

COMITÉ INTERNATIONAL

DES POIDS ET MESURES

PROCÈS-VERBAUX

DES SÉANCES.

DEUXIÈME SÉRIE. — TOME XIX.

1939-1940



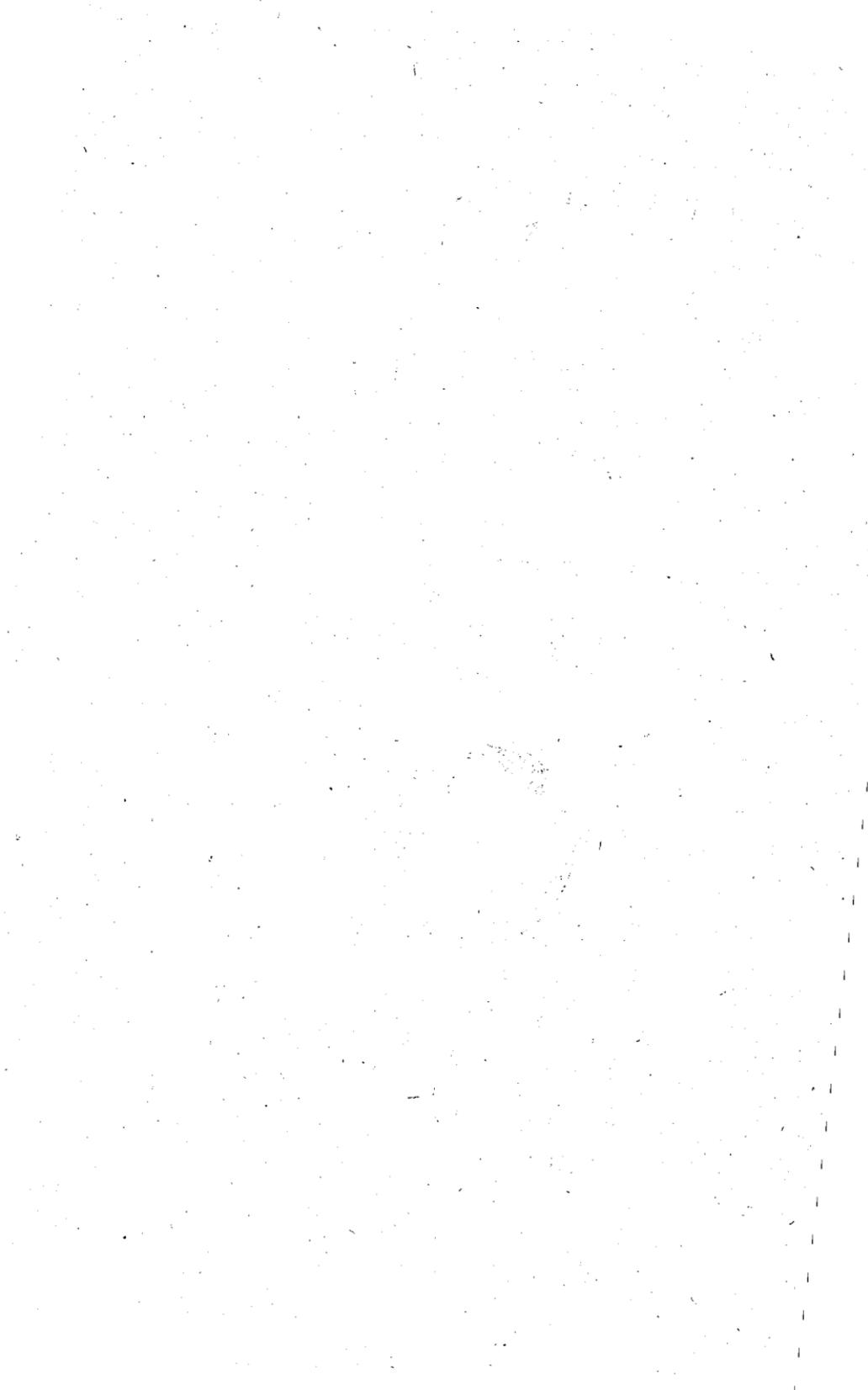
PARIS

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-ÉDITEUR

LIBRAIRE DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

55, Quai des Grands-Augustins, 55

1939



LISTE DU PERSONNEL
DU
BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
AU 1^{er} JANVIER 1940.

	MM.
Directeur.....	A. PÉRARD.
Adjoints.....	{ CH. VOLET. A. BONHOURS.
Archiviste-comptable.....	G. MINAULT.
Assistants.....	{ M. ROMANOWSKI. M. ROUX. J. TERRIEN. H. MOREAU. N. CABRERA (à titre provisoire).
Secrétaires-dactylographes.	{ M ^{me} C. BABOLAT. M ^{me} G. BROCHARD.
Calculateurs.....	{ G. LECLERC. J. HAMON.
Mécaniciens.....	{ R. HANOCQ. R. MICHARD.

Membre honoraire :

Adjoint honoraire..... L. MAUDET.

