenu des résultats à peu près identiques à ceux du Bureau of Standards. La teneur en chrome la meilleure

a été trouvée égale à 2,1 pour 100; l'étuvage a lieu à 150°, suivant la technique du National Bureau of Standards. La résistivité est alors de 39,4 microhms centimètres.

L'autre est relatif aux éléments-étalons comportant de l'eau lourde dans leur électrolyte. La conclusion de cette recherche est que l'eau lourde fait baisser la tension des éléments. Néanmoins l'action est assez faible pour qu'il n'y ait pas lieu d'en tenir compte dans la pratique. Le coefficient de température n'est pas affecté par la présence de 1 ou 2 pour 100 d'eau lourde.

M. LOMBARDI demande si l'eau lourde est stable et conserve ses propriétés dans les éléments.

M. YONEDA répond affirmativement; et sur une question de M. von Steinwehr, il indique que dans ses expériences l'eau lourde n'a été additionnée qu'à l'électrolyte et n'entre pas dans l'eau de cristallisation du sulfate de cadmium.

M. VON STEINWEHR souligne que, de ce fait, l'équilibre dans un élément n'est pas stable; M. Yoneda est d'accord avec M. von Steinwehr et se propose de poursuivre ses recherches dans cette voie.

Propositions du Laboratoire Électrotechnique de Tokio.

M. YONEDA présente, au nom de son Gouvernement, les propositions suivantes :

« 1° A la réunion de la Huitième Conférence Générale des Poids et Mesures de 1933, le délégué japonais s'est exprimé ainsi :

« Dans le cas où le système d'unités absolues serait mis

en application, pour répondre aux vœux des pays où la Convention internationale sur les unités internationales actuelles, adoptées à la Conférence de Londres en 1908 a été établie sous forme d'une loi, le Laboratoire Électrotechnique estimerait nécessaire que la Conférence Générale des Poids et Mesures ou le Comité international des Poids et Mesures rédige un texte précis, susceptible de servir de base à la modification de cette loi.

« Le Président nous a alors assuré que l'on tiendrait compte dans l'avenir de la suggestion présentée.

« Le Laboratoire Électrotechnique demande que la nouvelle Convention internationale nécessaire pour modifier cette loi soit conclue à la prochaine réunion de la Conférence Générale des Poids et Mesures de 1939 ».

M. PÉRARD répond que cette suggestion n'est pas perdue de vue. Mais, actuellement, comme le Comité n'a fixé que des valeurs provisoires, il ne peut encore prendre des décisions ni rédiger des textes.

« 2° Le Laboratoire Électrotechnique demande que la prochaine Conférence Générale des Poids et Mesures se réunisse au plus tard dans le début de l'année 1939; car un délai assez long est nécessaire pour préparer la modification de la loi en vue d'adopter définitivement les nouvelles unités électriques à partir du 1^{er} janvier 1940. S'il ne pouvait pas en être ainsi, il serait bien difficile d'adopter administrativement les nouvelles unités à partir de la date prévue dans tous les pays où, comme au Japon, la loi ne peut être modifiée qu'après approbation de la Diète. »

M. PÉRARD signale que cette question a déjà été examinée par le Sous-Comité technique. Les valeurs définitives des rapports des unités ne pourront être établies

qu'au cours de 1939, et la Conférence Générale ne pourra se réunir qu'en automne de la même année. Si le Japon ne peut adopter une loi nouvelle au 1^{er} janvier 1940, il en sera probablement de même dans beaucoup d'autres pays, et les unités n'entreront légalement en vigueur que plus tard. Mais, dès 1939, tous les intéressés seront prévenus.

« 3° Le Laboratoire Électrotechnique demande qu'avant la session du Comité international des Poids et Mesures de 1939, le Comité consultatif d'Électricité et le Sous-Comité technique se réunissent et que les valeurs définitives des rapports entre les unités électriques nouvelles et anciennes soient déterminées. »

M. PÉRARD répond que cette procédure a toujours été dans les intentions du Comité.

« 4° Le Laboratoire Électrotechnique désire que les Gouvernements n'adoptent comme valeurs des nouvelles unités électriques que celles qui sont les moyennes des unités absolues des divers laboratoires nationaux, ces moyennes étant rapportées à une même unité, qui serait l'unité moyenne actuelle internationale des divers laboratoires, telle qu'elle a été déterminée au Bureau international des Poids et Mesures, comme il est montré dans la Résolution IV du Comité consultatif d'Électricité de 1935. Il demande également que le Comité international prenne les mesures nécessaires pour que ces valeurs des unités puissent être corrigées de légères quantités en temps opportuns. »

M. PÉRARD indique que la première partie de cette demande a déjà reçu satisfaction. Quant à la possibilité du réajustement des valeurs, elle est aussi dans l'intention

du Comité consultatif et du Comité international. Les valeurs des rapports seront fixées en 1939; mais lorsqu'on se trouvera ultérieurement devant un ensemble suffisamment important de valeurs nouvelles, le Comité international pourra prendre les décisions qu'il jugera opportunes.

M. JOUAUST croit pouvoir dissiper un malentendu en précisant que les modalités d'application des décisions de la Conférence Générale sont évidemment particulières à chaque pays et laissées à son appréciation. La Conférence ne peut que proposer un texte uniforme, mais non l'imposer dans les diverses législations.

M. le PRÉSIDENT ne croit pas qu'il soit possible d'obtenir dans tous les États un type de loi uniforme; mais les laboratoires auraient tous les renseignements nécessaires pour uniformiser les unités en attendant la sanction des législateurs.

M. YONEDA espère en tous cas que tous les laboratoires adopteront en même temps les nouvelles valeurs absolues, et il se demande si pour cela il ne serait pas préférable de remettre à une date ultérieure le changement d'unités.

M. PÉRARD ne croit pas que la simultanéité de la mise en vigueur des lois désirée par M. Yoneda puisse être imposée aux États. Mais dans la réalité, s'il y avait entre les laboratoires et entre les particuliers intéressés une entente formelle précédant la loi, la mise en pratique des nouvelles unités pourrait se réaliser dès 1940.

M. LOMBARDI pense que le rôle du Bureau international doit se borner à informer les États adhérents des décisions prises par la Conférence, sans s'immiscer dans la rédaction des lois.

D'autre part M. YONEDA présente diverses résolutions

prises par le Comité d'Études japonais, tendant à l'adoption d'un système d'unités M. K. S. Ω , Ω étant la valeur de l'ohm dont une réalisation matérielle serait conservée au Bureau international.

M. PÉRARD pense que le Comité consultatif n'a pas à discuter à la présente session cette question, qui a été examinée l'année dernière, et dont l'étude ne lui a plus été confiée à nouveau par le Comité international.

M. PÉRARD pose la question d'une réunion éventuelle avant l'automne 1939, date de la prochaine Conférence Générale. On a fait ressortir précédemment l'intérêt de grouper autant que possible les réunions des Comités consultatifs et du Comité international ou de la Conférence Générale, afin de ne pas obliger les délégués à plusieurs voyages successifs.

M. le PRÉSIDENT remarque qu'en général les Comités consultatifs et technique ne sont pas composés des mêmes membres que le Comité international et la Conférence Générale; cela permettrait donc de tenir les sessions de ces deux catégories d'organismes à des dates distinctes. Cet intervalle aurait l'avantage de permettre la communication des propositions des Comités consultatifs un certain temps à l'avance aux membres du Comité international et de la Conférence et une meilleure préparation de leurs sessions par le Bureau international. Il propose donc que les Comités technique et consultatifs se réunissent quelques mois avant la Conférence Générale, dont la session est prévue vers la fin de septembre 1939.

M. CRITTENDEN appuie cette proposition, à laquelle se range également M. Pérard.

M. YONEDA réserve sa réponse jusqu'à une séance ultérieure.

M. CRITTENDEN demande s'il y a lieu de prolonger l'existence du Sous-Comité technique, dont l'œuvre paraît actuellement terminée.

M. PÉRARD : On pourrait proposer au Comité international de fusionner le Comité consultatif et le Sous-Comité technique.

La date de la prochaine séance est fixée au samedi 12, à 10^h, au Laboratoire Central d'Électricité, 14 rue de Staël.

La séance est levée à 16^h 55^m.

PROCÈS-VERBAL

DE LA DEUXIÈME SÉANCE,

TENUE AU LABORATOIRE CENTRAL D'ÉLECTRICITÉ,

le samedi 12 juin 1937.

PRÉSIDENCE DE M. J. E. SEARS.

Présents : MM. CRITENDEN, JOUAUST, LOMBARDI,
PÉRARD, VON STEINWEHR, YONEDA.

Assistent à la séance : MM. VIGOUREUX, VOLET,
ROMANOWSKI.

La séance est ouverte à 10^h 15^m.

Sur l'invitation de M. le PRÉSIDENT, M. VOLET donne lecture du procès-verbal de la première séance, qui est adopté avec quelques modifications. Autorisation est donnée au Directeur du Bureau d'y apporter des retouches grammaticales, qui pourraient lui paraître nécessaires, en accord avec M. le PRÉSIDENT.

M. YONEDA annonce qu'il a reçu du Japon un télégramme l'autorisant à accepter la prochaine réunion du Sous-Comité technique et du Comité consultatif d'Électricité à partir du milieu de mai 1939.

La date du mardi 16 mai 1939, qui conviendrait à tous les membres, est dès maintenant suggérée pour le début de la session de 1939.

Un échange de vues se produit sur les propositions du

Gouvernement japonais et le memorandum explicatif qui les accompagne. Ces documents ont été rédigés directement en français; comme ils présentaient quelques obscurités, M. PÉRARD, d'accord avec M. YONEDA, en a retouché légèrement la forme, avant leur présentation au Comité. Pour éviter des divergences possibles d'interprétation, il est décidé que ces textes seront retournés au Japon pour demander l'avis des autorités compétentes, et qu'ils ne seront publiés qu'après accord complet avec ces dernières.

Le SECRÉTAIRE donne ensuite lecture du 5^e Rapport du Comité consultatif d'Électricité au Comité international des Poids et Mesures, rédigé par M. CRITTENDEN, Rapporteur (1).

Ce rapport est adopté à l'unanimité, avec les remerciements les plus chaleureux à son auteur.

M. le PRÉSIDENT : Le rapport de M. CRITTENDEN indique qu'en 1939 il sera nécessaire d'élaborer un texte précis sur la définition des unités absolues, dont on fixera alors le rapport à la moyenne des unités nationales correspondantes. A l'heure actuelle, la question de l'unité fondamentale à choisir parmi les unités électriques pour le système M. K. S. n'est pas encore résolue par les organismes compétents. Il est donc désirable que la définition à rédiger ne soulève ni la question de la rationalisation, ni l'attribution d'une valeur définitive à la perméabilité du vide.

Lors de la session de 1935, M. SEARS a présenté un projet basé sur la définition primordiale de l'ampère. Il pense qu'on pourrait s'inspirer de ce projet pour l'élaboration d'un texte définitif, et il souligne l'intérêt qu'il y

(1) Voir le texte de ce Rapport p. 127.

aurait à discuter dès maintenant cette question dans les divers pays, afin d'arriver, en 1939, à une entente rapide.

M. LOMBARDI rappelle que notre but est simplement de fixer des valeurs aux unités, sans s'occuper de la rationalisation, au sujet de laquelle la Commission Électrotechnique Internationale a d'ailleurs reconnu l'impossibilité actuelle d'une entente.

M. le PRÉSIDENT signale que sa proposition a précisément pour but d'éviter cette discussion au sein du Comité.

M. JOUAUST pense que pour la rédaction d'un texte, on pourrait utilement s'inspirer de ce qui a été fait à la Conférence de Londres, en supprimant les références aux unités internationales.

A la demande de M. PÉRARD, on fixe la liste provisoire des documents présentés au Comité consultatif qui pourraient être publiés en annexe dans les Procès-Verbaux. Cette liste sera soumise à l'approbation du Comité international.

M. VON STEINWEHR demande s'il y a lieu de discuter actuellement la question du nombre des étalons nécessaires pour conserver les unités électriques; la constance de ces étalons étant aléatoire, un seul exemplaire ne suffirait pas.

M. le PRÉSIDENT : Il est entendu que le Bureau aura besoin de plusieurs étalons, sans qu'il soit nécessaire actuellement d'en fixer le nombre.

M. PÉRARD : Il faudra en effet conserver plusieurs étalons dont on prendra la moyenne; si, ultérieurement, l'un vient à présenter une discordance sensible, on pourra l'écartier, après consentement du Comité international.

Le Comité donne pouvoir à son Président d'approuver le procès-verbal de la présente séance.

M. JOURAUST remercie cordialement M. SEARS de la façon dont il a dirigé les débats de cette session.

M. le PRÉSIDENT déclare la session close, et lève la séance à 12^h 5^m.

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

Par M. E. C. CRITTENDEN, Rapporteur.

Conformément à la convocation du Président du Comité international des Poids et Mesures, le Comité consultatif d'Électricité s'est réuni à Sèvres, au Pavillon de Breteuil, le 10 juin 1937. Grâce à l'amabilité de M. Jouaust, la deuxième réunion de ce Comité eut lieu le 12 juin, au Laboratoire Central d'Électricité.

Les membres du présent Comité étaient :

Pour la Physikalisch-Technische Reichsanstalt, Berlin :
M. H. von Steinwehr.

Pour le National Bureau of Standards, Washington :
M. E. C. Crittenden.

Pour le National Physical Laboratory, Teddington :
M. J. E. Sears.

Pour le Laboratoire Central d'Électricité, Paris :
M. R. Jouaust.

Pour le Laboratoire Électrotechnique, Tokio : M. R.
Yoneda.

M. le Professeur L. Lombardi, Directeur du Laboratoire
Électrotechnique de l'Université de Rome.

M. A. Pérard, Directeur du Bureau international des Poids et Mesures.

Assistaient, en outre, en qualité d'invités : M. P. Vigoureux, du National Physical Laboratory, MM. Volet et Romanowski, du Bureau international.

A la première réunion, le Comité a été honoré par la présence de M. Ch.-Ed. Guillaume, Directeur honoraire du Bureau international des Poids et Mesures.

M. Jouaust, ainsi que M. Pérard et ses collaborateurs du Bureau international, avaient préparé très judicieusement le travail du Comité et les réunions ont été conduites suivant l'ordre du jour qu'ils avaient prévu.

M. Pérard invita M. Sears à assumer la présidence. En la prenant, M. Sears expliqua que, pour succéder au regretté Président, le Professeur Paul Janet, M. Volterra avait désigné le Professeur A. E. Kennelly. Mais pour des raisons de santé, le Professeur Kennelly n'a pas pu venir assister aux réunions. Le Règlement du Comité exigeait que le Président fût pris parmi les membres du Comité international des Poids et Mesures. L'exécution de cette clause a, en conséquence, incombé à M. Sears, comme le seul membre du Comité international faisant partie du Comité consultatif.

M. Sears souligna le respect et l'affection que tous les membres du Comité marquaient au Président disparu qui a, pendant si longtemps, guidé leurs délibérations avec tant de tact et d'habileté. Il a aussi annoncé le décès récent de M. W. Jaeger, membre honoraire de ce Comité, bien connu pour ses travaux dans les mesures électriques.

En hommage à la mémoire de M. Janet et de M. Jaeger, les membres du Comité se levèrent et observèrent quelques instants de silence. M. Jouaust remercia brièvement M. Sears pour les paroles concernant le chef auquel

il avait été intimement associé pendant tant d'années.

M. Vólet fut nommé secrétaire du Comité, et M. Crittenden rapporteur de la présente session.

M. Vigoureux, en sa qualité de Rapporteur du Sous-Comité technique d'Électricité, lut le rapport des séances tenues par ce Comité du 1^{er} au 8 juin 1937. L'excellent rapport de M. Vigoureux est reproduit *in extenso* dans les Procès-Verbaux (voir p. 109). Il n'est par conséquent pas nécessaire d'en reproduire ici les détails.

La plus importante fonction du Sous-Comité avait été de fixer les valeurs des rapports des unités internationales aux unités absolues correspondantes. Les rapports présentés par divers Laboratoires nationaux ont montré cependant que seul le National Physical Laboratory considère ses valeurs actuelles comme définitives. Le National Bureau of Standards a publié des déterminations des rapports, tant pour l'ohm que pour l'ampère. Mais il est en train de construire des appareils nouveaux et améliorés pour les deux déterminations. Le Laboratoire Électrotechnique a présenté les résultats des deux unités; mais il se propose pareillement de faire d'autres mesures, tout au moins en ce qui concerne l'ampère. Les autres Laboratoires ne sont pas encore prêts pour donner des résultats de leurs récentes déterminations. Mais la Physikalisch-Technische Reichsanstalt a communiqué les résultats révisés de ses mesures effectuées il y a quelques années (voir *Procès-Verbaux du Comité international*, t. XVII, 1935, p. 215).

Étant donné que les déterminations sont encore incomplètes, toute valeur fournie à l'heure actuelle doit être formellement considérée comme provisoire. Cependant, il a paru désirable d'exprimer les valeurs les plus probables des rapports pour l'ohm et pour le volt jusqu'à la cinquième décimale. On fournira ainsi un renseignement

utile aux constructeurs des étalons de résistance de précision et à tous ceux qui désirent avoir des valeurs un peu plus précises que celles qui sont données (avec 4 décimales seulement) dans la publication du Comité international de 1935 (*P.-V.*, tome XVII, p. 75).

Lorsqu'on donne, avec 5 décimales, des rapports pour plusieurs unités, il surgit une difficulté par le fait que cette 5^e décimale est influencée par différents *ohms internationaux* tels qu'ils sont conservés dans les Laboratoires nationaux, de même que par les différents *volts internationaux*.

Ces différences sont petites ; mais elles sont réelles, et restent constantes d'année en année, à quelques millièmes près, ainsi que cela a été démontré par les excellentes comparaisons exécutées par les physiciens du Bureau international dans ces dernières années (*P.-V.*, t. XVII, 1935, p. 288, 290 et 300). Comme la plupart des Laboratoires nationaux ont trouvé plus simple de conserver leurs unités plutôt que d'adopter les unités moyennes, ainsi que l'avait suggéré le Comité international de 1935 (*P.-V.*, t. XVII, p. 94), le procédé le plus pratique paraît être maintenant de fixer les rapports des unités moyennes aux unités absolues correspondantes, en laissant à chaque Laboratoire national le soin de faire lui-même la légère correction nécessaire pour tenir compte de son écart par rapport à la moyenne.

En conséquence, les membres du Sous-Comité technique se sont mis d'accord au sujet des valeurs qu'ils considèrent comme étant les plus probables pour ces rapports ; et le Comité consultatif recommande que ces valeurs soient publiées, de façon que toutes les personnes intéressées en soient informées. Ces relations sont :

a. Pour l'unité de résistance :

1 ohm international *moyen* = 1,00048 ohm absolu.

Cette valeur paraît exacte à 2 ou 3 unités près du dernier chiffre inscrit.

b. Pour l'unité de force électromotrice :

1 volt international *moyen* = 1,00036 volt absolu.

Cette valeur paraît exacte à quelques unités près du dernier chiffre inscrit.

Il faut remarquer que les valeurs des rapports des autres unités internationales aux unités absolues correspondantes peuvent être déduites des deux valeurs ci-dessus; mais dans l'état actuel il ne paraît pas nécessaire de donner un tableau de ces valeurs.