Les lettres, notes ou mémorandums, publiés dans les *Procès-Verbaux du Comité international des Poids et Mesures*, n'engagent que leur auteur. Leur insertion n'implique, de la part du Comité, ni adhésion aux idées exposées, ni reconnaissance des termes techniques spéciaux ou néologismes qui peuvent y figurer.

AVERTISSEMENT

L'année 1939 devait être marquée par d'importantes réunions internationales :

Les trois Comités consultatifs d'Électricité, de Photométrie, de Thermométrie (et Calorimétrie).

Le Comité international.

La Conférence Générale des Poids et Mesures.

Seuls les premiers ont pu tenir des séances régulières au mois de juin, l'état de guerre ayant empêché les réunions des deux autres organismes qui devaient avoir lieu en fin septembre et début octobre.

On trouvera dans ce volume le Rapport que le Directeur du Bureau international devait présenter à la session du Comité international, ainsi que les Procès-Verbaux des séances des trois Comités consultatifs. En dernière page est reproduite la lettre que le Président et le Secrétaire du Comité ont adressée aux Ambassades et Légations et aux Bureaux nationaux, pour leur demander de ne faire aucun des changements conseillés par les Comités consultatifs, avant que le Comité international lui-même ait, auparavant, sanctionné ces changements et indiqué la date à laquelle ils devraient être effectués simultanément dans tous les pays.



ERRATUM
AUX PROCÈS-VERBAUX,
Tome XVIII, Session de 1937

(Premier Rapport du Comité Consultatif de Photométrie
au Comité international des Poids et Mesures,
par M. U. Bordoni, rapporteur).

Page 234, ligne 17, *supprimer* (lettre du 2 juin 1937).

Page 234, ligne 18, *au lieu de* des délégués, *lire* du délégué.

Page 234, lignes 19 et 20, *au lieu de* ces propositions étaient définitives, *lire* la lettre du 2 juin 1937 porte, en principe, l'assentiment de l'U. R. S. S. aux conclusions ultérieures du Comité sur les propositions faites par les trois Laboratoires.

Page 235, ligne 1, *au lieu de* aussi, *lire* néanmoins.

Page 237, après la ligne 31, *ajouter* M. Fabry confirma que ces résolutions, qui vont être soumises au Comité international, sont entièrement conformes aux avis exprimés par le Comité spécial de la Commission internationale de l'Éclairage.

Page 237, ligne 32, *après* résolutions, *ajouter* ci-dessus.

Page 238, ligne 19, *au lieu de* dans la nouvelle unité, *lire* en fonction de la nouvelle unité.

Page 238, ligne 20, *au lieu de* pour une comparaison, *lire* pour comparaison.

Page 239, lignes 10 et 11, *au lieu de* le Comité consultatif que les délégués de ce Laboratoire n'avaient pas reçu d'instructions pour accepter, *lire* le Comité qu'il n'était pas autorisé à engager son Laboratoire à.

Page 239, ligne 12, *au lieu de* au Directeur, *lire* à M. le Directeur.

Page 239, ligne 13, *après* affirmative, *ajouter* (1).

Page 239, en bas de page, *ajouter* (1) L'acceptation de M. le Directeur du N. P. L. a suivi.

Page 241, ligne 4, *au lieu de* laboratoire de photométrie, *lire* laboratoire pour les comparaisons photométriques.

Page 241, ligne 30, *au lieu de* ce fût fin mai 1939, *lire* ce ne fût pas plus tard que fin mai 1939.

Page 242, ligne 2, *après* nouveau, *ajouter* et donna à M. le Président faculté d'approuver le procès-verbal de sa dernière séance.



RAPPORT DU DIRECTEUR
SUR LA GESTION
DU
BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

PENDANT LA PÉRIODE COMPRISE
ENTRE LE 1^{er} JUIN 1937 ET LE 31 AOUT 1939.

(Ce Rapport devait être présenté au Comité international
dans la session convoquée pour le 27 septembre 1939).

I. — PERSONNEL.

Notre directeur honoraire, M. Ch.-Ed. Guillaume, qui s'était retiré à Sèvres, en octobre 1936, s'est éteint paisiblement le 13 juin 1938. Cette mort qui a mis en deuil le Comité et le Bureau international des Poids et Mesures est aussi une grande perte pour la Science.

On ne saurait résumer en quelques lignes une vie aussi féconde : une Notice consacrée à sa carrière et à ses travaux, insérée suivant l'usage dans les Procès-Verbaux du Comité international, essaiera de retracer pour nos successeurs ce que fut M. Guillaume comme savant, comme homme et comme directeur du Bureau. Mais je me sens obligé, au début de ce Rapport, d'évoquer encore la grande figure de cet éminent physicien, dont l'activité prodigieuse a eu pour cadre, pendant 53 ans, le Pavillon de Breteuil.