M. Jouaust, en qualité de Président du Sous-Comité technique, ajouta quelques commentaires au rapport de M. Vigoureux, et donna quelques explications complémentaires sur les buts que se sont proposés les recommandations contenues dans ce rapport.

M. Lombardi, en tant que seul membre du Comité consultatif (exception faite pour le Président), qui n'eût pas pris part au travail du Sous-Comité, exprima sa satisfaction de voir les progrès accomplis, et son espoir que les valeurs définitives pour les unités puissent être établies en 1939, ainsi qu'il avait été proposé.

Aucun autre passage du rapport du Sous-Comité technique n'appelle, à l'heure actuelle, l'intervention du Comité international.

Au sujet des études faites dans le but de perfectionner les étalons qui doivent représenter les unités et les étalons secondaires, M. von Steinwehr résuma un rapport sur le travail effectué par M. Alfred Schulze, concernant les recherches électriques et thermiques sur la manganine, travail qui doit être publié bientôt dans la *Physikalische Zeitschrift*. M. Schulze a déterminé les conditions de trai-

tement thermique qu'il faut appliquer à la manganine pour obtenir les meilleurs résultats dans la construction des étalons de résistance.

Afin de déterminer les effets du recuit aux différentes températures, des échantillons de fil de manganine, qui avaient été fortement travaillés à froid, ont été recuits pendant une heure à des températures différentes allant jusqu'à 350° C. On a trouvé qu'une température de 325° C était suffisante pour faire disparaître les effets de travail à froid, ainsi que le montre la diminution de la résistance résultant du recuit. A 350° C, l'évaporation de manganèse à la surface devient évidente. On a trouvé que le recuit à toutes les températures produisait son plein effet en un temps inférieur à une heure. Le recuit aux températures comprises entre 250° et 550° diminue le coefficient thermique de la résistance sur un intervalle compris entre 20° et 45° C; mais la surface de la manganine devient rugueuse par l'évaporation du manganèse.

Étant donnée l'importante fonction de la manganine dans les appareils de résistance, plusieurs membres ont exprimé combien ils appréciaient la valeur de ce genre d'étude systématique.

Le rapport de M. Yoneda sur les étalons électriques a été également examiné. La première partie de ce rapport décrit les expériences avec les alliages d'or et de chrome, exécutées par le procédé de M. J. L. Thomas. M. von Steinwehr a fait aussi un rapport sur ce genre d'expériences, qui démontrent un très haut degré de stabilité des résistances sur une durée d'une demi-année. M. Yoneda rend également compte des expériences effectuées avec les éléments étalons contenant de l'eau lourde dans leur électrolyte; les résultats paraissent montrer une légère diminution de la force électromotrice de l'élément.

Les propositions présentées par le Gouvernement Japo-

nais ont été l'objet d'une étude approfondie. A part l'une d'elles, qui a paru sortir de la compétence actuelle du Comité consultatif (système d'unités M. K. S. Ω .), toutes ont été reconnues en accord avec les vues du Comité.

Ces propositions contiennent la date et le processus à suivre pour l'introduction des nouvelles unités.

Au sujet de la date, il avait été admis qu'on demanderait au Comité international, en 1939 (et même à la Conférence puisqu'elle se réunit précisément cette année), d'approuver les valeurs qui doivent être établies pendant cette année, et de les mettre en pratique à partir du 1^{er} janvier 1940, dans la mesure où peut s'exercer l'action du Comité international et du Bureau international. On ne peut cependant pas espérer que tous les pays pourront faire le nécessaire pour donner, à un même moment, une force légale aux nouvelles unités.

A propos des textes de la loi, il y a plusieurs opinions différentes; mais le point de vue le plus général est qu'une forme de rédaction pourrait être suggérée, qui consisterait essentiellement en une déclaration de principe et en définitions des unités. La loi ne contiendrait elle-même aucune référence à une valeur numérique du genre des rapports qui sont actuellement déterminés et qui doivent être fixés en 1939; ces valeurs sont nécessaires exclusivement pour des besoins administratifs.

Pour pouvoir fixer en 1939 les valeurs des unités et formuler des recommandations les concernant, qui puissent être examinées à temps par tous les pays, avant que la Conférence générale se réunisse, il sera nécessaire que le Comité consultatif ne se réunisse pas trop tard dans le courant de l'année. Dans ce but, on a attiré l'attention sur la proposition du National Bureau of Standards, proposition suivant laquelle tous les Laboratoires qui effectuent des mesures absolues devraient distribuer aux

membres du Comité avant le 1^{er} septembre 1938, des descriptions détaillées des méthodes qu'ils utilisent. Cette proposition complète la décision déjà prise par le Comité international, et suivant laquelle les résultats définitifs des déterminations doivent être communiqués avant le 31 décembre 1938 (*P.-V.*, tome XVII, 1935, p. 74).

Les propositions de l'Electrotechnical Laboratory contiennent l'adoption, par tous les pays, des mêmes valeurs pour les unités absolues, et les suggestions pour une action commune concernant les corrections futures, lorsque ces dernières deviendront nécessaires par suite de nouvelles déterminations. On s'est trouvé d'accord pour estimer que de telles mesures en vue de l'uniformité des valeurs devraient être prises; mais aucune action spécifique n'a paru nécessaire à ce sujet pour le moment; car elle semble seulement faire partie du programme que le Comité international est en train de poursuivre.

ANNEXE E 4.

Physikalisch-Technische Reichsanstalt.

ÉTAT DES TRAVAUX

POUR

LA COMPARAISON DE L'OHM ABSOLU

AVEC L'OHM INTERNATIONAL

(Juin 1937).

1. *Construction de la bobine.* — Le cylindre en quartz de 230^{mm} de long et 230^{mm} de diamètre, fourni par la Société allemande Ton-und Steinzeugwerke, Berlin, fut poli par la firme Bernhard Halle Successeur, Berlin. La variation maximum du diamètre après le polissage est de $\pm 3\mu$.

Le noyau de quartz est faiblement diamagnétique; mais l'influence qui en résulte sur la self-induction de la bobine ne dépasse pas la valeur de quelques millièmes.

Le fil de cuivre employé pour l'enroulement de la bobine, de 0^{mm},5 de diamètre, est cylindrique à $\pm 1\mu$ près. Sa susceptibilité magnétique est à peu près nulle. Pour obtenir la course du fil la plus régulière possible, le cylindre en quartz était centré à l'aide d'un dispositif particulier sur un support à axe-guide.

Le fil allait de la bobine d'alimentation, qui a le même diamètre que le cylindre de quartz, directement sur la bobine sans aucune courbure évitable. Sur la bobine d'alimentation est directement accouplé un tambour secondaire, qui, de son côté, est alimenté par une deuxième bobine d'alimentation. De la sorte, le fil secondaire passe sur un rouleau chargé d'un poids, ce qui donne au fil de la bobine une tension d'environ 1 kilo-

gramme-poids, tension qui est suffisante pour éviter un relâchement du fil pour une élévation de température allant à environ 45° C. On peut obtenir une bonne constance du pas, comme l'ont montré des essais préliminaires, en utilisant après avoir fait l'enroulement, un dispositif de précision formé d'une vis taillée au même pas, qui est placée sur l'enroulement et agit dans une certaine mesure comme un peigne. Dans cette opération, le fil ne subit aucune détérioration notable. Une épreuve au choc montra que les spires sont suffisamment fixes.

2. *Mesure géométrique de la bobine.* — Un comparateur spécial a été construit pour la détermination du diamètre du noyau, du diamètre de la bobine terminée, du pas, et de la longueur de la bobine.

3. *Mesure électrique.* — On a conservé la méthode employée par Grüneisen et Giebe. La self-induction de la bobine est représentée dans le pont de Maxwell comme produit de deux résistances et d'une capacité. Celle-ci est déterminée avec l'interrupteur rotatif, selon Maxwell-Thomson, par une mesure de temps et une mesure de résistance. La mesure de temps (fréquence d'interrupteur) est donnée par la marche de l'interrupteur rotatif à l'aide d'un moteur, synchrone avec la pendule en quartz de la P. T. R. Cette mesure est pratiquement sans erreur. De cette façon, on détermine la résistance (en unités absolues) par le calcul de la bobine.

Différentes améliorations furent apportées aux dispositifs de mesure, entre autres un galvanomètre spécial à très haute sensibilité.

4. *Calcul de la self-induction.* — Pour le calcul, en dehors de la formule connue de Lorenz avec la correction de Rosa, on a tenu compte également de l'expression donnée par Ch. Snow pour un enroulement cylindrique.

ANNEXE E 2.

Physikalisch-Technische Reichsanstalt.

ÉTAT DES TRAVAUX

CONCERNANT

LA DÉTERMINATION DE L'AMPÈRE ABSOLU

(Juin 1937).

Les difficultés qui se présentent pour évaluer l'espace d'enroulement et les corrections qui en résultent avec l'emploi des bobines en fil ont provoqué la construction d'un nouveau groupe de bobines qui furent constituées d'un ruban de cuivre émaillé, goupé avec de la soie. Ce ruban a une âme de cuivre de $0^{\text{mm}},1$ d'épaisseur et $3^{\text{mm}},55 \pm 0^{\text{mm}},05$ de largeur. Les grandes bobines (rayon 20^{cm}) sont formées de quatre couches de spires accolées, séparées par des bagues en « tourbonit » (Pertinax, sorte de papier fort). La petite bobine (rayon 10^{cm}) est formée de deux couches de spires semblables, séparées de même par la « tourbonit ». La largeur des anneaux de « tourbonit » est environ $0^{\text{mm}},24 \pm 0^{\text{mm}},02$; avec l'espace d'air correspondant, les vides d'isolement entre les rangs de spires sont de $0^{\text{mm}},28 \pm 0^{\text{mm}},025$.

Les mesures exécutées avec ce nouveau groupe de bobines, lors des recherches magnétiques pour la détermination du rapport des rayons, et lors des mesures spéciales à la balance de courant, montrent une constance suffisante. En particulier, dans les pesées avec trois intensités différentes de courant et deux réglages différents, la concordance des mesures est telle que l'erreur moyenne des mesures individuelles exécutées en un jour est de $\pm 30 \cdot 10^{-6}$. L'erreur moyenne de la valeur moyenne de ces six mesures est $\pm 13 \cdot 10^{-6}$. Nous avons obtenu entre nos mesures cette concordance avec trois intensités de courant différentes qui sont dans le rapport $\sqrt{1}$, $\sqrt{2}$, $\sqrt{3}$ et dont les forces sur la

balance sont entre elles comme 1, 2, 3 et pour deux réglages complètement indépendants l'un de l'autre.

L'appréciation de la valeur de ces mesures pour la détermination absolue de l'intensité est indéterminée du fait qu'on n'a pas explicité la largeur théorique des espaces d'enroulement. En particulier, la correction provenant en premier lieu de la petite bobine est si fortement variable avec la largeur de l'espace d'enroulement que l'on peut seulement lui donner des limites déterminées. Pour toutes les bobines, on a calculé la largeur de l'espace d'enroulement comme si les bagues en « tourbonit » qui se trouvent entre les couches de spires étaient parcourues par le courant. Mais des difficultés de principe sont en particulier soulevées par la question de savoir si les couches extrêmes de spires forment la limite pour la largeur égale à $2b$ de l'espace d'enroulement ou si un demi-intervalle doit être aussi compté en dehors de chaque côté, correspondant à l'intervalle d'isolement qui se trouve entre les couches de spires (pour la largeur entière un intervalle entier) (1).

(1) Voir *Bull. Bureau of Standards*, vol. 8, n° 2, Rosa, Dorsey et Miller, p. 371-375, en particulier p. 372 en bas et 373 en haut.

ANNEXE E 3.

Physikalisch-Technische Reichsanstalt.

I.

RÉSISTANCES DE PRÉCISION

EN

ALLIAGE D'OR ET DE CHROME.

Pour obtenir des résistances étalons à de très faibles coefficients de température, on a employé, d'après Thomas (*Journ. of Res. B. of S.*, 13, 1934, p. 681), des alliages d'or et de chrome. Les recherches faites à la Reichsanstalt ont montré que les alliages d'or avec 2,05 pour 100 de chrome donnent les meilleurs résultats. En premier lieu, on a construit une série de résistances de 1 ohm et 10 ohms. Pour les résistances de 1 ohm, on a employé du fil de $0^{\text{mm}},6$ de diamètre et pour les résistances de 10 ohms, du fil de $0^{\text{mm}},3$ de diamètre. Ce fil était enroulé sur des cylindres de porcelaine portant un filetage hélicoïdal.

Les résistances de 1 ohm ont été soumises au vieillissement dans le vide à 200°C ., et après ajustage, elles ont été recouvertes d'une mince couche de vernis. Dans le cours d'une demi-année, elles ont montré avec le temps une constance intérieure à quelques millièmes. A titre d'exemple, le tableau suivant donne la tenue de trois résistances de 1 ohm; on y trouvera également les valeurs correspondantes de α et β .

l_1		l_2	
$\alpha = -1,11 \times 10^{-6}$		$\alpha = -0,79 \times 10^{-6}$	
$\beta = -0,01 \times 10^{-6}$		$\beta = +0,02 \times 10^{-6}$	
7 nov. 1936...	1,000 010	7 nov. 1936...	1,000 114
2 déc. » ...	10	2 déc. » ...	116
29 déc. » ...	14	28 déc. » ...	120
4 janv. 1937...	15	6 févr. 1937...	118
6 févr. » ...	14	11 mars » ...	115
11 mars » ...	13	15 avril » ...	116
15 avril » ...	14	14 mai » ...	117
14 mai » ...	14		

l_5	
$\alpha = -3,34 \times 10^{-6}$	
$\beta = +0,12 \times 10^{-6}$	
2 déc. 1936.....	1,000 034
4 janv. 1937.....	35
6 févr. »	34
12 mars »	33
15 avril »	33
15 mai »	35

On ne peut encore rien dire sur la constance des résistances de 10 ohms.

II.

RECHERCHES ÉLECTRIQUES ET THERMIQUES

SUR

LA MANGANINE.

On n'a pas entrepris jusqu'ici d'étude systématique de la manganine en ce qui concerne la température de recuit la plus favorable. Au temps où l'on a créé cet allié, d'une part, les investigations dans le domaine de la métallurgie n'étaient pas encore assez avancées pour pouvoir fournir le point de départ d'une telle étude; et, d'autre part, le guipage des fils avec de la

soie limitait l'échauffement à des températures relativement basses. Le premier pas dans cette voie a été un recuit à température plus élevée (550°), qui fut fait par le Bureau of Standards (1), sans que cependant fût donnée la raison du choix de cette température.

Par le vieillissement de la manganine, on doit obtenir deux résultats différents, savoir : 1° disparition de l'écroissage causé par le travail mécanique (étirage); d'après de nouvelles recherches sur les métaux et les alliages, cette disparition est complète à la température dite de régénération; 2° production de l'homogénéisation, c'est-à-dire production d'un état d'équilibre entre les composants de l'alliage.

On reconnaît que la température de régénération est atteinte, à ce qu'il se produit à cette température une brusque diminution de la résistance. Par la mesure de la résistance à la température ambiante, après des recuits successifs, de 1 heure de durée chacun, à des températures comprises entre 100° et 350° C., on a trouvé que la température de régénération est 325° C.; au-dessus, il ne se produit pas de diminution plus forte de la résistance. La durée du recuit nécessaire pour obtenir la régénération a été établie par des recherches particulières.

Le tracé des courbes Résistance-Température après vieillissement à différentes températures, a montré que, avec l'élévation de la température jusqu'à 250°, la courbe parabolique qui représente cette fonction devient plus raide. Mais pour des recuits au-dessus de 250°, on obtient des paraboles qui, de façon progressive, sont plus aplaties que celles trouvées après recuit à 150°. Il est donc possible, par le vieillissement de la manganine à des températures plus élevées que celles du recuit habituel, d'obtenir, au voisinage de la température ambiante, un coefficient de température plus faible, ainsi que cela a déjà été établi par le Bureau of Standards, pour le recuit à 550° C.

Ce comportement de la manganine s'explique par le fait que, tandis que sa régénération est liée à une diminution de la résistance (c'est-à-dire à un accroissement du coefficient de température), l'homogénéisation produit une élévation de la résistance (c'est-à-dire une diminution du coefficient de température). L'homogénéisation, qui a un cours plus lent que la régénération,

(1) J.-L. THOMAS, *Journ. of Research of the Nat. Bur. of Standards*, 13, 1934, p. 681.

s'accomplit cependant, comme le montrent ces expériences, assez vite aux températures supérieures à 250°, pour être appréciable après un vieillissement d'une heure.

Il résulte de ces expériences que pour obtenir une régénération complète et une homogénéisation suffisante (donc un faible coefficient de température à la température ambiante), on doit faire le recuit entre 375° et 400° C. Un échauffement à des températures plus élevées, où il se produit déjà une forte vaporisation du manganèse, n'est donc pas nécessaire.

ANNEXE E 4.

National Bureau of Standards.

PROPOSITION

AU SOUS-COMITÉ D'ÉLECTRICITÉ

CONCERNANT

LES VALEURS PROVISOIRES DES UNITÉS ÉLECTRIQUES

A ADOPTER EN JUIN 1937.

En exécution des résolutions adoptées en 1935 par le Comité international des Poids et Mesures (*Procès-Verbaux*, t. XVII, p. 73-75, 1935), la réunion du Sous-Comité technique en 1937 doit fixer les valeurs *provisaires* des rapports entre les unités absolues et les unités internationales correspondantes. La déclaration publiée par le Comité international en 1935 (*Procès-Verbaux*, t. XVII, p. 74-75) donne les valeurs de ces rapports jusqu'au 1/10000. Il est désirable de publier maintenant les valeurs avec un chiffre significatif supplémentaire, bien que les déterminations des laboratoires nationaux ne soient pas suffisamment concordantes pour assurer que ces valeurs soient correctes à 1/100000 près. Une telle estimation aura des applications nombreuses et utiles, et entre autres, permettra aux fabricants d'étalons de haute précision de préparer le changement des unités.

Puisque les unités actuellement conservées dans les différents pays diffèrent en certains cas de quelques cent-millièmes, la publication finale des valeurs sur la base absolue doit s'accom-

pagner de renseignements circonstanciés concernant le changement exact qui doit être opéré dans chaque pays. Pour le but actuel, toutefois, il paraît préférable de fixer simplement la relation la plus probable entre l'ohm et le volt absolus et les unités moyennes internationales telles qu'elles ont été déterminées par les comparaisons faites au Bureau international. La relation entre les unités des différents laboratoires nationaux pour 1935 (*Procès-Verbaux* t. XVII, p. 95, 1935) avec les unités moyennes est indiquée dans le tableau I.

TABLEAU I.

Quantités dont les unités des différents pays s'écartaient de l'ohm et du volt internationaux moyens en 1935.

Le signe (+) indique que l'unité nationale est plus grande que la moyenne. Le signe (—) indique que l'unité nationale est plus petite que la moyenne.

Laboratoire.	Pays.	Ohm.	Volt.
P. T. R. .	Allemagne	+ 9,8 × 10 ⁻⁶	— 4 × 10 ⁻⁶
N. B. S. . .	Etats-Unis	— 5,5 »	— 12 »
N. P. L. . .	Grande-Bretagne	— 3,6 »	+ 5 »
E. T. L. . .	Japon	— 11,2 »	— 2 »
I. M. S. . .	U. R. S. S.	+ 10,6 »	+ 13 »

A la réunion du Sous-Comité les résultats de 1937 seront probablement utilisables.

VALEUR DE L'OHM.

Quatre laboratoires nationaux ont publié les valeurs expérimentales de la relation entre l'ohm international et l'ohm absolu. Chaque valeur a été rapportée à l'unité du laboratoire faisant la détermination, mais toutes ont été réduites sur une base commune au moyen des intercomparaisons faites au Bureau international (tableau I). Les résultats des déterminations sont donnés au tableau II.

TABLEAU II.
Valeurs de l'ohm international.

Pays.	Méthode.	Date.	Valeur en ohms absolus (la plus récente)	
			de l'unité du laboratoire exécutant.	de l'unité moy. déterminée au B. I. P. M. (1935).
Grande-Bretagne.	Lorenz	1936	1,00050	1,00050
»	Campbell	1936	1,00050	1,00050
Allemagne.....	Self ind.	1935	1,00049 ⁽¹⁾	1,00048
Japon.....	Ind. mutuelle	1933	1,00046	1,00047
États-Unis.....	Self ind.	1936	1,00045	1,00046
Moyenne.....			1,00048	

En vue d'estimer l'exactitude comparative des valeurs différentes, on a besoin de connaître les détails des procédés expérimentaux et des résultats. Ces détails n'ont, jusqu'ici, été communiqués que dans le cas du résultat fourni par le Laboratoire des États-Unis. Bien que la description de la méthode utilisée par le Laboratoire allemand ait été publiée, un ajustement des valeurs contenues dans la publication a été communiqué au Comité international en 1935; mais les raisons qui ont conduit à changer la valeur n'ont pas été indiquées. De même, on dispose d'une description de l'appareil Lorenz tel qu'il a été utilisé dans le Laboratoire anglais en 1912; mais les modifications récentes et les détails des observations expérimentales n'ont pas été communiqués au Comité international. Il n'est donc pas possible, à l'heure actuelle, de décider quels poids devraient être attribués aux différentes déterminations.

Sur la base des renseignements dont on dispose actuellement, le National Bureau of Standards propose que le Sous-Comité recommande de prendre la moyenne des déterminations donnée au tableau II comme valeur provisoire de l'ohm; comme il est indiqué ci-dessus, ce résultat est :

$$1 \text{ ohm international moyen} = 1,00048 \text{ ohm absolu.}$$

(¹) Ajustement de la valeur obtenue en 1914.

VALEURS DE L'AMPÈRE ET DU VOLT.

Il est à souhaiter qu'on exprime le résultat d'une détermination absolue de l'ampère en fonction de l'ohm et du volt, puisque la comparaison de tels résultats est généralement opérée par l'échange de résistances étalons et de piles étalons. Deux laboratoires seulement ont communiqué les résultats de la détermination absolue de l'ampère. Chaque résultat est exprimé en fonction du volt et de l'ohm tels qu'ils sont conservés par le laboratoire faisant la détermination. Ces valeurs sont données au tableau III. Le National Bureau of Standards a publié une valeur en 1934, mais depuis cette époque, l'appareillage a été amélioré et une valeur différente a été obtenue, qu'on donne dans le rapport annexé intitulé : *Rapport supplémentaire sur la détermination absolue de l'ampère* (p. 149). On recommande d'utiliser pour l'établissement d'une valeur provisoire du volt le résultat donné dans le Rapport supplémentaire, de préférence à celui donné dans le rapport déjà publié.

TABLEAU III.

Méthode.	Date.	Valeurs (1).
<i>Grande-Bretagne.</i>		
Balance de courant Ayrton-Jones.....	1936	0,99986
<i>États-Unis.</i>		
Balance de courant de Rayleigh		
(Publié).....	1934	0,99993
(Rapport supplémentaire).....	1936	0,99989

Pour obtenir une valeur du volt, chaque valeur de l'ampère

(1) Valeurs, en ampères absolus, de chaque détermination de l'ampère international en fonction des unités du laboratoire faisant la détermination, l'ampère international étant déterminé d'après les piles étalons et les étalons de résistance du laboratoire en question.

donnée par le tableau III (à l'exclusion de la valeur première des États-Unis), est combinée avec la valeur de l'ohm de chaque laboratoire, telle qu'on la trouve dans le tableau II. Les résultats de ces combinaisons sont donnés dans la colonne (3) du tableau IV, et sont transformés dans la colonne (4) en volts internationaux moyens, au moyen des relations données par le tableau I.

TABLEAU IV.

Pays.	Date.	Valeur en volts absolus	
		(3).	(4).
Grande-Bretagne.....	1936	1,00036	1,00035 ₅
États-Unis.....	1936	1,00034	1,00035
Moyenne.....			<u>1,00035</u>

(3). Volt international du laboratoire faisant la détermination.

(4). Volt international moyen tel qu'il a été déterminé en 1935 par les mesures du B. I. P. M.

Sur la base des résultats contenus dans le tableau ci-dessus, le National Bureau of Standards propose que la valeur provisoire à adopter pour le volt soit :

$$1 \text{ volt international moyen} = 1,00035 \text{ volt absolu.}$$

PRÉPARATIFS POUR L'ÉTABLISSEMENT DES VALEURS DÉFINITIVES
DES UNITÉS EN 1939.

Dans le but d'exécuter les décisions prises par le Comité international en 1935, le Sous-Comité technique devrait se réunir dans l'année 1939 pour se mettre d'accord au sujet des valeurs définitives à assigner aux étalons qui devront représenter les unités absolues. Il est de toute importance que la description complète des méthodes utilisées pour obtenir les résultats qui doivent être pris en considération par le Sous-Comité technique soit entre les mains des membres plusieurs mois avant la réunion. L'étude d'une méthode et l'évaluation soigneuse de l'exactitude probable qu'on en peut tirer demandent un laps de temps considérable. On suggère que le Comité international des Poids et Mesures demande instamment à tous les laboratoires

faisant des déterminations absolues d'envoyer des descriptions de leurs méthodes aux membres du Comité consultatif d'Électricité au plus tard le 1^{er} septembre 1938, tandis que les valeurs obtenues par ces méthodes pourraient n'être communiquées que plus tard, jusqu'au 31 décembre 1938.

26 avril 1937.

ANNEXE E 5.

National Bureau of Standards.

RAPPORT SUPPLÉMENTAIRE

SUR

LA DÉTERMINATION ABSOLUE DE L'AMPÈRE

Par MM. HARVEY L. CURTIS, ROGER W. CURTIS
et CHARLES L. CRITCHFIELD.

1. Dans ce rapport supplémentaire, on donne quatre nouvelles déterminations indépendantes de la valeur absolue de l'ampère, valeurs qui viennent s'ajouter à celle qui est contenue dans le rapport original ⁽¹⁾.

Dans les nouvelles déterminations, la seule modification d'appareillage a été la substitution de nouvelles bobines mobiles à celles qui avaient été utilisées antérieurement. Deux nouvelles bobines mobiles ont été construites. Les quatre nouvelles déterminations ont consisté à combiner l'emploi de ces nouvelles bobines avec chaque paire de bobines fixes.

Dans le rapport original, on avait exprimé le désir de fabriquer de nouvelles bobines mobiles; car on pensait que la grande dispersion des résultats venait d'une incertitude dans la distribution des spires du fil dans la section des bobines, particulièrement des bobines mobiles. Dans le but de déterminer l'effet du manque d'uniformité de la distribution des spires (et par suite du courant) dans la bobine mobile, on a établi de nouvelles bobines mobiles dans lesquelles la distribution du courant se rapproche plus exactement de celle qu'exige la théorie. Ce sup-

⁽¹⁾ *B. S. Journ. Research*, vol. 12, 1934, p. 665.

plément décrit les résultats qui ont été obtenus jusqu'à ce jour en utilisant les nouvelles bobines mobiles et les anciennes bobines fixes.

2. DESCRIPTION DES NOUVELLES BOBINES MOBILES. — Les nouvelles bobines mobiles ont été conçues de façon que la distribution de courant dans la section soit bien définie et d'une nature telle qu'elle puisse se prêter à l'établissement d'une formule exprimant la force par unité de courant. Une des bobines

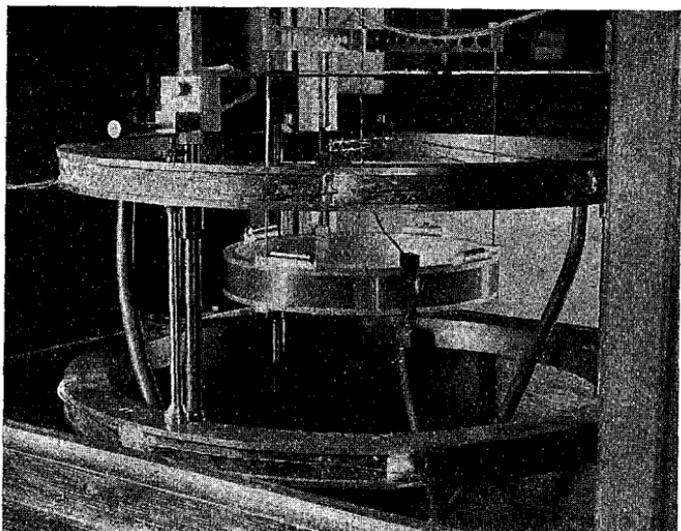


Fig. 1.

est un solénoïde à simple couche, et l'autre est une bobine à section carrée constituée par l'enroulement d'une bande d'aluminium. Le solénoïde à simple couche exige l'établissement d'une nouvelle formule et donne une force qui est petite; l'enroulement formé par une bande d'aluminium donne une distribution de courant semblable à celle des anciennes bobines, mais mieux définie. La force agissant sur cette bobine est également petite.

1° Le solénoïde à couche simple se trouve logé dans un filetage pratiqué sur une carcasse en verre *Pyrex*. La carcasse a la

forme d'une couronne cylindrique; elle a été d'abord rodée de façon à présenter des surfaces doucies. Ses dimensions sont :

Diamètre.....	245 mm
Longueur.....	36 »
Épaisseur de la paroi.....	11 »

Sur la surface cylindrique extérieure, on a taillé et rodé un filetage par un procédé indiqué par le D^r C. Moon. Le filetage a un pas de 0^{mm},65. Le fil utilisé a un diamètre de 0^{mm},51. Il

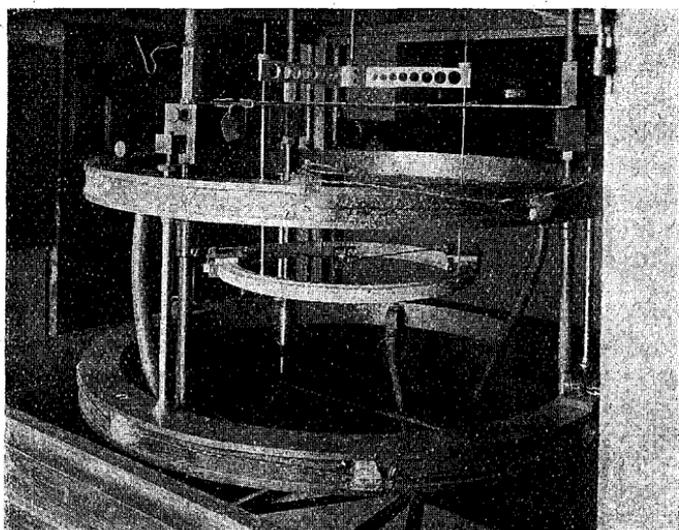


Fig. 2.

s'appuie contre les surfaces latérales du filetage et ne touche pas le fond de celui-ci.

La figure 1 est une photographie de la bobine en verre telle qu'elle est montée sur la balance.

2^o La bobine à bande d'aluminium a été construite au moyen d'une bande ayant 6^{mm},38 de largeur et 0^{mm},07 d'épaisseur. La bande a été anodisée pour former sur la surface une couche d'oxyde d'aluminium. L'épaisseur de cette couche a été estimée à 9 microns.

Deux bandes ont été enroulées simultanément sur une car-

casse en aluminium « anodisé », de façon que l'une des bandes se trouve posée sur l'autre; pendant l'enroulement, les bandes ont été maintenues sous une tension de 1 kilogramme-poids. On a réalisé le contact avec la bande d'aluminium anodisée, en enlevant partiellement la couche anodisée au moyen d'un abrasif de diamant, puis en serrant l'extrémité de la bande entre des feuilles de platine qu'on avait saupoudrées de limaille de platine; la résistance d'isolement entre les bandes a été trouvée supérieure à 4 mégohms quand l'humidité était inférieure à 50 pour 100. Une photographie de la bobine à bande d'aluminium achevée et montée sur la balance de courant est reproduite sur la figure 2.

3. MESURE DES DIMENSIONS MÉCANIQUES DES BOBINES. — Dans les formules servant à calculer la force, on n'a besoin que des rapports entre les dimensions des bobines, de sorte que les dimensions effectives des bobines n'ont pas besoin d'être connues avec exactitude; le rapport important est celui qui existe entre le rayon de chacune des bobines fixes et le rayon de la bobine mobile; ces rapports ont été déterminés par un montage électrique spécial qui a été décrit en détail dans le rapport original. Toutefois, on peut avoir des contrôles utiles quand on dispose de valeurs précises des dimensions.

Les dimensions du solénoïde en verre sont :

Diamètre extérieur moyen à 30°,4 C.....	245,1191 mm
Coefficient de dilatation dans une direction radiale (par degré C).....	$4,1 \times 10^{-6}$
Diamètre du fil	0,512 mm
Diamètre moyen à 30°,4 C.....	244,607 »
Pas.....	0,65000 »
Longueur de 41 tours	26,650 »

Les dimensions de la bobine à bande d'aluminium sont :

Diamètre de la carcasse avant enroulage à 29°,9 C.	245,017 mm
Épaisseur de papier sous l'enroulement (deux épaisseurs).....	0,020 »
Compression de la carcasse pendant l'enroulement.	0,006 »
Diamètre pris sur l'enroulement à 30°,0 C.....	258,085 »
Diamètre moyen de la bobine à 30°,0 C.....	251,563 »
Profondeur radiale de la bobine.....	6,52 »
Longueur axiale de la bobine (largeur de bande).	6,38 »
Coefficient de dilatation thermique (par degré C).	22×10^{-6}
Nombre de tours (par enroulement).....	45

4. CALCUL DE LA FORCE PAR UNITÉ DE COURANT. — La force par unité de courant a été calculée pour la bobine d'aluminium par la même formule que celle qui avait été utilisée dans la publication précédente (*loc. cit.*, p. 684). Cette formule était également suffisante pour calculer la force qui s'exerce entre les bobines mobiles en verre et les grandes bobines fixes. Cependant, pour la bobine mobile en verre et pour les petites bobines fixes, il a été nécessaire de développer la formule jusqu'à son sixième terme (inclus), car le rapport de la longueur axiale de la bobine en verre au diamètre des bobines fixes était suffisamment grand pour que les termes du sixième ordre contenant le quotient de la longueur et du diamètre (et autres quotients contenant la longueur au numérateur) ne fussent plus négligeables.

5. DÉTERMINATION DES RAPPORTS DES RAYONS. — Le rapport des rayons entre les deux nouvelles bobines mobiles et chacune des quatre bobines fixes utilisées dans la détermination antérieure a été obtenu par le même appareil que celui qui est décrit dans la communication précédente. Également, les coefficients de température et les coefficients de charge des deux bobines mobiles et de certaines des bobines fixes ont été déterminés par les méthodes déjà décrites. Dans les résultats reproduits aux tableaux ci-dessous, la bobine mobile en verre a été désignée par le symbole P 1, et la bobine mobile à bande d'aluminium par A 1. Les bobines fixes conserveront leur symbole antérieur, c'est-à-dire S 1 et S 2 pour les petites bobines, et L 3 et L 4 pour les grandes bobines.

TABLEAU I.
Coefficients de dilatation des bobines.

Bobines.	Coefficients de dilatation en millièmes par degré C.		
	Valeur de 1911.	Valeur de 1933.	Valeur de 1936.
A 1 (au micromètre).....	-	-	22,0
P 1 (au micromètre).....	-	-	4,1
P 1 (rapport des rayons)....	-	-	4,1 ⁽¹⁾
S 1 »	17,0	17,0	17,0
S 2 »	17,6	17,4	-
L 3 »	18,9	17,6	-
L 4 »	18,5	18,9	-

(¹) Au-dessous de 33° C.

TABLEAU II.

Coefficients de charge des bobines.

Bobines.	En millièmes par watt de charge.		
	Valeurs de 1911.	Valeurs de 1933.	Valeurs de 1936.
P 1.....	—	—	1,0
A 1.....	—	—	0,0
S 1.....	0,47	0,61	0,35
S 2.....	0,93	0,52	0,50
L 3.....	0,81	0,62	0,30
L 4.....	0,84	0,66	0,61

TABLEAU III.

Rapport des rayons des bobines à 22° C. sous charge nulle pour toutes les bobines. Observations de 1935-1936.

Bobines.	Rapport.	Nombre d'observations.	Écart moyen en millièmes.
P 1/S 1.....	0,612525 1	5	2
P 1/S 2.....	0,612809 1	9	2
P 1/L 3.....	0,489470 1	7	1
P 1/L 4.....	0,489382 2	4	1
A 1/S 1.....	0,629763 1	11	4
A 1/S 2.....	0,630060 5	8	4
A 1/L 3.....	0,503250 5	4	1
A 1/L 4.....	0,503155 9	4	2

TABLEAU IV.

Rapports des rayons des couples de bobines fixes de même espèce déduits des observations effectuées en prenant les diverses bobines mobiles comme intermédiaires.

Bobine mobile intermédiaire.	Année.	Rapports calculés des rayons.	
		L 3/L 4.	S 2/S 1.
M 2.....	1911	1,000177	—
M 3.....		1,000192	1,000449
M 2.....	1933	1,000172	1,000466
M 3.....		1,000182	1,000462
P 1.....	1936	1,000180	1,000464
A 1.....		1,000188	1,000472

TABLEAU V.

Résultats des déterminations absolues de l'ampère.

Date des observations.	Bobine mobile.	Bobines fixes.	Force observée approximative, en grammes.	Valeur du courant en ampères.	$\frac{\text{INBS-Ia}}{I_a}$ en millionièmes.	Nombre d'observations.	Écart moyen dans une série en millionièmes.
Mai 1935.....	P 1	S1, S2	6,26	1,02	101	11	3
Juin 1935.....	»	»	2,78	0,68	102	3	3
Fév. et mars 1936.....	P 1	L4, L3	5,67	1,02	123	19	4
»	»	»	2,52	0,68	118	24	8
Mai et juin.....	A 1	L4, L3	6,71	1,02	108	11	4
»	»	»	2,98	0,68	118	9	11
Déc. 1936.....	A 1	S1, S2	7,60	1,02	90	5	2
Moyenne.....					109 ± 10		

D'après les résultats ci-dessus

1 ampère international N. B. S. = 0,999 891 ampère absolu.

La valeur publiée par le N. B. S. en 1934 était

1 ampère international N. B. S. = 0,999 928 ampère absolu.