Ainsi que M. le Secrétaire de la Commission Administrative l'avait exposé au Comité, dans la séance du 29 juin 1937, M. Terrien a été nommé assistant de 3^e classe, avec ancienneté rétropective, pour l'avancement seulement, du 1^{er} janvier 1937. M. Terrien a pris ses fonctions au mois d'octobre 1937. Selon la sage tradition du Bureau, il a été mis au courant de toutes les branches de son activité; il participe aux divers travaux de notre Institut; mais il est plus spécialement chargé de la photométrie. Je dois dire que sa collaboration pour l'installation et l'équipement des nouvelles salles de photométrie a été très précieuse.

M. Nicolas Cabrera, qui a été nommé assistant de 4^e classe à titre provisoire en juin 1937, est maintenant familiarisé avec nos méthodes de recherches; c'est un excellent observateur et il nous rend les meilleurs services.

M. Péronno, calculateur stagiaire de 2^e classe, doit quitter définitivement le Bureau, au mois d'octobre prochain, au moment où il sera appelé pour accomplir son service militaire, tandis que M. Chemidlin rentrera sans doute chez nous ayant terminé le sien. Je dois reconnaître ici l'habileté et l'intelligence avec lesquelles M. Péronno a exécuté les nombreuses installations qui lui ont été confiées, particulièrement pour l'aménagement des salles et instruments d'électricité et de photométrie.

M. Leclerc, engagé à l'essai en mars 1938, a été nommé calculateur stagiaire de 2^e classe le 1^{er} août 1938, et nous donne toute satisfaction par son zèle et par le soin qui marque toute son activité.

M. Hamon, qui est notre plus jeune collaborateur à titre d'essai depuis le 15 octobre 1938, pourra être prochainement nommé calculateur stagiaire de 2^e classe, en raison de la conscience qu'il apporte à son travail et de la sécurité de ses calculs.

Enfin, je dois signaler qu'un jeune physicien italien, M. Filippo Salvi, qui m'avait été chaleureusement recommandé par M. le Professeur Giovannoni, Président de la Faculté civile et industrielle d'ingénieurs à Rome, et par M. Lazzarini, délégué à la Conférence de Métrologie pratique, accomplit à notre Bureau un stage d'étude depuis le mois de février 1938. Je suis heureux de pouvoir ajouter qu'au cours de ce stage M. Salvi s'est distingué par sa haute culture scientifique et par le soin attentif avec lequel il a toujours accompli les travaux qui lui étaient confiés.

II. — BATIMENTS.

J'avais signalé en 1937 l'aggravation des fissures existant tant dans les murs de l'angle nord-est du grand pavillon que dans le mur de soutènement qui descend sur le jardin. Les mesures d'assèchement prises à cette époque, et détaillées à mon précédent rapport, paraissent avoir été efficaces. En juin 1938, au moment de la réunion de la Commission administrative, aucun des témoins récemment posés sur les lézardes n'avait cédé; on

a décidé alors de combler la fouille de surveillance qui avait été pratiquée contre le mur du pavillon. Dans cette dernière année, il est vrai, quelques-uns des témoins se sont encore rompus; cependant la plupart sont restés intacts, et il est certain que le mouvement du sol en cet endroit s'est considérablement ralenti; on peut espérer qu'il va s'arrêter tout à fait. Du moins n'est-il plus question, pour le moment, d'entreprendre les travaux très coûteux de consolidation que l'on avait envisagés, il y a quelques années.

La remise en état progressive de nos bâtiments, selon le programme soumis à la Commission administrative, a été poursuivie activement de 1937 à 1939. Notre grande salle a été complètement restaurée : le plafond a été refait entièrement, les murs et boiseries repeints, les bibliothèques ont été un peu surélevées et modernisées dans leurs lignes, les sièges remis à neuf. Les peintures du couloir d'entrée et celles de l'escalier d'accès aux bureaux du deuxième étage, qui dataient de plus de cinquante années, viennent d'être refaites. L'ancienne palissade vermoulue qui dominait l'Observatoire à l'ouest a été remplacée par une clôture solide en panneaux de ciment. La clôture du parc est en assez mauvais état sur la majeure partie de son développement; nous avons fait remplacer 110^m de palissade par un treillage en gros fil de fer à pointes défensives et nous continuerons d'améliorer la clôture au cours des prochains exercices. Un garage a été construit, sur l'espace libre au nord du grand pavillon. Le vieux bâtiment de la menuiserie (ancien bâtiment des machines), présentait un aspect extérieur misérable; le ravalement en a été fait par nos propres soins.

Différents travaux d'aménagement ont été effectués dans les bâtiments de l'Observatoire. Deux salles du sous-sol, réservées à la photométrie, ont été installées conformément au projet établi par M. Terrien : dispositifs d'aération et de chauffage, revêtement noir mat de toutes les surfaces, y compris le sol. L'installation électrique, qui est assez importante, a été faite uniquement par le personnel du Bureau. Une salle destinée à recevoir la batterie d'accumulateurs nécessaire à la photométrie a été construite et aménagée dans les combles du nouveau bâtiment de l'Observatoire. Dans l'ancien bâtiment sur le devant, la salle 8, qui est surtout utilisée pour la thermométrie, a été pourvue d'une hotte dans laquelle est placé l'appareil à point d'ébullition du soufre.