La valeur récemment obtenue au N. P. L. est (traduite en unités N. B. S.)

1 ampère international N. B. S. = 0,999 84 ampère absolu.

6. DÉTERMINATION EXPÉRIMENTALE DE LA FORCE MAXIMA PAR UNITÉ DE COURANT. — On a observé la force maxima par unité de courant pour chacune des nouvelles bobines mobiles lorsqu'elle est employée avec chaque paire de bobines fixes. Dans tous les cas, excepté un seul, on a utilisé deux intensités de courant. Toutes les précautions indiquées dans la communication précédente ont été respectées. On a utilisé la même valeur pour l'accélération de la pesanteur, et l'on a appliqué toutes les corrections nécessaires pour rendre les résultats comparables à ceux qui ont été déjà publiés.

CONCLUSION. — Les nouvelles bobines mobiles décrites dans ce rapport supplémentaire sont nettement supérieures à celles qu'on avait utilisées en vue du Rapport déjà publié. C'est ainsi que la dispersion des résultats obtenus au moyen des diverses combinaisons des bobines, lorsqu'on utilise les nouvelles bobines mobiles, est plus faible que lorsqu'on utilise les anciennes. En attendant que les travaux actuellement en cours puissent définitivement fixer l'importance relative des deux déterminations, il semble donc que la nouvelle valeur doive complètement remplacer celle qui avait été publiée en 1934.

Par conséquent :

1 ampère international NBS = 0,99989 ampère absolu.

Washington, 26 avril 1937.

ANNEXÉ E 6.

Laboratoire Central d'Électricité.

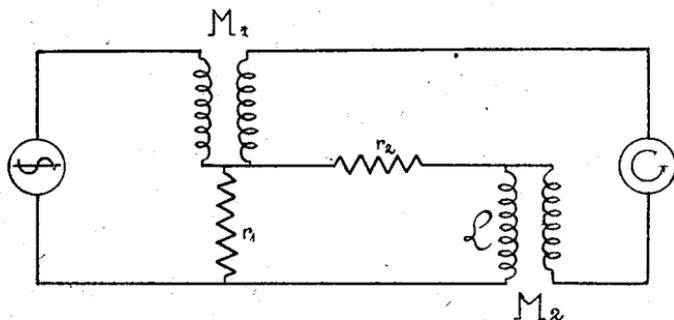
ÉTAT DES ÉTUDES

SUR

LA DÉTERMINATION DE L'UNITÉ DE RÉSISTANCE

Par M. R. JOUAUST.

Principe de la méthode employée. — La méthode utilisée au Laboratoire Central d'Électricité pour la détermination de résistances en valeur absolue est une modification de la méthode de A. Campbell, imaginée par M. Picard.



Lorsque l'équilibre est établi, on a la relation :

$$\mathcal{L} M_1 \omega^2 = r_1 r_2.$$

Cette méthode nécessite donc la connaissance en valeur absolue de l'inductance mutuelle M_1 et de l'inductance propre du primaire de l'inductance mutuelle M_2 .

Évaluation des inductances. — Ces inductances sont évaluées en fonction d'une inductance calculée en partant de ses dimensions géométriques.

Cette inductance est constituée par un cylindre de quartz ayant environ 10^{cm} de diamètre et 76^{cm} de longueur sur lequel est enroulé du fil de cuivre de 0^{cm},03 avec un pas de 0^{cm},06 sous une tension de 1 kilogramme-poids.

Le dispositif d'enroulement a déjà fait l'objet d'une description sommaire (*Procès-Verbaux des séances du Comité international des Poids et Mesures*, 1935, p. 250).

Quelques modifications ont été apportées au mode opératoire décrit :

1^o On a utilisé du fil nu au lieu de fil émaillé.

2^o On a reconnu la nécessité de faire subir au fil, tel qu'il est livré par le fabricant, une dernière passe de tréfilage dans une filière en diamant.

Le procédé de bobinage permet la détermination du diamètre de la bobine par mesure de la longueur du fil enroulé.

Cette mesure se faisant par fraction de 16^m correspondant à 52 spires recouvrant 3^{cm} du cylindre, on évalue ainsi les diamètres de 24 cylindres élémentaires dont la moyenne donne le diamètre moyen du cylindre et l'on a par ce procédé des mesures de diamètre exécutées de 3^{cm} en 3^{cm}.

Les mesures du pas moyen et de la longueur ont été effectuées par le Bureau International des Poids et Mesures. La seule détermination géométrique qui reste à exécuter est celle des irrégularités du pas, opération dont s'occupe actuellement le Bureau International.

La constante a été calculée par la formule de Nagaoka, en appliquant la correction de Rosa et en tenant compte des remarques de Grover (*Bureau of Standards, Journal of Research*, t. III, juillet 1929). On l'a corrigée des irrégularités du diamètre.

Mesures électriques. — Une deuxième inductance identique à l'étalon a été réalisée, mais sans qu'on effectuât sur elle de mesures géométriques. Cette inductance a été comparée à l'étalon et a servi de base de référence pendant les mesures électriques, l'étalon ayant été transporté au Bureau International des Poids et Mesures. La méthode de Maxwell a été utilisée

pour la mesure des étalons d'inductance mutuelle utilisés dans le pont, ces étalons d'inductance mutuelle ayant au préalable fait l'objet d'une étude sur l'influence de la température. Un cycle de mesures électriques comporte les opérations suivantes :

- 1^o Mesure de M_1 et de \mathcal{L} en fonction de l'étalon secondaire.
- 2^o Équilibrage du dispositif de mesure de résistances.
- 3^o Mesure de M_1 et de \mathcal{L} en fonction de l'étalon secondaire.
- 4^o Comparaison des résistances employées aux étalons du Laboratoire.

Le courant de mesure utilisé avait une fréquence de 100 périodes par seconde.

Ce courant était obtenu de la façon suivante : Un courant de 1000 périodes par seconde provenant du diapason du Laboratoire National de Radioélectricité était envoyé par ligne téléphonique au Laboratoire. Ce courant filtré par un filtre mécanique synchronisait un multivibrateur à 100 périodes dont le courant filtré et amplifié servait à l'alimentation des appareils de mesure.

Une quinzaine de mesures électriques ont déjà été effectuées. Le calcul exact de la constante n'ayant pu être fait, vu l'impossibilité de tenir compte des irrégularités du pas, une valeur précise ne peut être indiquée.



ANNEXE E 7.

National Physical Laboratory.

DÉTERMINATIONS ABSOLUES DE L'OHM

I.

AU MOYEN DE LA MÉTHODE DE LORENZ

Par M. P. VIGOUREUX.

(Ce travail a été décrit en détail dans *N. P. L. Collected Researches*, vol. 24, 1936-1937, Mémoire 8. Le résumé suivant a été rédigé par l'auteur en vue de son insertion aux Procès-Verbaux).

L'appareil de Lorenz a été établi au National Physical Laboratory en 1912, par F. E. Smith, qui en a donné une description très complète quelque temps après ⁽¹⁾. Le travail a été repris vers 1928 par la construction de supports plus rigides SS (*fig. 1*) pour les microscopes MM serrés dans une barre d'invar B, et qui servent à mesurer la distance entre les bobines de l'appareil. Un appareil auxiliaire a aussi été construit, au moyen duquel l'ajustement de chaque bobine, coaxialement à l'axe de rotation des conducteurs mobiles, peut se faire avec beaucoup de facilité.

Après quelques mesures préliminaires de résistance électrique, les dimensions des quatre bobines d'inductance et le diamètre de chacun des deux disques ont été mesurés en 1933. Ces dimensions entrent dans le calcul de l'inductance mutuelle des bobines

⁽¹⁾ F. E. SMITH, *Phil. Trans. Roy. Soc., A*, vol. 214, 1914, p. 27; ou *N. P. L. Collected Researches*, vol. 9, Mémoire 13, p. 209.

et des circonférences des deux disques. Deux mesures de diamètre et six mesures de position axiale ont été faites sur chacune des 192 spires de chacune des quatre bobines, et des mesures supplémentaires ont été faites sur une des bobines toutes les 5 minutes pendant 35 minutes, lorsqu'elle supportait le courant normal de 2 ampères.

Depuis 1932, presque une centaine de mesures de résistance

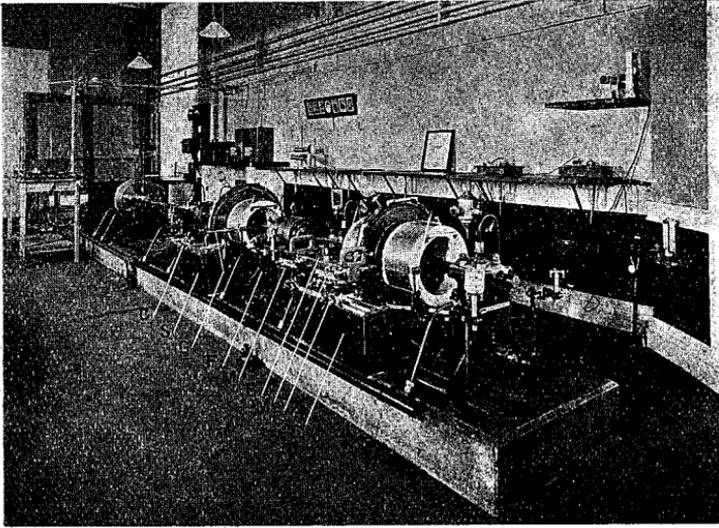


Fig. 1.

électrique ont été exécutées. Du résultat de ces mesures et de la considération des erreurs systématiques (dimensions des bobines d'induction, mesure de la distance qui les sépare, mesure du temps, comparaison des bobines de résistance) il ressort que l'ohm « international » conservé au National Physical Laboratory est égal à $1,00050 \pm 0,00003$ ohm absolu.

Ce résultat est indépendant de l'histoire passée de l'appareil. Le procédé normal est de faire quelques mesures de résistance électrique, d'enlever les bobines et d'en mesurer les dimensions, de les remettre en place et de faire encore quelques mesures de résistance. Le diamètre des disques est mesuré au commence-

ment d'une série de mesures électriques, et la distance entre les bobines est mesurée avant et après chaque détermination. On peut même aller plus loin, et dérouler les bobines et les enrouler avec du fil neuf avant de commencer une série de mesures. De cette façon, la détermination est rendue indépendante des mesures faites par le passé, et la stabilité des bobines n'entre pas en jeu. De même, au moyen du chronographe, la vitesse de rotation est reliée à la seconde par l'intermédiaire d'une horloge astronomique et des signaux des observatoires. Ainsi la résistance est obtenue directement en fonction du mètre, de la seconde et de la perméabilité magnétique de l'espace qui entoure les bobines. Cette perméabilité est supposée être égale à celle du vide. On sait qu'une telle supposition est légitime dans le cas de l'air; mais il est encore nécessaire de supposer que les matériaux de l'appareil n'ont pas subi de changement de perméabilité depuis son établissement. La probabilité d'un tel changement est d'ailleurs infime.

Les résultats obtenus avec l'appareil de Lorenz servent donc à suivre les changements des bobines de résistance. Les résultats donnés plus haut ne diffèrent que de 2 cent-millièmes de ceux obtenus par F. E. Smith en 1913. Comme cette différence n'est pas supérieure à l'exactitude assignée à chaque détermination, il est permis d'en déduire que les mesures n'ont indiqué aucun changement des bobines de résistance du National Physical Laboratory.

II.

AU MOYEN DE LA MÉTHODE DE CAMPBELL

Par MM. L. HARTSHORN et N. F. ASTBURY.

(Ce travail a été décrit dans *Phil. Trans. Roy. Soc., A*, vol. 236, p. 423, 1937. Le résumé suivant a été transmis par les auteurs.)

La méthode d'Albert Campbell est une méthode à courant alternatif, dans laquelle le produit de deux résistances est donné en fonction du produit de deux inductances mutuelles et du

carré de la fréquence. Le circuit dont on a fait usage est donné dans la figure 2, c'est une légère variante du circuit de Campbell, permettant l'élimination par la méthode de Wagner, des capacités entre la terre et les différentes parties du circuit.

Désignons par R la résistance du circuit secondaire fermé de la figure. En faisant varier M_2 et S il est possible d'obtenir un équilibre électrique parfait, et l'on a

$$Rr = \omega^2 M_1 M_2 (1 + \psi),$$

où ψ désigne la somme de petites corrections dues aux résis-

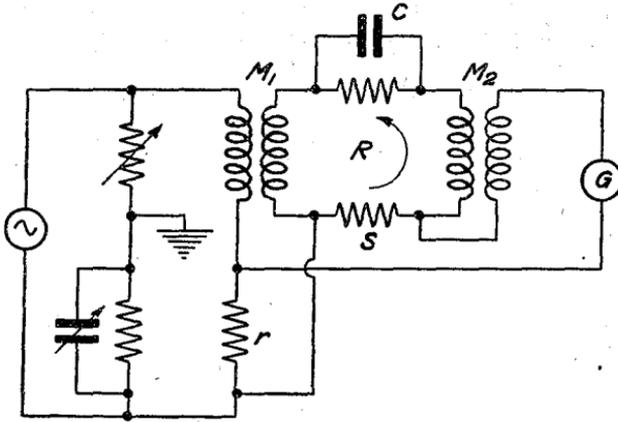


Fig. 2. — Circuit de Campbell avec mise à la terre de Wagner.

tances, inductances et capacités résiduelles de différentes parties du circuit.

Les deux inductances mutuelles sont rapportées à l'étalon d'inductance mutuelle de Campbell, dont la valeur est calculable d'après ses dimensions, et la fréquence $\omega/2\pi$ est rapportée à la seconde de temps par l'intermédiaire d'un chronographe et des signaux des observatoires. Les deux résistances sont comparées aux étalons primaires au moyen de ponts de Wheatstone et de Smith.

Les dimensions de l'étalon d'inductance mutuelle ont été mesurées en 1934, et la valeur de l'inductance a été calculée d'après ces dimensions. Mais on a voulu vérifier cette valeur;

dans ce but, on a construit un second étalon d'inductance mutuelle en se servant des bobines de l'appareil de Lorenz deux à deux, et d'une bobine secondaire analogue à celle de l'étalon de Campbell, et du même diamètre que les disques de l'appareil de Lorenz. La comparaison des deux étalons ainsi obtenus a fait voir que le henry donné par l'étalon de Campbell et le henry donné par l'étalon construit comme il vient d'être indiqué ne différaient que de 6 millièmes, chiffre très peu supérieur à la précision des mesures de comparaison.

Pour un certain nombre de mesures, la fréquence du courant alternatif a été réduite de moitié (de 100 à 50 périodes par seconde), sans que le résultat s'en trouvât changé.

Il ressort du travail décrit ici que l'ohm « international » conservé au National Physical Laboratory est égal à

$$1,000500 \pm 0,000015 \text{ ohm absolu.}$$

ANNEXE E 8.

National Physical Laboratory.

DÉTERMINATION ABSOLUE DE L'AMPÈRE

Par M. P. VIGOUREUX.

(Ce travail a été décrit dans *Phil. Trans. Roy. Soc.*, A, vol. 236, p. 133, 1936, et plus complètement dans *N. P. L. Collected Researches*, vol. 24, 1936-1937, Mémoire 7. Le résumé suivant a été transmis par l'auteur.)

La balance de courant a été montée au National Physical Laboratory en 1905, et a été décrite peu après ⁽¹⁾. Au cours des dix dernières années, la balance a été remise au point, et de nouvelles bobines ont été construites. Ces bobines, au nombre de quatre, sont faites de fil nu, enroulé dans un filetage pratiqué dans des cylindres de marbre. Dans la figure 3, on ne voit que les deux grandes bobines, les petites sont suspendues aux couteaux extrêmes du fléau, et pendent à l'intérieur des grandes bobines. Le mode de construction des bobines permet d'en mesurer les dimensions avec beaucoup de précision. Le diamètre et la position de chaque spire ont été mesurés en 1928 et en 1932, et des mesures de contrôle ont été faites en 1935. De plus, des mesures supplémentaires ont été exécutées lorsque les bobines supportaient le courant normal d'à peu près 1,02 ampère. Plus de 125 mesures indépendantes de courant électrique ont été faites de 1930 à 1936. Il ressort du résultat de ces mesures et de la considération des erreurs systématiques (dimensions des bobines, valeur du champ de gravitation, comparaison des bobines de résistance et des éléments étalons) que l'ampère « international » conservé au National Physical Laboratory est égal à

$0,99986 \pm 0,00003$ ampère absolu.

Comme nous l'avons expliqué dans le cas de l'appareil Lorenz ⁽¹⁾, ce résultat est indépendant de l'histoire passée de

(1) AYRTON, MATHER et SMITH, *Phil. Trans. Roy. Soc.*, A, vol. 207, 1908, p. 463; ou *N. P. L. Collected Researches*, vol. 4, 1908, Mémoire 1, p. 1.

l'appareil, et, pris de pair avec les mesures de résistance électrique, il sert à suivre les changements des éléments étalons, ou encore à déterminer le degré de précision avec lequel les éléments étalons peuvent être reproduits. Or, le résultat donné

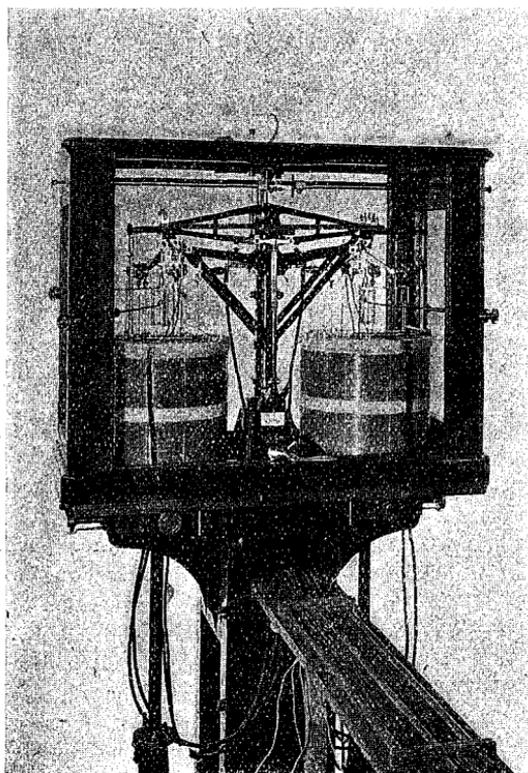


Fig. 3.

plus haut, ne diffère de celui obtenu en 1907 par Ayrton, Mather et Smith que de deux cent-millièmes, écart inférieur à l'exactitude assignée à chaque détermination. On en déduit qu'il n'y a pas de différence appréciable entre les éléments étalons construits récemment au National Physical Laboratory, et ceux construits par Smith au cours de ses recherches sur les unités électriques.

(¹) Voir p. 161.

ANNEXE E 9.

National Physical Laboratory.

I.

EFFET DU DÉFAUT DE PARALLÉLISME

DES

AXES DES BOBINES DE LA BALANCE DE COURANT

DU NATIONAL PHYSICAL LABORATORY

Par M. P. VIGOUREUX.

Lorsque toutes les spires de la bobine mobile d'une balance de courant sont très près les unes des autres, (type Rayleigh), et que les axes des bobines mobile et fixe se coupent à un angle φ au lieu de se trouver sur la même droite, l'attraction est donnée par une formule très simple. Si les axes se coupent dans le plan moyen de la bobine mobile, on a

$$F(\varphi) = F - \frac{1}{4} \varphi^2 b^2 \frac{\partial^2 F}{\partial b^2},$$

où b est le rayon moyen de la bobine mobile.

Pour la balance du National Physical Laboratory, le calcul de la formule est plus compliqué ⁽¹⁾, parce que la bobine mobile est en forme d'hélice de plusieurs centimètres de long, ce qui nécessite une intégration de plus; mais le résultat est aussi

⁽¹⁾ VIGOUREUX, *N. P. L. Collected Researches*, vol. 24, 1936-1937, Mémoire 7.

simple que dans le cas précédent. Après réduction, on trouve

$$F(\varphi) = F(1 - 0,35 \varphi^2).$$

Le nivellement des bobines se fait au moyen de niveaux d'eau fixés aux surfaces plates du haut des cylindres de marbre. La sensibilité des niveaux a été mesurée sur place par comparaison avec un niveau plus sensible, et l'on a trouvé que l'inclinaison était de $0,35 \cdot 10^{-3}$ radian par division pour les grosses bobines, et de $0,5 \cdot 10^{-3}$ radian pour les petites bobines. Dans la pratique le nivellement s'effectue avec une précision supérieure à une division des niveaux. Par conséquent, même si l'inclinaison des axes entre eux était égale à la somme de leurs inclinaisons avec la verticale, l'angle suivant lequel ils se coupent ne dépasserait pas $0,85 \cdot 10^{-3}$ radian.

Les axes des bobines ne sont pas nécessairement perpendiculaires aux surfaces du haut, mais l'inclinaison peut être calculée d'après les mesures de la position des dernières spires. Ces mesures ont été décrites dans le mémoire sur la balance ⁽¹⁾, où les résultats obtenus sont reproduits graphiquement dans les figures 17, 18 et 19. Les courbes donnant l'erreur de position en fonction de l'angle d'azimut sont des sinusoides, ce qui indique que dans tous les cas la normale à la surface du haut est inclinée sur l'axe. Désignant l'inclinaison par φ , le rayon de la bobine par a , et l'angle d'azimut par θ , l'équation de la courbe est

$$y = a\varphi \sin \theta.$$

Désignant ensuite par η l'écart entre les valeurs, maxima et minima, de y , on a

$$\varphi = \frac{\eta}{2a}.$$

Les courbes montrent que φ est négligeable dans tous les cylindres, à l'exception de l'un d'eux, pour lequel il reste cependant inférieur à $0,4 \cdot 10^{-3}$ radian.

Si l'on ajoute cet angle à celui qui est attribué plus haut à l'incertitude de nivellement, on voit que, dans le cas le plus défavorable, l'angle entre les axes demeure inférieur à $1,25 \cdot 10^{-3}$ radian. En appliquant alors la formule de l'attraction donnée

(1) *Loc. cit*

plus haut, on obtient 0,6 millionième comme limite supérieure de l'erreur pour l'attraction, soit 0,3 millionième pour la mesure de courant, du fait de l'incertitude du parallélisme des axes.

II.

EFFET DU CHAUFFAGE PAR LE COURANT ÉLECTRIQUE

DANS LES SPIRES
DE L'APPAREIL LORENZ ET DE LA BALANCE DE COURANT
DU NATIONAL PHYSICAL LABORATORY

Par M. P. VIGOUREUX.

Les spires de l'appareil Lorenz sont logées dans des rainures en hélice pratiquées dans des cylindres de marbre. Le diamètre du fil est à peu près de 0^{mm},56, l'enroulement a 160^{mm} de longueur et 192 spires. Le diamètre pris sur l'axe du fil est d'à peu près 358^{mm},8, le marbre a 45^{mm} d'épaisseur. Le courant normal pour les mesures de résistance est de 2 ampères, et 20 minutes suffisent aux mesures.

L'échauffement dû au courant électrique produit une dilatation du marbre, mais cette dilatation n'est pas uniforme, et la bobine prend une forme de tonneau. Dans le but de déterminer la loi de la dilatation, des mesures de diamètre ont été faites dans un plan axial sur des fils choisis exprès, à savoir les fils n^{os} 1, 13, 49 et 97. Les mesures ont été faites immédiatement avant la fermeture du courant, et ensuite toutes les 4 minutes pendant 35 minutes. On obtient ainsi le changement de forme de la bobine pour un temps quelconque de passage du courant. Il s'agit ensuite de calculer le changement de l'inductance mutuelle

de la bobine et du disque tournant de l'appareil en fonction du temps de passage du courant. Afin d'effectuer ce calcul, on suppose la bobine divisée en un certain nombre d'intervalles et l'on évalue pour chaque intervalle la quantité $n \frac{\partial M}{\partial a}$, où a est le rayon de la bobine, n le nombre de spires dans l'intervalle choisi, et M l'inductance mutuelle du disque tournant et d'un cercle de rayon a situé au milieu de l'intervalle. La dilatation δa du rayon du milieu de l'intervalle pour un temps quelconque de passage du courant est donnée par les mesures décrites ci-dessus, et l'on arrive au changement d'inductance cherché en faisant la somme

$$\delta \mathcal{N} = \Sigma n \delta a \left(\frac{\partial M}{\partial a} \right)$$

pour tous les intervalles dans lesquels on avait divisé la bobine. Dans le travail décrit ici, on avait pris neuf intervalles, dont le nombre de spires était 12, 12, 24, 24, 48, 24, 24, 12 et 12.

L'inductance change aussi avec la longueur de la bobine. Les changements de longueur dus à l'échauffement produit par le courant ont été mesurés, et l'on a pu ainsi calculer le changement total d'inductance en fonction du temps de passage du courant. Si d'ailleurs on avait négligé les changements de longueur, l'erreur commise n'aurait pas dépassé 6 pour 100.

Un thermomètre inséré dans un trou pratiqué dans le marbre donne aussi l'élévation de température en fonction du temps de passage du courant. En combinant ces deux résultats, c'est-à-dire l'augmentation d'inductance et l'élévation de température, on obtient le changement d'inductance en fonction de la hausse de température du thermomètre, lorsque le courant électrique circule dans l'enroulement. Mais le changement d'inductance correspondant à une hausse quelconque de la température du thermomètre pourrait aussi être produit par une élévation uniforme de la température de la bobine et de l'air qui l'entoure. Cette élévation est donnée par le coefficient différentiel $\frac{d\mathcal{N}}{dt}$, qui, dans le cas qui nous occupe, est égal à $280 \mu\mu\text{H}$ par degré. On peut alors construire le tableau suivant, qui donne dans la dernière colonne le rapport de la hausse de la température ambiante à la hausse de température du thermomètre.

TABLEAU.

Temps de passage du courant (minutes).	Hausse de température du thermomètre (degrés centig.).	Augmentation δM de l'inductance mutuelle ($\mu\mu H$).	Hausse de température ambiante correspondant à δM .	Rapport.
15.....	2,7	276	1,0	0,37
20.....	3,5	367	1,31	0,37
25.....	4,3	454	1,62	0,38
30.....	5,0	542	1,94	0,39
35.....	5,6	632	2,96	0,40

Le rapport se trouve être très proche de 0,38 pour toute hausse de température moindre que 5 degrés; or, dans la pratique, la hausse de température du thermomètre ne dépasse pas 4 degrés. Par conséquent la valeur d'inductance dont on doit se servir pour une détermination de résistance est celle qui correspond à une température ambiante uniforme de $t_1 + 0,38(t_2 - t_1)$, où t_1 et t_2 sont les températures du thermomètre au commencement et à la fin des mesures électriques. Si la température du marbre était proportionnelle au temps de passage du courant, et si le marbre se dilatait uniformément, le facteur dans l'expression ci-dessus serait 0,5 au lieu de 0,38.

Les bobines de la balance de courant sont du même type que celles de l'appareil Lorenz, mais elles se dilatent beaucoup moins parce que : 1° le courant n'est que de 1,02 ampère au lieu de 2 ampères; 2° le pas de l'enroulement est un peu plus grand; 3° les diamètres des bobines sont plus petits.

La dilatation produite par l'échauffement dû au courant a été mesurée (1); mais elle est trop petite pour qu'on puisse la déterminer avec précision dès la fermeture du circuit. Après une demi-heure, le changement de diamètre ne dépasse pas en moyenne un micron pour les petites bobines, et 2 microns pour les grandes bobines, tandis que dans l'appareil Lorenz le diamètre du milieu se dilate de 10 microns au bout de 35 minutes. Quant à l'augmentation de longueur, elle ne dépasse pas 1 micron. Tous ces changements sont d'ailleurs si petits qu'il n'est pas permis d'en déduire que les bobines se dilatent en forme de

(1) VIGOUREUX, *N. P. L. Coll. Res.*, vol. 24, 1936-1937, Mémoire 7.

tonneau plutôt qu'uniformément. Par conséquent, il est fort probable que le facteur correspondant à celui qui vient d'être calculé pour l'appareil Lorenz est beaucoup plus rapproché de 0,5 qu'il ne l'est pour cet appareil.

Dans la balance de courant, la hausse de température n'est pas la même pour les grandes bobines et les petites bobines, et il est plus simple d'appliquer les corrections séparément. Ces corrections sont évaluées, comme il est indiqué dans le Mémoire⁽¹⁾ sur la balance, et l'on trouve que, si la température de toutes les bobines immédiatement avant les mesures est t_1 , et les températures des grandes et des petites bobines immédiatement après sont t_2 et t_3 , et si, de plus, l'attraction par ampère a été calculée pour une température ambiante t_1 , l'attraction que l'on mesure doit être corrigée de $9k(t_2 - t_1) - 11,4k'(t_3 - t_1)$ millièmes. Pour les raisons données plus haut, les facteurs k et k' sont très proches de 0,5 et il est très improbable qu'ils puissent s'abaisser jusqu'à 0,4 ou s'élever jusqu'à 0,6. Pourtant, même si l'on prenait le cas le plus défavorable, c'est-à-dire si l'on supposait qu'un de ces facteurs fût égal à 0,4 et l'autre à 0,6 (et ce cas est extrêmement improbable), l'erreur dans le calcul de l'attraction ne surpasserait pas $0,9(t_2 - t_1) + 1,14(t_3 - t_1)$ millièmes. Or, l'expérience montre que, lors d'une mesure de courant, la hausse de température est à peu près 1,2 degré pour les grosses bobines, et 3 degrés pour les petites. Ces valeurs donneraient une erreur de 4,5 millièmes pour l'attraction, de sorte que l'incertitude de la correction à appliquer pour la hausse de température ne pourrait fausser la mesure de courant de plus de 2 millièmes. Mais, on l'a déjà dit, cette légère incertitude elle-même résulte des suppositions les plus défavorables.

(1) *Loc. cit.*

ANNEXE E 10.

Ministère des Communications de Tokio.
Laboratoire Électrotechnique.

PROPOSITIONS ET RAPPORTS

DU

GOUVERNEMENT JAPONAIS.

I. PROPOSITIONS.

1. A la réunion de la Huitième Conférence générale des Poids et Mesures ⁽¹⁾ de 1933, le délégué japonais s'est exprimé ainsi :

« Dans le cas où le système d'unités absolues serait mis en application, pour répondre aux vœux des pays où la Convention internationale sur les unités internationales actuelles adoptées à la Conférence de Londres de 1908 a été établie sous forme d'une loi, le Laboratoire Électrotechnique estimerait nécessaire que la Conférence générale des Poids et Mesures ou le Comité international des Poids et Mesures rédige un texte précis susceptible de servir de base à la modification de cette loi ».

Le Président nous a alors assuré que l'on tiendrait compte dans l'avenir de la suggestion présentée.

Le Laboratoire Électrotechnique demande que la nouvelle Convention internationale nécessaire pour modifier cette loi soit conclue à la prochaine réunion de la Conférence générale des Poids et Mesures de 1939.

2. Le Laboratoire Electrotechnique demande que la prochaine

⁽¹⁾ *Comptes rendus des Séances de la Huitième Conférence générale des Poids et Mesures*, p. 53 et 88.

Conférence générale des Poids et Mesures se réunisse au plus tard dans le début de l'année 1939; car un délai assez long est nécessaire pour préparer la modification de la loi en vue d'adopter définitivement les nouvelles unités électriques à partir du 1^{er} janvier 1940. S'il ne pouvait pas en être ainsi, il serait alors bien difficile d'adopter administrativement les nouvelles unités à partir de la date prévue dans tous les pays où, comme au Japon, la loi ne peut être modifiée qu'après approbation de la Diète.

3. Le Laboratoire Electrotechnique demande qu'avant la session du Comité international des Poids et Mesures de 1939, le Comité consultatif d'Électricité et le Sous-Comité technique se réunissent, et que les valeurs définitives des rapports entre les unités électriques nouvelles et anciennes soient déterminées.

4. Le Laboratoire Électrotechnique désire que les Gouvernements n'adoptent comme valeurs des nouvelles unités électriques que celles qui sont les moyennes des unités absolues des divers laboratoires nationaux, ces moyennes étant rapportées à une même unité, qui serait l'unité moyenne actuelle internationale des divers laboratoires, telle qu'elle a été déterminée au Bureau international des Poids et Mesures, comme il est montré dans la Résolution IV du Comité consultatif d'Électricité de 1935. Il demande également que le Comité international prenne les mesures nécessaires pour que ces valeurs des unités puissent étre corrigées de légères quantités en temps opportun.

II. MÉMORANDUM SUR LE SYSTÈME D'UNITÉS M. K. S.

La question du choix de la quatrième unité fondamentale du système d'unités M. K. S., lequel a été adopté à la réunion plénière de la Commission Internationale Electrotechnique de 1935, a été déjà discutée d'une façon suffisante à la réunion du Comité consultatif d'Électricité de 1935. Cependant, le délégué japonais avait dû, à cette occasion, se borner à exprimer ses opinions; en effet, cette question avait été introduite au dernier moment dans le programme de travail du Comité. Dans ces conditions, le Comité d'Étude des Unités électromagnétiques institué auprès du Comité japonais Electrotechnique a examiné la question du système M. K. S. et pris les résolutions suivantes qui sont soumises au Comité consultatif par le Laboratoire Électrotechnique.

Résolution 1. — Le Comité d'Étude décide l'adoption générale du système d'unités M. K. S. qu'il juge très commode au point de vue technique et pédagogique. Cependant, le système d'unités C. G. S. devra être naturellement maintenu pour les recherches scientifiques.

Résolution 2. — Le Comité d'Étude décide d'adopter le système M. K. S. Ω . comportant l'unité de résistance, ohm, mentionnée ci-dessous, comme quatrième unité fondamentale du système d'unités M. K. S.

Cette unité, ohm, devra être celle correspondant à 10^9 fois l'unité électromagnétique C. G. S. et devra être représentée par l'étalon conservé au Bureau international des Poids et Mesures. Mais, il faudrait corriger périodiquement les valeurs de cet étalon, tous les six ans, par exemple, en tenant compte d'une manière générale des résultats des mesures absolues faites par les laboratoires nationaux; en effet, il faudra corriger les valeurs de l'étalon au fur et à mesure que s'accroîtra la précision de la mesure absolue.

Résolution 3. — Le système d'unités M. K. S. qui adopte, dès le début, les ampères-tours comme unité de force magnétomotrice, n'est qu'un système (proprement dit) rationalisé dans lequel la perméabilité du vide μ_0 est $4\pi \cdot 10^{-7}$. Par conséquent, si l'on adopte le système d'unités M. K. S., il faut qu'on supprime toutes les démarcations qui existaient entre les systèmes rationalisé et non rationalisé. En adoptant, de plus, le système rationalisé proprement dit d'unités M. K. S., on doit chercher à éviter que le système M. K. S. perde ses qualités propres.

III. RAPPORT SUR LA DÉTERMINATION ABSOLUE DE LA RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE.

Les dimensions géométriques de l'étalon absolu d'induction mutuelle de Campbell employé comme base pour la détermination absolue de l'ohm, unité de résistance, ont été de nouveau mesurées, et en se basant sur les résultats, on a obtenu pour l'inductance, la valeur suivante :

10010,50 microhenry absolu à 18°C.

Cette valeur a été reportée sur l'étalon usuel; puis cet étalon

et le condensateur à air (capacité d'environ $0,1 \mu\text{F}$) étalonnés en fonction de l'ohm international et de la seconde du temps solaire moyen ont été mesurés au moyen du pont de Carey-Foster. Ainsi, l'étalon usuel évalué en henry absolu a été mesuré en henry international; il en est résulté la relation suivante entre l'ohm absolu et l'ohm international :

1 ohm international E. T. L. = $1,000455 \pm 20 \cdot 10^{-6}$ ohm absolu.

(Voir Annexe E 11.)

IV. RAPPORT SUR LA DÉTERMINATION ABSOLUE DE L'AMPÈRE.

Le Laboratoire Électrotechnique a commencé les mesures absolues du courant en 1929, suivant la méthode de la balance de courant qui est la plus précise des méthodes de mesures absolues du courant.

Cette balance, du type de Rayleigh, d'une force d'environ 2^{kg} , est ainsi construite : deux bobines fixes sont montées à une distance fixe l'une de l'autre dans un cadre en bois placé au-dessous du plateau droit de la balance; accrochée au plateau, une bobine mobile est suspendue à mi-hauteur des deux bobines fixes et suivant le même axe que ces bobines. On a fabriqué trois bobines fixes (rayon moyen environ 25^{cm} , nombre des spires : 2×647) et deux bobines mobiles (rayon moyen : environ $12^{\text{cm}},4$, nombre des spires : 2×70); tous les cadres des enroulements sont en silzbronze ou en laiton non magnétique; ils ont été usinés avec beaucoup de soin et ont subi un vieillissement suffisant avant de recevoir leur enroulement de fils de cuivre émaillé. La balance est disposée de telle façon que le poids d'environ 6^{s} peut être mis sur le plateau droit de la balance quand on inverse le sens du courant continu d'environ 790 milliampères qui parcourt les bobines fixes. Le rapport des rayons moyens effectifs des bobines fixes et mobiles nécessaire pour déterminer les valeurs de l'ampère a été mesuré d'une façon très minutieuse par la méthode de Bosscha.

La balance de courant placée au centre d'une salle de $4^{\text{m}} \times 5^{\text{m}} \times 3^{\text{m}}$ a été observée dans une salle voisine éloignée d'environ 5 mètres de ce centre. Sa sensibilité correspond à une déviation d'à peu près $2^{\text{cm}},5$ par 1^{mg} , de sorte que l'on a pu calculer facilement les valeurs de l'ampère jusqu'à 1 millionième. Le courant fourni

à la balance a été réglé de façon à ce qu'il y ait équilibre entre la force électromotrice d'une pile étalon et le potentiel entre les bornes d'un étalon de résistance d'environ 1,3 ohm intercalé dans le circuit des bobines. C'est ainsi que l'ampère a été déterminé en fonction de l'ampère international.

1 ampère international E. T. L. = 0,99995 ampère absolu.

(Voir Annexe E 12.)