Diverses modifications ont permis d'améliorer l'installation du chauffage de l'Observatoire : les canalisations de retour aux chaudières ont été disposées de manière à grouper d'une part celles qui viennent des bureaux du 1^{er} étage et d'autre part celles qui desservent les salles d'observation, de sorte qu'il est maintenant facile, au début et à la fin de la mauvaise saison, de chauffer les bureaux sans modifier la température des salles du rez-de-chaussée. Un système de vannes, avec by-pass de sécurité, permet de rendre indépendantes l'une de l'autre les deux chaudières, primitivement jumelées.

Enfin, un dispositif de ventilation de la chaufferie et de tirage forcé des calorifères a apporté une amélioration importante dans le service du calorifère.

Des mesures ont été prises afin de diminuer les risques d'incendie : les trois bouches d'incendie dont nous disposions jusqu'ici sont d'un diamètre insuffisant pour le matériel moderne des pompiers. J'ai fait installer une bouche du modèle adopté par la ville de Paris (diamètre 100^{mm}) qui permet l'emploi de lances puissantes. En même temps, et comme complément de cette nouvelle installation, j'ai obtenu l'autorisation de faire appel directement, en cas de sinistre, aux sapeurs-pompiers de Paris, plus rapidement mobilisables et mieux outillés que ceux de Sèvres.

D'autre part, nous avons acheté quelques extincteurs supplémentaires pour les salles de photométrie et pour le garage. Des sacs de sable ont aussi été répartis aux emplacements où le danger d'incendie est le plus grand, en particulier dans l'ancienne et la nouvelle chimie.

III. — MACHINES ET INSTRUMENTS.

L'œuvre de rajeunissement des instruments, dont j'entretenais le Comité à la précédente session, a été activement poussée pendant cette période de deux années.

*Mètres
prototypes.*

Pour ce qui concerne en particulier les Mètres prototypes, la réalisation finale a suivi exactement le projet exposé aux pages 16 et 19 de mon rapport de 1937, auquel je renvoie pour tous les détails.

L'expérience n'a apporté de modifications que sur un seul

point, celui de l'épaisseur des traits des prototypes que l'on a abaissée à $3\mu,5$ (maximum) au lieu de $3\mu,7$ à $4\mu,7$; l'emploi de nos nouveaux microscopes a conduit à cette réduction.

C'est M. Volet et moi-même, qui avons rapporté de Genève, en octobre 1937, les six Mètres retracés (1) : 13', 19* et 26' de la grande coulée Matthey avec tracé normal des prototypes, T₄ divisé en millimètres sur toute sa longueur, 13c de l'alliage de 1874 avec tracé spécial en vue des dilatations, ces cinq Mètres appartenant au Bureau international, et le n° 13* de l'alliage Matthey, appartenant alors au Gouvernement autrichien.

De comparaisons assez rapides, dont je dirai un mot tout à l'heure, est résultée l'impression que l'ensemble était bien réussi, à très peu près suivant nos désirs, mais que les Mètres nos 13* et 19* n'atteignaient cependant pas la qualité des quatre autres. Les Mètres 13* et 19* ont alors été renvoyés à la Société Genevoise et ne sont revenus au Bureau international qu'en août 1938, donnant cette fois pleine satisfaction, comme les autres. Parmi ceux-ci je mentionnerai spécialement la règle T₄, qui a été polie et tracée sur toute sa longueur avec un succès remarquable. Cette réalisation fait d'autant plus honneur à la Société Genevoise que J. René Benoit la considérait, encore en 1909, comme tout à fait impossible.

Le compte rendu des comparaisons soignées auxquelles les divers prototypes ont participé sera fait un peu plus loin.

A la suite de ces dernières comparaisons et en attendant l'approbation du Comité, la nouvelle affectation des prototypes a été celle qui avait été prévue il y a deux ans : En même temps que le Mètre international, ont été enfermées dans le caveau

(1) Comme il est à prévoir qu'un grand nombre de Mètres vont être effacés et retracés à des dates différentes, il m'a paru indispensable de distinguer les règles retracées de leur état primitif. On l'a fait ici par le signe prime ('), qui a l'avantage d'exister sur les machines à écrire).

Nous conviendrons également d'affecter de l'indice C le numéro des règles faites en alliage de 1874 ou alliage du Conservatoire. Les règles de l'alliage Johnson-Matthey continueront à porter un numéro sans indice. Si cependant il pouvait y avoir doute, on y ajouterait en indice la lettre M (exemple 13_M et 13c).

Quant aux règles 15 et 19 qui ont été retracées deux fois coup sur coup, leur tracé provisoire, qui n'a été pointé que dans une seule comparaison rapide, sera identifié par un astérisque.

des prototypes ⁽¹⁾, les règles T₁, 13' et 19', comme témoins; les règles T₂, 26' et T₃ restent à la disposition du Bureau international.

*Comparateur
Brunner.*

Le Comité a été mis au courant, dans sa dernière session, des transformations prévues au Comparateur Brunner et au Comparateur à dilatation. Ces travaux sont maintenant terminés.