V. RECHERCHES SUR LES ÉTALONS ÉLECTRIQUES.

1. *Étalons de résistance électrique en alliage de chrome et d'or.* — Le Laboratoire des matériaux métalliques de Sendaï a fabriqué, sur la demande du Laboratoire Électrotechnique, six sortes de fils de résistance de chrome et d'or, en utilisant la méthode décrite dans un rapport de M. J. L. Thomas du National Bureau of Standards; ce sont deux séries de fils ayant les diamètres de 0^{mm},9 (pour une bobine de 1 ohm) et de 0^{mm},5 (pour une bobine de 10 ohms) qui ont des teneurs en chrome de 1,9 pour 100, 2,1 pour 100 et 2,3 pour 100. En ce qui concerne les fils de résistance à 2,1 pour 100 de chrome, on a obtenu des valeurs d'environ 40 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ pour leurs résistances spécifiques et des valeurs presque nulles pour leurs coefficients de température après qu'ils eurent été étuvés pendant environ trente heures à la température de 150° C. Ce sont là presque les mêmes résultats que ceux du National Bureau of Standards. On a fabriqué pour essai une bobine de 1 ohm avec ces fils de résistance; mais on n'est pas encore en mesure d'affirmer la stabilité de cette bobine de résistance, comme elle vient d'être fabriquée.

2. *Éléments étalons comportant de l'eau lourde dans leur électrolyte.* — On a introduit, à raison de 1/250, 1/100 et 1/50 pour 100, de l'eau lourde ayant la pureté d'environ 100 pour 100 dans l'électrolyte des éléments étalons Weston saturés, et l'on a mesuré la force électromotrice et les coefficients de température.

(Voir Annexe E 13, II.)

ANNEXE E 11

Laboratoire Électrotechnique.

DÉTERMINATION ABSOLUE
DE LA RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE

Par M. R. YONEDA.

I. Introduction.

Le principe des mesures absolues de la résistance au Laboratoire Électrotechnique est de déterminer en henry international un étalon absolu d'inductance mutuelle et d'en déduire le rapport entre l'ohm absolu et l'ohm international.

II. Étalon absolu d'inductance mutuelle
et ses dimensions.

L'étalon absolu d'inductance mutuelle ⁽¹⁾ a été fabriqué au National Physical Laboratory et bienveillamment remis au Japon par le Gouvernement britannique. Son aspect est représenté dans la figure 1 (p. 181).

Ses dimensions ont été mesurées par les comparateurs qui sont décrits dans les *Procès-Verbaux* des séances 1935, p. 262-263. Les résultats de mesures sont donnés dans le Tableau I.

⁽¹⁾ *Collected Researches*, du National Physical Laboratory, Vol. XXI, 1927, Paper 1, p. 1-31.

TABLEAU I.

1. Coefficients de dilatation du cylindre :

a. Axial.....	6,4.10 ⁻⁶	par degré
b. Diamétral.....	3,6.10 ⁻⁶	par degré

2. Diamètre moyen des fils :

Pour chaque bobine (1).....	mm 0,6194
-----------------------------	--------------

3. Diamètres moyens des bobines à 18° C. :

	Sur les bobines. mm	Entre les axes. mm
Bobine A.....	300,6253	300,0059
Bobine B.....	300,6371	300,0177
Moyenne des bobines A et B.....	300,6312	300,0118

4. Espacement axial des bobines à 18° C. :

Distance moyenne des bobines à 18° C.....	mm 300,0453
---	----------------

5. Rayon moyen de l'enroulement secondaire (1). mm
257,12

III. Calcul des valeurs de l'inductance mutuelle.

Le calcul des valeurs de l'inductance mutuelle a été fait par une méthode presque identique à celle du National Physical Laboratory. Les résultats en sont donnés dans le Tableau II. On a corrigé ces résultats de la susceptibilité magnétique de la bobine d'inductance mutuelle dont la valeur a été déterminée sur un échantillon prélevé sur le support en marbre.

(1) Valeur du N. P. L., *Collected Researches*, Vol. XXI, 1927, Paper 1, p. 1-31.

TABLEAU II.

M_0 pour les 462 spires de l'enroulement secondaire.	9 945 741,97 ^{cm}
M pour les 3 spires additionnelles de l'enroulement secondaire.....	64 573,08
Corrections :	
Correction pour $\Lambda_0 - A$	— 0,03 ^{cm}
Correction pour la non-uniformité du rayon de l'enroulement primaire.....	44,56
Correction pour la non-uniformité du pas de l'enroulement primaire.....	291,70
Correction pour la section de l'enroulement secondaire.....	—65,14
Correction pour la susceptibilité magnétique de la bobine primaire.....	—86,00
	10 010 500,14

Valeur calculée de l'étalon d'inductance mutuelle :

$$10\ 010,500\ 14\ \mu\text{H} \text{ à } 18^\circ \text{ C.}$$

La valeur calculée de M_0 par les formules de Rosa (1) est plus grande de $0^{\text{cm}},82$, c'est-à-dire de $0,082 \cdot 10^{-6}$, que la valeur ci-dessus. Le coefficient de température de l'étalon d'inductance mutuelle a été trouvé égal à $11^{\text{cm}},4$ par degré C.

Pour pouvoir employer l'inductance mutuelle primaire en courant alternatif à basse fréquence on a déterminé l'augmentation de la valeur d'inductance mutuelle, le défaut de phase, la résistance effective, etc.

IV. Mesures électriques.

Les principales mesures électriques de la résistance sont divisées en trois parties : 1^o mesures de la capacité en fonction de l'ohm .

(1) Formules de Rosa, *Scientific Papers N. B. S.*, n^o 169, p. 101.

international; 2^o comparaisons de l'étalon absolu d'inductance mutuelle et de l'étalon usuel; 3^o comparaisons de l'étalon usuel d'inductance mutuelle et de la capacité. Pour ces mesures, on a utilisé les ponts électriques qui sont décrits dans les *Procès-Verbaux* de 1935, p. 266-268. Et en vue d'obtenir de meilleurs résultats, on a employé dans les ponts l'étalon usuel d'inductance mutuelle : la résistance de sa bobine secondaire, les coefficients

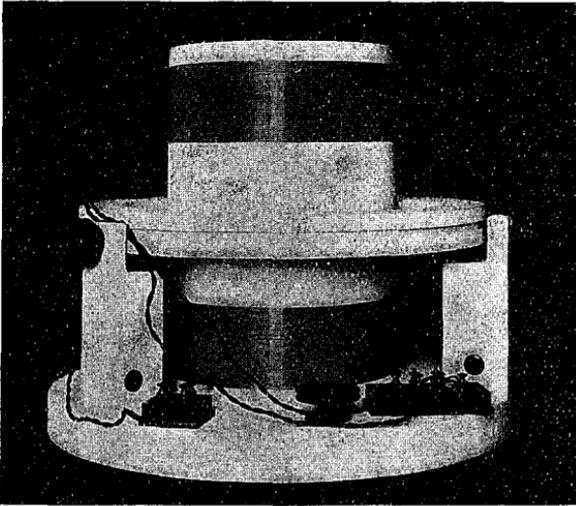


Fig. 1.

de fréquence, les défauts de phase et les coefficients de température présentait des valeurs aussi petites que possible.

Il est très difficile de faire disparaître complètement l'induction mutuelle de chaque branche dans le pont de Carey-Foster. En réalité l'induction mutuelle qui exerce la plus grande influence sur le résultat se produit entre l'inductance mutuelle et l'inductance de la branche contenant la source. Heureusement on peut évaluer cette influence expérimentalement en utilisant une petite inductance mutuelle. D'abord, on introduit aux bobines primaire ou secondaire de l'inductance mutuelle une petite inductance telle qu'elle est montrée dans la figure 2 et l'on désigne M_I , M_{II} chaque lecture des équilibres obtenus en démontant le principal condensateur. Et puis on donne la lecture de M_{III} pour tous les deux

primaire et secondaire remplacés par les petites inductances mutuelles. Alors, la correction au moyen de l'inductance mutuelle est donnée par la relation

$$\Delta S = (M_I + M_{II} - M_{III}).$$

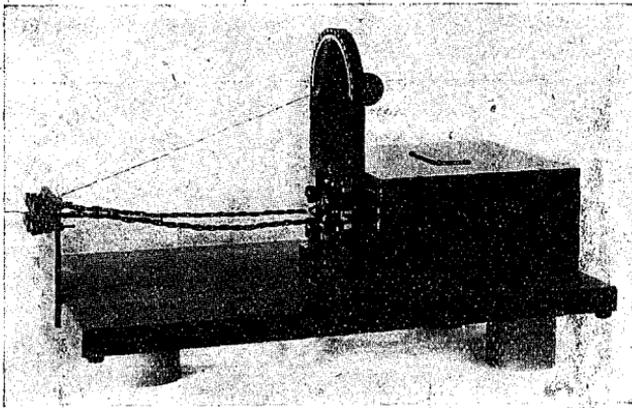


Fig. 2.

TABLEAU III.

Groupe I ($C = 0, 1 \mu F, Q = 100 \Omega$).

Fréquence.	Inductance mutuelle		Rapport.	Écart par rapport à la valeur moyenne.
	en millihenry international de l'E. T. L.	en millihenry absolu.		
15.....	10,00386	10,00844	1,000458	+ 3 $\cdot 10^{-6}$
15.....	375	822	447	- 8
15.....	382	841	459	+ 4
92.....	389	856	467	+12
92.....	405	858	453	- 2
92.....	412	858	446	- 9
15.....	397	846	449	- 6
92.....	405	855	450	- 5
15.....	417	876	459	+ 4
15.....	414	859	445	-10
92.....	404	862	458	+ 3
92.....	391	855	464	+ 9
Moyenne.....			1,000454 ₅	$\pm 6,2 \cdot 10^{-6}$

TABLEAU III (suite).
Groupe II (C = 0,1 μ F, Q = 200 Ω).

Fréquence.	Inductance mutuelle		Rapport.	Écart par rapport à la valeur moyenne
	en millihenry international de l'E. T. L.	en millihenry absolu.		
15.....	10,00365	10,00818	1,000453	- 2 $\cdot 10^{-6}$
15.....	371	836	465	+ 10
92.....	397	860	463	+ 8
92.....	405	854	449	- 6
92.....	414	859	445	- 10
15.....	392	841	449	- 6
92.....	410	861	451	- 4
15.....	410	870	460	+ 5
15.....	414	867	453	- 2
15.....	412	870	458	+ 3
92.....	388	847	459	+ 4
	Moyenne.....		1,000455 ₀	$\pm 5,4 \cdot 10^{-6}$
	Moyenne générale.....		1,000455	± 6
	Erreur probable des 23 mesures ci-dessus...			$\pm 0,94 \cdot 10^{-6}$

V. Résultats obtenus.

On a fait les 23 mesures indépendantes de mars à avril 1935. Les mesures ont été exécutées alternativement dans les quatre combinaisons possibles des deux fréquences et des deux conditions des ponts, c'est-à-dire Q = 100 Ω et Q = 200 Ω . Leurs résultats sont donnés dans le Tableau III, et si l'on calcule les moyennes d'après les fréquences pour mettre en évidence les erreurs systématiques, on verra, dans le Tableau IV, que les deux moyennes sont très concordantes.

TABLEAU IV.

Nombre de mesures.	Fréquence.	Rapport.	Écart.
I2.....	15	1,000455	5,2 $\cdot 10^{-6}$
II.....	92	1,000455	6,5
	Moyenne.....	1,000455	

Les erreurs probables des mesures absolues de la résistance sont présentées dans le Tableau V.

TABLÉAU V.

*Mesures des dimensions géométriques
des inductances mutuelles :*

	Erreurs probables.
Diamètre primaire.....	$\pm 7.10^{-6}$
Longueur axiale.....	± 6
Diamètre secondaire.....	± 0
Section secondaire.....	± 3
Total.....	$\pm 16.10^{-6}$
<hr/>	
<i>Mesure électrique.....</i>	$\pm 1.10^{-6}$
Total.....	$\pm 17.10^{-6}$

Par conséquent, le résultat final est donné par la relation suivante :

1 ohm international E. T. L. = $1,000\ 455 \pm 20.10^{-6}$ ohm absolu.

ANNEXE E 12

Laboratoire Électrotechnique.

DÉTERMINATION ABSOLUE DU COURANT

Par MM. R. YONEDA et Y. ISHIBASHI.

I. — Introduction.

Pour la détermination absolue du courant, le Laboratoire Electrotechnique a adopté la méthode de la balance de courant, méthode la plus précise de toutes celles proposées dans ce but. Les rapports des rayons moyens effectifs des bobines ont été mesurés électromagnétiquement au moyen de la méthode de M. Bosscha.

II. — Balance.

La figure 1 représente la balance et la figure 2 le montage des bobines disposées au-dessous de cette balance. Les matériaux utilisés sont le silzinbronze, le bronze ou le bronze phosphoreux. Ils ont tous été trouvés suffisamment non magnétiques par un magnétomètre astatique.

Cette balance, dont un bras est de 24^{cm} de longueur et la capacité de 2^{kg}, a été disposée spécialement de façon à permettre la manipulation des poids à distance, sans ouvrir les portes de la balance. On utilise comme conducteurs pour la bobine mobile, des fils de cuivre de 13^{cm} de longueur, n° 30 S. W. G. Pour le courant, les conducteurs sont constitués par 30 de ces fils, et pour le potentiel de 4. La sensibilité de la balance est de 2^{cm},5 par 1^{ms} à la distance de 5^m; elle est suffisante pour obtenir des résultats de mesures avec une exactitude de l'ordre de 10⁻⁶.

Les deux bobines fixes sont supportées par trois colonnes et maintenues à un écartement bien déterminé au moyen de trois pièces ajustées aux cotes théoriques. La bobine mobile est sus-

pendue par un tube au plateau de droite de la balance et maintenue horizontalement par les vis de calage. Pour centrer la

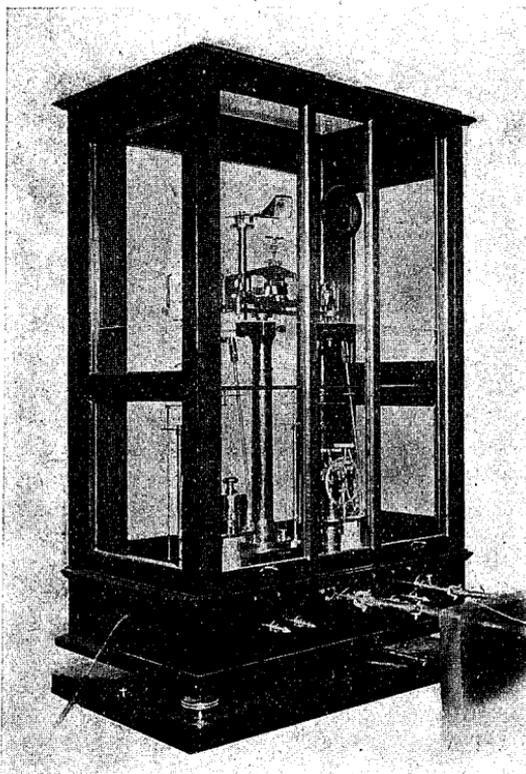


Fig. 1.

bobine mobile par rapport aux bobines fixes, la balance est placée sur deux tablettes qui se déplacent dans deux directions rectangulaires.

III. — Bobines fixes et mobiles; leurs dimensions.

On a fabriqué trois bobines fixes et deux bobines mobiles en silzinbronze et en laiton. La susceptibilité magnétique de ces matériaux étant de l'ordre de $0,2 \cdot 10^{-6}$, on peut négliger son

influence sur les résultats de mesures. Après avoir fait subir un bon vieillissement aux cadres, on a bobiné bifilairement un fil de cuivre émaillé non magnétique, avec une tension constante d'environ 1^{kg}. L'isolement de ces bobines est très bon : entre les

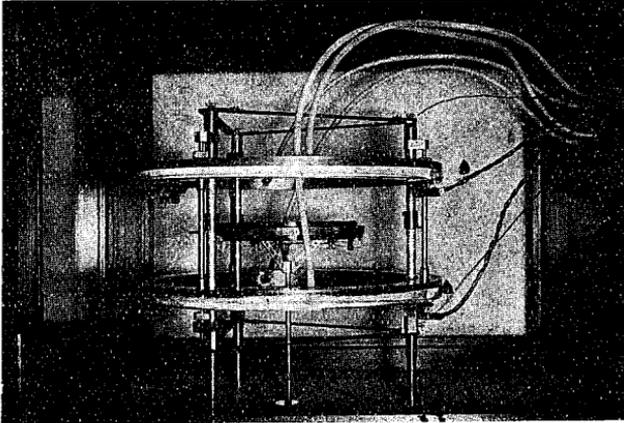


Fig. 2.

fil et le cadre, la résistance est de plus de 1000 mégohms. Les principales dimensions des bobines sont données dans le Tableau I.

TABLEAU I.

Symbole.	Nombre de spires.	Rayon. cm	Profondeur radiale. cm	Longueur axiale. cm	Diamètre du fil émaillé. cm
M ₂	2 × 70	12,436	0,9653	1,0554	0,084
M ₃	2 × 70	12,432	0,9751	1,0517	»
F ₁	2 × 647	25,063	2,1140	2,1399	0,058
F ₂	2 × 647	25,053	2,0964	2,1368	»
F ₃	2 × 647	25,024	2,0589	2,1543	»

Pour mesurer le rapport entre les rayons d'une bobine fixe et d'une bobine mobile, on a employé un dispositif de réglage qui a été signalé dans les *Procès-Verbaux* du Comité international de 1935. Les réglages ont été faits électromagnétiquement. On a mesuré les coefficients de température et de charge des rapports et l'on en a déduit les rapports aux conditions normales.

On a appliqué ensuite les corrections pour la longueur de l'aimant et pour les sections finies des bobines. Le Tableau II donne les rapports corrigés.

TABLEAU II.

F ₁ — M ₂	0,496 116 0
F ₂ — M ₃	0,495 734 9
F ₂ — M ₂	0,496 410 4
F ₂ — M ₃	0,496 033 0
F ₃ — M ₂	0,497 151 0
F ₃ — M ₃	0,496 768 4

Les valeurs de M₂/M₃ déduites des résultats du Tableau II par l'intermédiaire de F₁ F₂ F₃ sont les suivantes :

TABLEAU III.

Bobines intermédiaires.	M ₂ /M ₃ .	Ecart par rapport à la valeur moyenne.
F ₁	1,000 769	+ 2,3. 10 ⁻⁶
F ₂	1,000 761	— 5,7
F ₃	<u>1,000 770</u>	<u>+ 3,3</u>
Valeur moyenne.	1,000 766 7	<u>± 3,8. 10⁻⁶</u>

En supposant que la valeur moyenne de M₂/M₃ soit correcte, on a déduit les rapports finals qui sont indiqués dans le Tableau IV.

TABLEAU IV.

Combinaisons.	Rapport des rayons (α).
F ₁ — M ₂	0,496 115 5
F ₁ — M ₃	0,495 735 4
F ₂ — M ₂	0,496 411 9
F ₂ — M ₃	0,496 031 5
F ₃ — M ₂	0,497 150 1
F ₃ — M ₃	0,496 769 5

On a calculé, en utilisant les valeurs finales des rapports des rayons dans le Tableau IV, la force maximum entre les bobines, lorsque les deux bobines fixes et une bobine mobile ont été traversées par un courant exprimé en unité électromagnétique

C. G. S. On a utilisé une formule indiquée par MM. H. L. Curtis et R. W. Curtis ⁽¹⁾ et dans le calcul des intégrales elliptiques, on a employé la méthode des séries arithmético-géométriques, sans recourir à aucune table parue jusqu'ici. De plus, pour comparer les valeurs, on a employé la méthode d'interpolation en appliquant une table de valeurs qui se trouve dans l'appendice de la publication du N. B. S. ⁽²⁾. Les valeurs obtenues par les deux méthodes coïncident à 10^{-7} près.