Au Comparateur Brunner, l'installation des nouveaux microscopes tournants a nécessité un démontage complet de l'instrument jusqu'à son socle, qu'il a fallu abaisser de 45^{mm}. en entaillant le pilier sur lequel il repose. A cette occasion, on a constaté que le plancher de la salle, en s'affaissant, était venu en contact avec ce pilier. La poutraison métallique sur laquelle repose le plancher a été renforcée, afin d'éviter un nouveau fléchissement du parquet. Le chariot du Comparateur a été muni d'une double commande permettant d'en effectuer la translation, aussi bien lorsque l'observateur est devant que lorsqu'il est derrière le comparateur. Un faux plancher a été installé tout autour du comparateur, pour éviter à l'observateur de monter et descendre constamment les marches qui donnent accès aux microscopes.

Les débuts de nos comparaisons principales avaient été fortement incommodés par la dureté de certains mouvements des bancs de l'auge. La plupart des organes de cet instrument, vieux de 60 années, étaient à bout d'usure; et l'on dut procéder d'urgence à une remise en état préliminaire, qui a été confiée à la S^{ie} La Précision Mécanique, en même temps qu'à l'atelier du Bureau. C'est M. Volet qui a dirigé cette transformation et cette remise en état.

Les nouveaux microscopes nous ont été remis par la Société Genevoise, bien conformes aux prescriptions notées en 1937. La réalisation mécanique des supports est si parfaite que, par le retournement du microscope, la mise au point subsiste presque inchangée. Dès leur entrée en service, ils ont confirmé les observations que nous avons faites en 1932, à propos de l'influence de l'éclairage sur l'équation apparente des Mètres (*Procès-Verbaux*, 1933, p. 30). L'influence de l'éclairage s'est quelquefois révélée aussi grande dans des comparaisons normales avec les nouveaux

(1) Où se trouvait déjà le Mètre L₂, conservé là comme pièce historique.

microscopes, qu'elle était apparue dans les essais rappelés ci-dessus, où le dérèglement des lampes avait été intentionnellement porté au maximum. Ceci tient sans doute à l'ouverture numérique des objectifs, qui est maintenant sensiblement plus grande. Plus cette ouverture est importante, plus l'illumination des traits doit être réglée avec soin, de façon à présenter une symétrie parfaite par rapport à un plan vertical passant par le trait. L'expérience paraît cependant montrer que, avec le retournement des règles et celui des microscopes, des erreurs notables sont peu à craindre de ce chef, puisque les 8 demi-groupes de comparaison des 4 observateurs, faits deux à deux avec le même éclairage, n'ont montré aucune erreur systématique deux à deux.

Quant aux micromètres tracés sur verre avec projection de la division du tambour dans le champ de visée, ils se sont révélés extrêmement pratiques (visibilité, précision de lecture, moindre fatigue pour l'œil). Toutefois, les espacements des diverses paires de traits ne nous ont pas paru, dans les premières comparaisons, comporter une marge suffisante; et nous avons demandé à la Société Genevoise une gamme un peu différente, comportant d'axe en axe les espacements 110, 134, 164 et 200 microns, soit 11,0, 13,4, 16,4 et 20,0 microns dans le plan de la règle, avec une épaisseur de 8 microns pour les traits. Les quatre opérateurs se sont déclarés satisfaits de cette dernière disposition, que nous conserverons.

L'optique des microscopes, œuvre de la Maison Zeiss à Iéna, est très bonne, au moins pour l'un des microscopes, celui qui porte le n° 1; elle donne des images véritablement belles à pleine ouverture. L'objectif du microscope n° 2 est, de l'avis de tous les observateurs, un peu moins bien réussi; et à voir le succès du premier, nous sommes tentés de demander au constructeur d'essayer d'atteindre pour le deuxième la même perfection.

L'installation des nouveaux microscopes, conformes aux intentions de M. Volet, et dont les tubes sont en invar, est maintenant terminée. Mais la construction de ces instruments a subi de nombreux retards, qui nous ont contrariés dans l'exécution de notre programme de recherches, particulièrement sur les aciers au nickel.

Nous n'avons pas encore eu le temps de les essayer bien à loisir.

*Comparateur
à dilatation.*

*Comparateur
géodésique.*

A la suite de nouvelles consultations, on a dû reconnaître qu'un rajeunissement réel du Comparateur géodésique ne pourrait s'obtenir que par une réfection complète, trop onéreuse. On a alors recherché avec le constructeur (Société Genevoise), les améliorations susceptibles de rendre son emploi plus commode et ses réglages plus précis. Mes intentions actuelles seraient d'abord de remettre en état tous les mouvements qu'un long usage a rendu défectueux et aussi d'ajouter les transmissions nécessaires pour permettre de l'un quelconque des microscopes les réglages qui ne sont actuellement possibles que de l'une des extrémités. L'amélioration des microscopes est à l'étude.

*Machine
à mesurer.*

En utilisant la machine à mesurer de la Société Genevoise, M. Terrien a constaté que son banc de guidage n'était plus horizontal; il l'a redressé au moyen de cales de laiton d'épaisseur convenable.

Il a aussi mesuré à nouveau la force exercée par le ressort qui pousse le palpeur principal, par une méthode qui a permis cette fois de déterminer l'influence du frottement du palpeur dans le cylindre creux qui le guide : cette influence est considérable, puisqu'elle a pour effet d'ajouter ou de retrancher, selon le sens des déplacements, une force de 190 grammes-poids à l'appui du palpeur, qui varie ainsi entre 1100 et 720 grammes-poids.

*Base
géodésique.*

J'ai dit autrefois que les poulies à l'aide desquelles on applique une tension aux fils géodésiques ne nous donnaient pas satisfaction, et qu'un projet de poulie à couteau, présenté par une firme française, n'avait pas été exécuté, en raison de son prix élevé. La Société Genevoise, que nous avons consultée à ce sujet, nous a soumis deux projets : dans l'un, l'axe de la poulie aurait reposé sur des galets munis de roulements à billes; dans l'autre, les roulements à billes étaient montés directement sur l'axe de la poulie. Nous nous sommes arrêtés à ce dernier type qui vient de nous être livré.

*Machine
à diviser.*

C'est M. Volet qui a continué à exécuter, avec l'habileté que nous lui connaissons bien, tous les tracés à la machine à diviser; et il a mis au courant de ce travail délicat M. Moreau.

Ainsi ont été faits en particulier les tracés des réglettes spéciales destinées à être montées sur des fils d'étude, et les tracés, si difficiles au fond des puits, des petits calibres de 12^{mm}, dont je parlerai.

L'équipement nécessaire pour les déterminations absolues des longueurs d'onde s'est poursuivi au cours de ces deux années, mais n'a pu être terminé en raison de la lenteur des constructeurs, actuellement surchargés de commandes. Les petits calibres en invar chromé de 12^{mm}, destinés à s'adapter en bout des grands calibres mesurés en longueurs d'onde, pour les transformer en étalons à traits, ont été livrés tout récemment par les Ateliers P. V. E., de Londres.

Le montage et le tracé très délicat des mouches polies, au centre de ces pièces, avaient été faits et réussis au moyen de deux procédés différents, par M. Volet et par M. Roux. La qualité de ces calibres (planitude, parallélisme) est très bonne. J'ai effectué leur détermination simultanée par les interférences sans difficulté, par adhérence contre les plans en invar chromé que m'a fournis la Maison Hilger, de Londres. Ces derniers plans, qui nous sont parvenus il y a 18 mois, étaient de première qualité, tant par leur poli spéculaire que par leur planitude. L'adhérence entre les surfaces chromées, calibre et plan, est très forte, au moins aussi forte que celle des surfaces d'acier analogues. Malheureusement, j'ai pu constater tout récemment que, malgré le traitement stabilisant auquel nous les avions soumis avant le polissage et la rectification, les deux plans, et l'un surtout, s'étaient nettement déformés. En outre, les glissements des surfaces des petits calibres nécessaires à leur bonne adhérence, ont légèrement altéré le poli, en y marquant un grand nombre de fines rayures. Je pense maintenant demander à la Maison Hilger de retoucher ces plans après leur avoir fait subir un nouvel étuvage à partir de 70°. Par ailleurs, j'ai pris les dispositions nécessaires pour établir deux nouveaux plans chromés sur un support en *élinvar*, alliage d'une dilatabilité à peu près identique à celle du chrome.

Quant aux grands calibres de 250^{mm} à 1^m, il n'a pas été possible de les obtenir jusqu'ici; et je n'ai encore pu recevoir aucune certitude d'une livraison dans un délai déterminé.

Dans l'intervalle, la Société « Optique et Précision de Levallois » (O. P. L.), nous a livré les cubes de 90^{mm} de côté pour le système de déplacement du faisceau lumineux à grande amplitude de l'interféromètre Michelson; ils sont de très belle qualité. Le pouvoir transmissif de l'ensemble des deux cubes, mesuré par M. Terrien, est de l'ordre de 80 %, tandis que précédemment le système des quatre miroirs associés deux à deux

ne laissait passer que 27 % (ou 52 % après nouveau polissage). M. Roux a fait établir la monture de ces deux cubes, et le double engrenage d'angle avec contrepoids, nécessaire à leur mouvement; l'ensemble paraît tout à fait réussi, d'après quelques essais rapides.

A la suite d'un léger accident survenu à l'une des glaces de l'interféromètre, chez l'alumineur, les Établissements O. P. L. nous ont fourni également un jeu de deux glaces à faces planes et parallèles, parfaitement travaillées à l'égalité de chemin optique, destinées à constituer le séparateur du faisceau lumineux (par semi-aluminure) et le compensateur de l'interféromètre.

Après le montage de ces glaces, j'ai pu constater une amélioration nette de l'achromatisme de la frange centrale.