IV. — Mesures électriques.

Les deux bobines fixes de la balance de courant sont disposées coaxialement et elles ont été nivelées au moyen de vis. Pour mettre les bobines fixes et mobile dans la position coaxiale, on a déplacé horizontalement la bobine mobile dans les deux directions horizontales en faisant passer un courant défini et l'on a placé la bobine mobile au point minimum de la somme des forces; pour situer la bobine mobile au milieu des deux bobines fixes, on l'a déplacée dans la direction verticale et l'on a mis la bobine au point maximum de la somme des forces. Si l'on fait les mesures de la force, le courant qui passe est obtenu en ampère absolu en utilisant la force calculée et la pesanteur. La pesanteur au Laboratoire Électrotechnique est déduite de celle du Laboratoire de Physique à l'Université Impériale de Tokio, laquelle a été directement comparée avec celle de Potsdam. En même temps, on a mesuré le courant en fonction des unités internationales de l'E. T. L., en comparant la différence de potentiel qui a été produite entre les bornes de la résistance et la force électromotrice de l'élément Weston.

V. — Résultats.

Trois bobines fixes et deux bobines mobiles peuvent donner lieu à six combinaisons; mais on n'a fait que les quatre combinaisons ci-dessous.

Le Tableau V montre les résultats des mesures.

⁽¹⁾ H. L. CURTIS et R. W. CURTIS, *J. of R. N. B. S.*, juin 1934, p. 684-686.

⁽²⁾ E. B. ROSA, N. E. DORSEY et J. M. MILLER, *Bulletin N. B. S.*, 8, n° 2, juin 1912, p. 392-393.

TABLEAU V.

Bobines fixes.	Bobine mobile.	Nombre de mesures.	$\frac{I_{E.T.L.} - I_A}{I_A}$	Rapport entre l'ampère international de l'E. T. L. et l'ampère absolu.	Écart par rapport la valeur moyenne.
F ₁ — F ₂	M ₂	11	87. 10 ⁻⁶	0,999 91 ₃	-36. 10 ⁻⁶
F ₁ — F ₂	M ₃	10	16 »	0,999 98 ₄	+35 »
F ₁ — F ₃	M ₃	5	11 »	0,999 98 ₉	+40 »
F ₁ — F ₃	M ₂	5	89 »	0,999 91 ₁	-38 »
Valeur moyenne.....				0,999 94 ₉	±37. 10 ⁻⁶

On donne ci-dessous le rapport entre l'ampère international qui est défini en fonction de l'ohm international et du volt international du Laboratoire Électrotechnique, et l'ampère absolu.

1 ampère international E. T. L. = 0,999 94₉ ampère absolu.

ANNEXE E 13.

Laboratoire Électrotechnique.

RECHERCHES
SUR LES ÉTALONS ÉLECTRIQUES

Par M. RINKICHI YONEDA.

I. — Étalons de résistance électrique en alliage
de chrome et d'or (1).

La figure (p. 192) montre une bobine de résistance de 1 ohm faite avec les fils qui sont spécifiés dans les Propositions et Rapports du Gouvernement japonais; ces fils de résistance sont enroulés autour d'un cylindre en silice fondue, qui est scellé dans un tube de verre rempli d'azote.

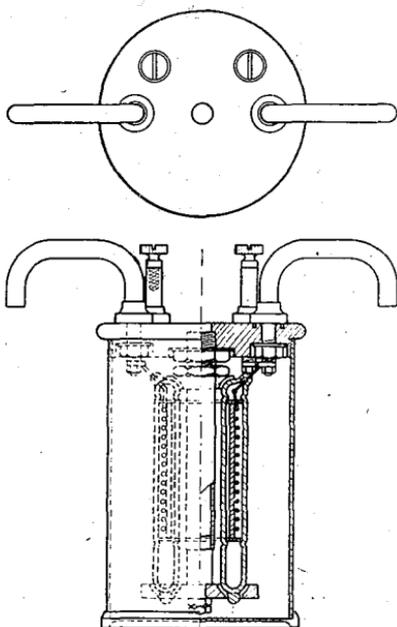
II. — Éléments étalons comportant de l'eau
lourde dans leur électrolyte.

Étant donnée la teneur variable de l'eau naturelle en eau lourde, il nous a paru intéressant d'étudier l'influence de l'eau lourde contenue dans l'électrolyte des éléments Weston sur leur force électromotrice, leur coefficient de température et leur stabilité.

Dans cette étude, suggérée par M. le Dr Hantaro Nagaoka, on a d'abord mélangé, dans l'eau distillée ordinaire, à raison de 1/200, 1/100 et 1/50 pour 100, de l'eau lourde présentant une pureté d'environ 100 pour 100. Puis on a préparé la solution saturée en employant les cristaux pulvérisés de $\text{CdSO}_4 \cdot \frac{8}{3} \text{H}_2\text{O}$ et de l'eau distillée additionnée d'eau lourde. Les forces électromotrices à 20°C sont les suivantes :

(1) M. J. L. THOMAS, *Journal of Research*, N. B. S., vol. 13, nov. 1934, p. 681-688.

Numéros des éléments.	Force électromotrice à 20° C.	Différence entre les éléments à eau lourde et ordinaire
Éléments 481, 482 ordinaires..	1,018322 volt	0 μ V
Étalon D ₁ à 1/250 pour 100 d'eau lourde.....	1,018318 »	— 4 »
Étalon D ₂ à 1/100 pour 100 d'eau lourde.....	1,018301 »	— 11 »
Étalon D ₃ à 1/50 pour 100 d'eau lourde.....	1,018295 »	— 27 »



Bobine de 1 ohm formée d'un fil de résistance enroulé sur un cylindre de silice fondue scellé dans un tube de verre rempli d'azote.

La force électromotrice des éléments étalons a une tendance à diminuer graduellement à mesure que la teneur en eau lourde augmente. Au contraire, les coefficients thermiques ne sont pas influencés par la présence d'eau lourde.



ANNEXE E 44.

Bureau International des Poids et Mesures.

RAPPORT

SUR LES

COMPARAISONS DES ÉTALONS NATIONAUX
DE RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE

(Nov.-Déc. 1936),

Par MM. A. PÉRARD et M. ROMANOWSKI.

En novembre et décembre 1936, le Bureau international a effectué la sixième comparaison des étalons nationaux de résistance. Les étalons qui ont pris part à cette étude comme représentant les unités des divers laboratoires, et qui sont tous du modèle à bornes de potentiel, figurent dans le tableau ci-dessous :

ÉTALONS (1).			
Origine.	Primaire.	Secondaire.	Symbole de l'unité.
P. T. R. de Berlin.....	R (3751)	R'' (2836)	Ω_A
N. B. S. de Washington.	S ₁ (78)	S ₂ (77)	Ω_E
L. C. E. de Paris.....	C' (3962)	C'' (7414)	Ω_F
N. P. L. de Teddington.	N (645)	N' (643)	Ω_G
E. T. L. de Tokio.....	E ₁ (34054)	E ₂ (34050)	Ω_J
I. M. de Léninegrad.....	M (6)	M' (8)	Ω_U

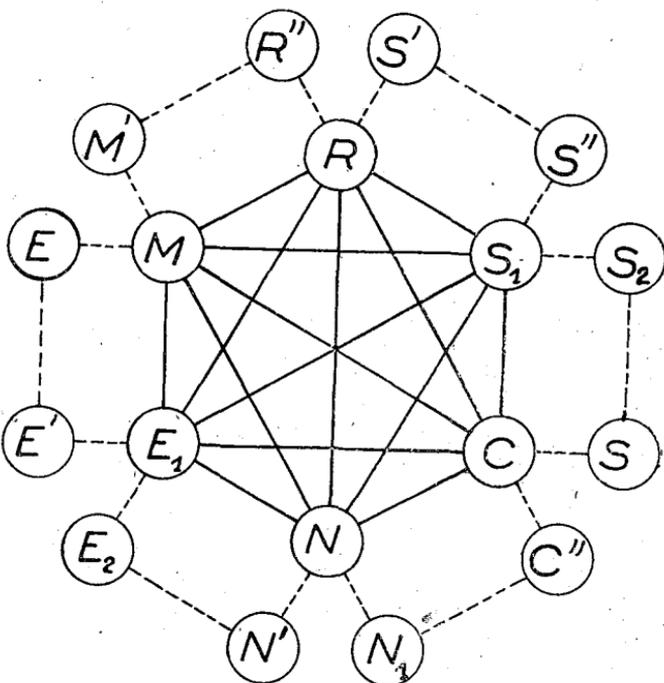
(1) Le partage en étalons primaires et secondaires n'est pas fait d'après une règle fixe : sont considérés comme primaires les étalons qui s'écartent le moins les uns des autres, ou qui ont fait preuve d'une meilleure stabilité.

A l'ensemble de ces étalons étaient adjoints, à titre de témoins, les six ohms suivants :

E (2906) et E' (2905), parvenus de l'E. T. L., en même temps que les étalons principaux de ce laboratoire, et qui sont les seuls étalons dépourvus de bornes de potentiel.

S (85), S' (86), S'' (87) du N. B. S. et N₁ (717) du N. P. L. qui sont en dépôt permanent au Bureau international.

En outre, plusieurs ohms appartenant au Bureau international



Comparaisons exécutées entre les ohms-étalons deux à deux : R, S₁, C', N, E₁, M, étalons primaires; R'', S₂, C'', N', E₂, M', étalons secondaires; S, S', S'', N₁, E, E', étalons témoins.

ont été rattachés à l'ensemble des ohms nationaux principaux par l'intermédiaire des ohms témoins.

Le schéma [des intercomparaisons (*fig.* ci-dessus)] a été semblable à celui des travaux analogues précédents. Les étalons

primaires ont été en particulier comparés entre eux dans toutes les combinaisons possibles. Les étalons secondaires ont été rattachés aux étalons primaires par des comparaisons figurant en pointillé sur le schéma.

L'installation du pont double avait été transférée de la salle XV à la nouvelle salle XVI; mais son organisation générale est restée inchangée depuis qu'elle a été décrite en détail dans nos rapports de 1933 et 1935 (*Procès-Verbaux du Comité international des Poids et Mesures*, t. XVI, p. 70, et t. XVII, p. 279). Toutefois, l'appareil qui supporte les godets à mercure où viennent plonger les bras adducteurs du courant des étalons a été entièrement reconstruit. Le nouvel appareil est tout en cuivre rouge et présente les deux caractéristiques suivantes, qui constituent des améliorations notables sur l'appareil précédent :

- 1° Très faible résistance du conducteur qui relie l'ohm tare à l'ohm mesuré;
- 2° Entrée et sortie axiales (par le fond) des courants dans les godets à mercure.

En plus des godets ordinaires, l'appareil possède deux godets supplémentaires munis de bornes de potentiel, pour la détermination des ohms qui en sont dépourvus. Les détails des opérations dans chaque « série », c'est-à-dire dans chaque comparaison des deux ohms entre eux, la symétrie des opérations de l'aller et du retour par rapport au jour central, et tous les détails pratiques (réglages, agitation de l'huile, etc.) ont été l'objet de soins non moins assidus que lors de tous les travaux précédents. Comme innovations, signalons les trois points suivants :

- 1° La température de la salle a été maintenue pendant toute la durée des comparaisons très légèrement en dessous de 20°C. Le bain d'huile a été réchauffé chaque matin de façon à présenter, lors des opérations de l'aller, les températures aussi proches que possible de 20°C., et, lors des opérations du retour, des températures symétriques par rapport à ce point. Le rôle des coefficients thermiques a été ainsi réduit au minimum. L'écart entre la cuve et l'air de la salle se maintenait toute la journée, grâce à la seule présence de l'observateur près des appareils et la chaleur apportée à l'huile par le courant de mesure.

- 2° La boîte qui sert de shunt aux ohms mesurés a été révisée

par son constructeur et ses bobines ont été ensuite soigneusement étalonnées au Bureau en fonction de l'ohm international moyen.

3^o A la suite d'un échange d'idées avec le N. B. S., un des observateurs a utilisé comme intensité du courant principal 0,10 A et l'autre 0,14 A (énergies dissipées dans les ohms, égales respectivement à 0,01 et à 0,02 watt). La presque identité des résultats obtenus par les deux observateurs montre qu'il n'y a aucune influence sensible de l'intensité du courant sur les résultats obtenus, et cela malgré la diversité des modèles mis en présence.

Pour autant qu'il est légitime de baser la discussion de la précision d'une mesure sur la grandeur des erreurs résiduelles, on peut dire que cette sixième intercomparaison a été sensiblement meilleure que les précédentes. En ce qui concerne les ohms primaires, aucune erreur résiduelle ne dépasse $0,16 \mu\Omega$, contre des erreurs de $0,33 \mu\Omega$ dans les comparaisons de 1935; parmi les comparaisons des étalons secondaires et des témoins, l'une atteint à peine $0,20 \mu\Omega$. Le fait que l'Electrotechnical Laboratory était aussi représenté cette fois par des ohms à bornes de potentiel, a certainement été un facteur favorable à l'amélioration des concordances.

Il est intéressant de constater que si certains étalons ont fait preuve, pendant les deux mois de nos mesures, d'une stabilité remarquable, d'autres ont paru varier de plusieurs microhms. Ces variations ont été toutefois si rigoureusement proportionnelles au temps que, grâce à la symétrie très stricte des opérations, elles n'ont eu aucune influence perturbatrice sur la précision générale.

RÉSULTATS.

Ayant d'exposer le principe du calcul des unités nationales par rapport à l'unité moyenne Ω_M (dont la définition est rappelée plus bas), nous donnons les deux tableaux où sont indiqués les écarts, tels qu'ils résultent de nos expériences, des étalons nationaux par rapport à la moyenne A_6 des ohms primaires, et les valeurs interpolées au 4 décembre 1936 des étalons en leurs unités nationales respectives. Cette interpolation est faite proportionnellement au temps, entre les deux valeurs fournies par les laboratoires nationaux eux-mêmes, d'après les dates de leurs expériences exécutées avant et après les nôtres.

TABLEAU I.

Écart des étalons nationaux par rapport à A₆.

Étalons.	Pérard 0,10 A.	Romanowski 0,14 A.	Moyenne.
<i>Primaires.</i>			
R (3751)...	+ 92,57 μΩ	+ 92,54 μΩ	+ 92,56 μΩ
S ₁ (78).....	-426,08	-426,13	-426,10
C' (3962)...	+123,57	+123,64	+123,60
N (645).....	+ 54,83	+ 54,78	+ 54,80
E ₁ (34054)...	+136,86	+136,92	+136,89
M (6).....	+ 18,25	+ 18,25	+ 18,25
<i>Secondaires.</i>			
R'' (2836)...	+213,33	+213,63	+213,48
S ₂ (77).....	-431,52	-431,62	-431,57
C'' (7414)...	+ 96,51	+ 96,92	+ 96,72
N' (643)....	+ 5,90	+ 5,82	+ 5,86
E ₂ (34050)...	+158,52	+158,72	+158,62
M' (8).....	+ 7,46	+ 7,44	+ 7,45

TABLEAU II.

*Valeurs des étalons nationaux interpolées
à la date du 4 décembre 1936.*

	31 oct. 1936.	8 février 1937.	4 déc. 1936.
R (3751)...	1,000 032 2	1,000 032 9	1,000 032 44 Ω _A
R'' (2836)...	1,000 151 7	1,000 155 6	1,000 153 03
	15 oct. 1936.	10 février 1937.	
S ₁ (78).....	0,999 524 0	0,999 524 5	0,999 524 21 Ω _E
S ₂ (77).....	0,999 518 0	0,999 518 5	0,999 518 21
	13 nov. 1936.	27 mars 1937.	
C' (3962)...	1,000 068 7	1,000 070 9	1,000 069 04 Ω _F
C'' (7414) ⁽¹⁾ .	1,000 034 6	1,000 028 5	1,000 033 64

(1) La variation de l'ohm C''(7414) ayant été considérée comme anormale, cet ohm a été, d'un commun accord avec le L. C. E., éliminé des calculs des unités nationales.

	15 août 1936.	8 mars 1937.	
N (645)....	1,000 004 0	1,000 006 0	1,000 005 09 Ω_G
N' (643)....	0,999 955 0	0,999 957 0	0,999 956 09
	1 ^{er} sept. 1936.	23 avril 1937.	
E ₁ (34054)..	1,000 090 3	1,000 095 8	1,000 092 51 Ω_J
E ₂ (34050)..	1,000 115 0	1,000 116 8	1,000 115 72
	26 oct. 1936.	11 février 1937.	
M (6).....	0,999 965 1	0,999 964 9	0,999 965 03 Ω_U
M' (8).....	0,999 954 2	0,999 954 4	0,999 954 27

Calcul des unités nationales.

Dans l'additif de notre rapport de 1935 (voir page 290) figure le tableau des unités nationales rapportées à la date du 15 mars 1935.

Allemagne.....	$\Omega_A = \Omega_M + 9,8 \cdot 10^{-6}$
États-Unis.....	$\Omega_E = - 5,5$
Grande-Bretagne.....	$\Omega_G = - 3,6$
Japon.....	$\Omega_J = - 11,2$
U. R. S. S.....	$\Omega_U = + 10,6$
France.....	$\Omega_F = + 69,5$

Ω_M était temporairement définie comme l'unité moyenne des cinq Laboratoires dont les unités étaient les plus voisines entre elles. Mais, après que le Laboratoire Central d'Électricité a modifié son unité de $- 69,5 \mu \Omega$, de façon à la faire coïncider avec cette moyenne Ω_M , Ω_M est redevenue l'unité moyenne des six laboratoires à la date du 15 mars 1935, et c'est à ce titre qu'elle continuera à figurer dans nos calculs. Il est bien évident qu'après cette date les six unités ont continué à dériver légèrement les unes par rapport aux autres; et nous admettrons que cette unité Ω_M reste conservée par la tenue moyenne des unités de ces six laboratoires.

Depuis le mois de mars 1935, l'Institut de Métrologie de Léningrad s'est rallié à cette même unité moyenne et a exprimé en Ω_M les valeurs des étalons qu'il nous a fait parvenir, de sorte que nous pouvons admettre, à une date immédiatement postérieure au 15 mars 1935, la répartition suivante des unités natio-

males de résistance

$$\begin{aligned} \Omega_A &= \Omega_M + 9,8 \cdot 10^{-6} \\ \Omega_E &= - 5,5 \\ \Omega_F &= 0,0 \\ \Omega_G &= - 3,6 \\ \Omega_J &= - 11,2 \\ \Omega_U &= 0,0 \end{aligned}$$

A la date du 4 décembre 1936, et en se rapportant toujours à Ω_M défini comme il est dit plus haut, la répartition, résultant des comparaisons dont il vient d'être rendu compte, devient celle qui est indiquée dans le Tableau III ci-dessous.

TABLEAU III.

Valeurs des unités nationales au 4 décembre 1936.