*Kilogrammes
prototypes.*

L'acquisition de deux nouveaux témoins en platine iridié du Kilogramme international avait dû être différée en raison de la hausse du métal qui s'était produite en 1936-37. Depuis cette époque, le prix ayant rebaisé, j'ai pu reprendre cette question, en connexion avec les demandes de la République Argentine et des Indes néerlandaises, qui, chacune, désiraient se procurer un Kilogramme en platine iridié. Les difficultés de fabrication rencontrées par la Société Nouvelle du Comptoir Lyon-Alemand, qui avait été chargée de fournir les cylindres d'alliage, ont été considérables; et il a fallu exécuter plusieurs lingots avant d'obtenir un métal sain, présentant une densité suffisante.

Les analyses qui ont été effectuées sur des échantillons prélevés dans les cylindres bruts ont toujours fait ressortir une grande pureté de l'alliage. L'ajustage et le polissage des Kilogrammes ont été bien réalisés par M. C. Longue, à Paris.

Afin de profiter de l'expérience acquise dans cette fabrication délicate, et après avoir obtenu l'autorisation de la Commission Administrative Permanente dans sa session de 1938, j'avais fait exécuter deux Kilogrammes supplémentaires que l'on devait mettre en réserve pour les céder aux Etats qui présenteraient de nouvelles demandes. Or ces deux Kilogrammes sont actuellement demandés par la Pologne et par le Brésil. Après leur cession à ces pays, la Commission Administrative acceptera sans doute de reconstituer la même réserve.

Actuellement, nous avons donc deux nouveaux témoins, les nos 43 et 47, sur lesquels s'est portée notre préférence, d'ailleurs bien peu marquée, en raison de la beauté peut-être un peu plus

grande de leur surface et de la proportion encore plus basse des impuretés. Les nos 45 et 46 ont été attribués respectivement à la République Argentine et aux Indes néerlandaises, tandis que le n° 44 et le n° 48 vont sans doute être cédés à la Pologne et au Brésil.

J'avais signalé le fonctionnement défectueux de notre balance Rueprecht n° 1 et l'insuccès que nous avions tout d'abord rencontré dans sa remise en état. Nous nous sommes adressés alors à la Maison Longue, en lui proposant un tarif progressif suivant le degré de l'amélioration qu'elle pourrait atteindre. Je suis heureux de signaler au Comité que M. Longue a réussi à obtenir le maximum prévu au contrat; et j'estime que cet instrument a maintenant retrouvé toutes ses qualités premières.

A la même époque, M. Longue a aussi révisé notre petite balance amortie, système Curie, de portée 300g, qui avait été donnée autrefois au Bureau international par son prédécesseur M. Collot.

Balances.

Les *étalons électriques* suivants nous sont parvenus des Laboratoires nationaux et ont été adjoints à l'ensemble des étalons déjà déposés au Bureau :

*Instruments
électriques.*

a. Un groupe de 12 éléments Weston de l'Institut de Métrologie de Léningrad;

b. Deux ohms de la Physikalisch-Technische Reichsanstalt de Berlin (dont un en alliage or-chrome);

c. Un ohm du Laboratoire Électrotechnique de Tokio.

En outre, le National Bureau of Standards de Washington a obligeamment prêté au Bureau deux de ses étalons de premier ordre de dix ohms.

Le Bureau, de son côté, a acheté, avec le concours si précieux de cet Institut, un étalon de 1 ohm de la Compagnie Leeds et Northrup, des États-Unis.

La bobine, spécialement établie par la Maison Tinsley, de Londres, pour servir de passage de 1 à 10 ohms, a réintégré le Pavillon de Breteuil après sa réfection par le constructeur (réfection motivée par le manque de stabilité). Avant son départ pour Sèvres, elle avait été vérifiée et mesurée par le National Physical Laboratory de Teddington.

Le *potentiomètre* a subi quelques modifications de détail; en

particulier sa sensibilité a été fortement augmentée par un changement apporté à son circuit galvanométrique.

Le *pont double* pour la comparaison des ohms étalons a subi un remaniement important. Ainsi qu'il sera indiqué au Chapitre IV son nouveau schéma permet d'éliminer les résistances additionnelles des ohms étalons (prises de potentiel et de courant).

Le *pont-potentiomètre* a reçu quelques aménagements pratiques; en particulier son rhéostat de réglage a été muni de deux boîtes de résistance spéciales, permettant des variations par centièmes et millièmes d'ohm.

La construction de la *cuve thermostat* (qui est transportable et peut donc être utilisée avec l'une quelconque de nos installations) a été achevée. L'instrument permet de réaliser avec une stabilité satisfaisante des températures supérieures de 0 à 10 degrés environ à la température ambiante.

C'est sur l'initiative de M. Romanowski qu'ont été exécutées toutes ces installations et améliorations d'appareils électriques. C'est encore lui qui a monté dans la salle 2 le *pont de Smith*, acquis à la Cambridge Instrument Co, et l'a relié aux instruments de thermométrie de la salle 10 (appareil à points fixes, etc.) par une ligne établie à travers le couloir de l'observatoire.