Allemagne.....	$\Omega_A = \Omega_M + 6,6 \cdot 10^{-6}$
États-Unis.....	$\Omega_E = - 3,7$
France.....	$\Omega_F = + 0,9$
Grande-Bretagne.....	$\Omega_G = - 3,9$
Japon.....	$\Omega_J = - 10,0$
U. R. S. S.....	$\Omega_U = - 0,4$

TABLEAU IV.

Valeurs des étalons exprimées en fonction de Ω_M à la date du 4 décembre 1936.

<i>Étalons primaires.</i>	<i>Étalons secondaires.</i>
R (3751) = 1,000 038 9 Ω_M	R'' (2836) = 1,000 159 8 Ω_M
S ₁ (78) = 0,999 520 3	S ₂ (77) = 0,999 514 8
C' (3962) = 1,000 070 0	C'' (7414) = 1,000 043 1
N (645) = 1,000 001 2	N' (643) = 0,999 952 2
E ₁ (34054) = 1,000 083 2	E ₂ (34050) = 1,000 105 0
M (6) = 0,999 964 6	M' (8) = 0,999 953 8

Étalons témoins.

S (85) = 0,999 521 9 Ω_M
S' (86) = 0,999 523 0
S'' (87) = 0,999 512 9
N ₁ (717) = 1,000 010 5
E (2906) = 1,000 096 8
E' (2905) = 1,000 187 3

ANNEXE E 15.

Bureau international des Poids et Mesures.

RAPPORT

SUR LES

COMPARAISONS DES ÉTALONS NATIONAUX
DE FORCE ÉLECTROMOTRICE

(Janv.-Févr. 1937).

Par MM. M. ROMANOWSKI et M. ROUX.

1. Les comparaisons d'étalons nationaux de force électromotrice qui font l'objet du présent Rapport forment la suite des travaux déjà effectués au Bureau international des Poids et Mesures en janvier 1933 et en décembre 1934 [Voir *P.-V. du Comité international des Poids et Mesures*, 2^e série, t. XVI, p. 141 (1933), et t. XVII, p. 291 (1935)].

Ces travaux ont pour objet principal d'établir le rapport existant entre les unités nationales de force électromotrice que conservent les laboratoires officiels des divers pays; ils permettent aussi de réévaluer périodiquement la force électromotrice des éléments Weston, remis par les laboratoires intéressés pour constituer un dépôt d'étalons au Pavillon de Breteuil.

2. En 1936, sur la demande du Bureau international, les laboratoires nationaux d'Allemagne, des États-Unis, de France, de Grande-Bretagne, du Japon et de l'U.R.S.S., acceptaient de préparer des groupes d'éléments Weston, et, après les avoir étalonnés, de les expédier en temps voulu pour que ceux-ci parviennent simultanément à Sèvres. Ces groupes voyageurs, après avoir été comparés entre eux au Bureau international, sont revenus

à leurs laboratoires d'origine dans les plus brefs délais et y ont été étalonnés à nouveau en leurs unités respectives.

Les transports des éléments ont été faits de préférence à la main. C'est ainsi que M. Curtis, du National Bureau of Standards, a assuré à l'aller, comme au retour, le déplacement entre Washington et Sèvres du groupe voyageur des États-Unis. M. Pérard a apporté de Teddington le groupe voyageur de Grande-Bretagne, qui a été transporté au retour par M. Volet. Le groupe d'Allemagne, porté à Sèvres par M. Roux, a été rapporté par M. von Steinwehr à Charlottenbourg. Le groupe français a été transporté par M. Picard, du Laboratoire Central d'Électricité. En raison de l'éloignement, seuls les groupes japonais et russes n'ont pu être transportés à la main; toutefois, les précautions spéciales prises pour l'emballage paraissent avoir été satisfaisantes dans les deux cas.

3. COMPOSITION ET VALEUR DES GROUPES. — Dans le tableau I, on reproduit la force électromotrice moyenne de chaque groupe, telle qu'elle a été mesurée par son laboratoire national, avant et après le transport au Pavillon de Breteuil, ainsi que la valeur de cette force électromotrice que nous avons admise à la date de nos expériences. Il semble que les écarts de force électromotrice des éléments entre la valeur de départ et celle de retour soient également dus aux transports de l'aller et du retour; et comme, au surplus, nos comparaisons ont été faites vers l'époque moyenne des étalonnages exécutés dans les laboratoires d'origine, on a admis pour valeur des étalons, au moment de nos expériences, une valeur égale à la simple moyenne arithmétique des valeurs certifiées par ces laboratoires.

Les six groupes voyageurs réunis au Bureau international ont été comparés deux à deux dans toutes les combinaisons possibles. Ce travail, qui comportait donc quinze intercomparaisons ou « séries » de mesure, a été fait une première fois par un observateur (Aller Romanowski), et répété, dans l'ordre inverse, par l'autre observateur (Retour Roux). La compensation par la méthode des moindres carrés a fourni les écarts des forces électromotrices moyennes de chacun des groupes voyageurs par rapport à la moyenne des six groupes. Les résultats, valables à la date centrale de l'aller et du retour, qui se trouve être le 28 janvier 1937, sont donnés dans le tableau II.

Une série, c'est-à-dire une mesure de la différence de force

groupe. Lorsque tous les éléments des deux groupes ont été ainsi mesurés en fonction de la tare, les opérations sont répétées dans l'ordre exactement inverse. Les moyennes des observations et leurs différences sont indépendantes des variations de la tare au cours des séries.

Le potentiomètre utilisé a déjà été décrit précédemment (*Procès-Verbaux du Comité international des Poids et Mesures*, 2^e série, tome XVII, 1935, p. 291). Il est rappelé par la figure ci-contre. Depuis, il a été révisé par son constructeur, puis vérifié au Bureau. Les corrections d'étalonnage des bobines sont négligeables.

La cuve dans laquelle les éléments Weston sont plongés est d'une construction récente; son système d'agitation assure, non seulement un bon brassage général de l'huile, mais surtout l'égalité des températures des électrodes d'une même pile. Les éléments, fixés sur les chevalets en ébonite, sont placés dans des couloirs qui canalisent la circulation d'huile et orientés dans le courant de manière que les mêmes particules d'huile viennent baigner successivement leurs deux électrodes. Il est en outre possible de faire tourner les chevalets d'un demi-tour pour éliminer l'influence d'un gradient de température qui pourrait encore subsister. Un plancher en ébonite distant de quelques centimètres du fond en laiton, cloisonne la cuve en deux compartiments; l'huile est mise en circulation par une petite turbine qui occupe un trou pratiqué dans ce plancher, à l'endroit où convergent les quatre couloirs de circulation. Elle est refoulée entre les deux fonds et remonte dans la cuve par des orifices situés à sa périphérie en regard de chacun des couloirs. L'étude de la répartition de la température a été effectuée avant les comparaisons, au moyen d'un certain nombre de thermomètres disséminés dans la cuve, et au moyen d'éléments Weston dont on suivait les forces électromotrices pendant l'agitation. Malgré l'isolement thermique du laboratoire, des écarts de température, atteignant quelques centièmes de degré, peuvent apparaître dans le volume d'huile au repos. Il avait été démontré par des expériences préalables qu'une demi-heure d'agitation suffisait à uniformiser la température et stabiliser parfaitement les forces électromotrices des éléments. En règle générale, l'agitation était commencée 45 minutes avant la première observation, et maintenue pendant toute la durée d'une série.

TABLEAU I.

*Groupes nationaux d'éléments Weston
comparés au Bureau international.*

(janvier-février 1937).

Laboratoire.	Symbole		Valeurs moyennes certifiées par chaque laboratoire		Valeur admise au B. I. P. M. Moyenne.
	de l'unité.	du groupe.	Avant.	Après.	
P. T. R.	V _A	R _V	1,018 330 ₇	1,018 333 ₉	1,018 332 ₃ V _A
N. B. S.	V _E	S _V	1,018 262 ₄	1,018 262 ₆	1,018 262 ₅ V _E
L. C. E.	V _F	C _V	1,018 249 ₆	1,018 248 ₄	1,018 249 ₀ V _F ⁽¹⁾
N. P. L.	V _G	N _V	1,018 235 ₀	1,018 235 ₂	1,018 235 ₁ V _G
E. T. L.	V _J	E _V	1,018 307 ₀	1,018 304 ₈	1,018 305 ₉ V _J
I. M....	V _U	M _V	1,018 310 ₇	1,018 314 ₆	1,018 312 ₆ V _U ⁽¹⁾

Numéros des éléments constituant chaque groupe.

R _V	352	353	357	358	3306	3307			
S _V	785	787	789	790	825	828	882	914	917
C _V	2907	2908	2909	2910	2911				
N _V	3524	3525	3526	3527	3528	3529			
E _V	A 41	A 46	A 51	385	456	461			
M _V	243	374	2294	2461	2462	2463	2465		

L'examen des erreurs résiduelles calculées après compensation des résultats par la méthode des moindres carrés, semble indiquer que la précision actuellement atteinte est plus élevée qu'elle n'était dans les comparaisons précédentes. En effet, le plus grand des résidus obtenus en 1937 est égal à 0,33 μV, alors que des erreurs résiduelles de 2 μV pouvaient être relevées dans nos travaux antérieurs.

⁽¹⁾ Volts nationaux ayant subi en 1935 les modifications qui sont brièvement rappelées au paragraphe 5 du présent rapport.

TABLEAU II.

*Ecart des groupes nationaux voyageurs
par rapport à leur moyenne.*

Groupes.	Aller (Rk).	Retour (Rx).	Moyenne.
	μV	μV	μV
R _V (Allemagne).....	+44,4	+44,0	+44,2
S _V (États-Unis).....	-27,8	-27,9	-27,8
C _V (France).....	-31,2	-30,5	-30,9
N _V (Grande-Bretagne)...	-37,6	-37,9	-37,8
E _V (Japon).....	+25,8	+26,1	+26,0
M _V (U. R. S. S.).....	+26,5	+26,2	+26,3

5. CALCUL DES ÉCARTS ENTRE LES UNITÉS NATIONALES. — Un additif à notre rapport de 1935 (*loc. cit.*, p. 300) présentait les valeurs suivantes des unités nationales de force électromotrice à l'époque de nos comparaisons de décembre 1934, rapportées à l'unité moyenne préconisée par le Comité consultatif d'Électricité (1935, Résolution 4) :

$$V_M = \frac{1}{5}(V_A + V_E + V_G + V_J + V_U).$$

Allemagne (P. T. R.).....	$V_A = V_M - 4^{\mu V}$
États-Unis (N. B. S.).....	$V_E = -12$
Grande-Bretagne (N. P. L.).....	$V_G = +5$
Japon (E. T. L.).....	$V_J = -2$
U. R. S. S. (I. M.).....	$V_U = +13$
France (L. C. E.).....	$V_F = -76$

Par la suite, et conformément à la déclaration du Laboratoire Central d'Électricité, le volt de France a été modifié de +76 milliardièmes; V_M peut donc être considéré comme étant l'unité moyenne des six laboratoires nationaux en décembre 1934. C'est par rapport à cette moyenne que nous exprimerons dorénavant les écarts des unités nationales de force électromotrice.

Depuis la session de 1935 du Comité international, l'Institut

de Métrologie de l'U. R. S. S. a modifié son unité afin de la faire coïncider avec V_M ; en particulier, c'est en fonction de cette nouvelle unité qu'ont été exprimées les forces électromotrices des éléments Weston du groupe M_V , étudiés au Bureau international en 1937.

La répartition des unités, au mois de décembre 1934, peut donc être figurée comme suit :

TABLEAU III.

Valeurs rétrospectives des unités nationales en décembre 1934.

V_A	=	$V_M - 4^{\mu V}$
V_E	=	-12
V_F nouveau	=	0
V_G	=	+ 5
V_J	=	- 2
V_U nouveau	=	0

Les comparaisons de janvier 1937, dont on a reproduit les bases et les résultats aux tableaux I et II, donnent le nouvel état de la répartition des unités. Le tableau IV, ci-après, exprime cette répartition en fonction de V_M défini plus haut.

TABLEAU IV.

Valeurs des unités nationales en janvier 1937.

Allemagne.....	V_A	=	$V_M - 7,3^{\mu V}$
États-Unis.....	V_E	=	-9,5
France.....	V_F nouveau	=	+ 0,7
Grande-Bretagne.....	V_G	=	+ 7,6
Japon.....	V_J	=	+ 0,7
U. R. S. S.....	V_U nouveau	=	- 5,5

En rapprochant les tableaux III et IV, on appréciera, à quelques microvolts près, la dérive inévitable qui, au cours de deux années, a très légèrement modifié la répartition relative des

unités des six pays ayant soumis leurs étalons de force électromotrice aux comparaisons du Bureau international.

Le tableau suivant donne les valeurs que les comparaisons précédentes ont permis d'attribuer aux divers groupes voyageurs ainsi qu'aux groupes conservés au Bureau international (groupes sédentaires et groupes appartenant au Bureau).

TABLEAU V.

*Valeurs des groupes exprimées en fonction de V_M
à la date du 28 janvier 1937.*

<i>Groupes voyageurs.</i>	<i>Groupes sédentaires.</i>
$R_V = 1,018\ 324_9 V_M$	$R = 1,018\ 385_4 V_M$
$S_V = 1,018\ 252_9$	$S_2 = 1,018\ 274_2$
$C_V = 1,018\ 249_8$	$C_1 = 1,018\ 267_4$
$N_V = 1,018\ 242_9$	$N = 1,018\ 235_7$
$E_V = 1,018\ 306_7$	$E = 1,018\ 299_8$
$M_V = 1,018\ 307_0$	$M' = 1,018\ 245_8$

Groupes du B. I. P. M.

$$I_1 = 1,018\ 250_4 V_M$$

$$I_A = 1,018\ 234_3$$

$$I_B = 1,018\ 241_3$$

ANNEXE E 16.

TABLEAU A.

Valeurs (au 4 décembre 1936) des étalons de résistance
(exprimées en ohm absolu provisoire).

<i>Étalons primaires.</i>		<i>Étalons secondaires.</i>	
R (3751)	= 1,000 51 ₉ Ω abs.	R" (2836)	= 1,000 64 ₀ Ω abs.
S ₁ (78)	= 1,000 00 ₀	S ₂ (77)	= 0,999 99 ₈
C' (3962)	= 1,000 55 ₀	C" (7414)	= 1,000 52 ₃
N (645)	= 1,000 48 ₁	N' (643)	= 1,000 43 ₂
E ₁ (34054)	= 1,000 56 ₃	E ₂ (34050)	= 1,000 58 ₅
M (6)	= 1,000 44 ₅	M' (8)	= 1,000 43 ₄

Étalons témoins.

S (85)	= 1,000 00 ₂ Ω abs.
S' (86)	= 1,000 00 ₃
S" (87)	= 0,999 99 ₃
N ₁ (717)	= 1,000 49 ₁
E (2906)	= 1,000 57 ₇
E' (2905)	= 1,000 66 ₇

TABLEAU B.

Valeurs (au 28 janvier 1937) des groupes d'éléments Weston
(exprimées en volt absolu provisoire).

<i>Groupes voyageurs.</i>	<i>Groupes sédentaires.</i>
R _V = 1,018 69 ₁ V abs.	R = 1,018 75 ₂ V abs.
S _V = 1,018 61 ₉	S ₂ = 1,018 64 ₁
C _V = 1,018 61 ₆	C ₁ = 1,018 63 ₄
N _V = 1,018 60 ₉	N = 1,018 60 ₂
E _V = 1,018 67 ₃	E = 1,018 66 ₆
M _V = 1,018 67 ₄	M' = 1,018 61 ₂

Groupes du B. I. P. M.

I ₁ = 1,018 61 ₇ V abs.
I _A = 1,018 60 ₁
I _B = 1,018 60 ₈



	Pages.
N° 3. <i>Au sujet de l'institution d'un Comité consultatif de Thermométrie</i>	96-101
Lettre du Président de l'Institut International du Froid.....	96
Note adressée à tous les Membres du Comité international des Poids et Mesures.....	97

COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ.

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES, RAPPORT ET ANNEXES.

Liste des Membres du Comité consultatif d'Électricité.....	105
Procès-verbal de la première séance, jeudi 10 juin 1937	107-122
Présidence de ce Comité.....	107
Hommage à la mémoire de MM. Jaeger et Paul Janet.....	108
RAPPORT DU SOUS-COMITÉ TECHNIQUE D'ÉLECTRICITÉ AU COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ; par M. P. Vigoureux, Rapporteur	108-114
Délégués des Laboratoires. — Bienvenue aux délégués. — M. Jouaust, président du Sous-Comité.....	109
Programme de travail.....	110
Valeurs des rapports des unités internationales aux unités absolues.....	111
Travaux du Sous-Comité technique :	
I. — Unités internationales (résultats des comparaisons effectuées sur les unités de résistance électrique et sur les unités de force électromotrice).....	111
II. — Unités absolues (résultats des mesures effectuées).....	112
III. — Rapports provisoires des unités internationales aux unités absolues.....	113
IV. — Discussion sur les méthodes de mesure.....	114
Discussion de ce Rapport, et approbation.....	114
Fixation d'une valeur en unités absolues des étalons envoyés par les Laboratoires.....	115
Examen des études faites en vue du perfectionnement des étalons représentatifs des unités.....	116
Propositions du Laboratoire Électrotechnique de Tokio, et commentaires.....	117
Propositions concernant les réunions de 1939.....	121
Fusion éventuelle du Comité consultatif et du Sous-Comité technique.....	122

	Pages.
Procès-verbal de la deuxième séance, samedi 12 juin 1937.....	123-126
Réunions en mai 1939, et échange de vues sur les propositions du Gouvernement japonais.....	123
Lecture du 5 ^e Rapport du Comité consultatif d'Électricité, et approbation. — Commentaires sur la définition des unités absolues.....	124
Étalons nécessaires pour conserver les unités électriques.....	125
 Cinquième Rapport du Comité consultatif d'Électricité au Comité international des Poids et Mesures; par M. E. C. Crittenden.....	 127-134
 Annexes des Procès-Verbaux du Comité consultatif d'Électricité.....	 135-208
E 1. PHYSIKALISCH-TECHNISCHE REICHSANSTALT. — <i>État des travaux pour la comparaison de l'ohm absolu avec l'ohm international (juin 1937).....</i>	135
E 2. PHYSIKALISCH-TECHNISCHE REICHSANSTALT. — <i>État des travaux concernant la détermination de l'ampère absolu (juin 1937)....</i>	137
E 3. PHYSIKALISCH-TECHNISCHE REICHSANSTALT. — I. <i>Résistances de précision en alliage d'or et de chrome.....</i>	139
II. <i>Recherches électriques et thermiques sur la manganine.....</i>	140
E 4. NATIONAL BUREAU OF STANDARDS. — <i>Proposition au Sous-Comité d'Électricité concernant les valeurs provisoires des unités électriques à adopter en juin 1937.....</i>	143
E 5. NATIONAL BUREAU OF STANDARDS. — <i>Rapport supplémentaire sur la détermination absolue de l'ampère; par MM. Harvey L. Curtis, Roger W. Curtis et Charles L. Critchfield.</i>	149
E 6. LABORATOIRE CENTRAL D'ÉLECTRICITÉ. — <i>État des études sur la détermination de l'unité de résistance; par M. R. Jouaust.....</i>	157