L'ancienne batterie d'accumulateurs était jusqu'ici rechargée au moyen d'un groupe comprenant un moteur triphasé et un générateur continu; ce dernier acquis en 1892, après un très long service et deux réparations complètes, s'est trouvé hors d'usage. Fort heureusement, un *redresseur de courant*, commandé quelque temps auparavant, a pu remplacer le groupe défaillant, après un court délai, pendant lequel une génératrice en location a permis d'entretenir la charge des accumulateurs. Ce redresseur a été commandé à l'Électro-Mécanique, après une étude faite par M. Terrien, qui avait mis en concurrence deux autres constructeurs, étudié leurs projets, et recueilli des renseignements à l'École Normale Supérieure, où plusieurs appareils de ce genre sont en usage. Celui qu'a acquis le Bureau est un redresseur à oxyde de cuivre, alimenté en courant triphasé 200 volts et fournissant plusieurs tensions redressées échelonnées de 117 à 178 volts. Il permet ainsi la charge de l'ancienne batterie de 88 volts, et des

nouvelles batteries de 128 volts spéciales pour la photométrie; il est également aménagé pour pouvoir assurer la charge ultérieure d'une batterie de 59 éléments; car l'on doit prévoir que, dans un avenir plus ou moins éloigné, nous aurons intérêt à remplacer les 88-80 volts de notre batterie actuelle par la tension plus courante de 118-110 volts. De même, cet appareil peut encore nous fournir directement du courant redressé de 115 volts. La cabine est munie d'un ampèremètre, d'un voltmètre et d'un ampère-heuremètre qui arrête automatiquement la charge lorsque la quantité d'électricité inscrite à l'avance sur le cadran a été débitée; elle comporte les relais de sécurité nécessaires. Le rendement en énergie de tout l'ensemble a été trouvé d'environ 70 à 72 %, valeur supérieure à celle qu'avait garantie le constructeur à la commande. Depuis plus d'un an de service, ce redresseur donne toute satisfaction.

Pour les besoins de la photométrie, deux nouvelles batteries d'accumulateurs au plomb, comprenant chacune 64 éléments de 2 volts, capacité 120 ampères-heure, ont été achetées à la Société Fulmen et installées dans la salle du premier étage du nouveau bâtiment spécialement aménagée à cet effet.

Les *rhéostats* destinés à l'ajustage du courant d'alimentation des lampes photométriques ne souffrent pas la médiocrité, surtout en ce qui concerne la qualité des contacts frottants. M. Terrien a étudié les projets de deux constructeurs mis en concurrence et a acquis aux Établissements Vanherzeeke et Fournier deux rhéostats d'une résistance totale de 120 ohms environ, réglable par centièmes d'ohm au moyen de quatre manettes; les balais frotteurs et le fil résistant sont très largement calculés et d'excellente qualité.

Pour permettre des variations de résistance inférieures à 0,01 ohm, M. Terrien a adopté des rhéostats à plaques de graphite à pression variable, après avoir vérifié que ce type de rhéostat n'introduit aucune instabilité de courant.

MM. Terrien et Romanowski ont étudié, en liaison avec l'Association des Ouvriers en Instruments de Précision, les schémas des potentiomètres et réducteurs de tension, en cherchant, non seulement un fonctionnement parfait, mais aussi la facilité d'étalonnage; les réducteurs sont en outre munis de deux manettes grâce auxquelles il est possible d'ajuster le rapport de réduction à une valeur exacte d'après les résultats de l'étalonnage.

Pour profiter de toute la précision dont sont susceptibles les appareils ci-dessus, un *galvanomètre* Moll type B (constructeur : Kipp et fils) a été acquis. Pendant les essais, on utilise un galvanomètre plus robuste fourni par l'Association des Ouvriers en Instruments de Précision (A. O. P.).

Un certain nombre de *transformateurs* de divers voltages ont été acquis; je signale en particulier deux transformateurs du même type, extrêmement commodes, fournis par les Établissements Lefebvre, au Havre, donnant au secondaire toutes les tensions échelonnées de volt en volt entre 1 et 300 volts, jusqu'à l'intensité de 6 ampères, pour un courant de 115 volts au primaire.

Installations
photo-
métriques.

Comme conséquence de l'avis exprimé par le Comité consultatif de Photométrie en 1937, avis pleinement approuvé par le Comité international, nous avons à procéder à l'installation complète d'un laboratoire de Photométrie. J'ai confié à M. Terrien la mission de réaliser cette délicate installation, à laquelle j'ai affecté les deux salles disponibles en sous-sol de nos nouveaux bâtiments.

Pour faire son instruction spécialisée à ce point de vue, M. Terrien a rendu visite au National Physical Laboratory; le Directeur de ce Laboratoire a bien voulu l'accueillir et lui laisser toutes facilités pour son séjour et sa documentation. Grâce à l'obligeance de M. Walsh, de M. Buckley et de M. Barnett, il a pu étudier en détail toute la partie photométrique et en a rapporté des enseignements très précieux. Je dois aussi remercier MM. Jouaust, Ribaud et Boutry, qui lui ont donné leurs conseils; M. Jouaust en particulier l'a admis comme collaborateur pour une série de mesures d'étalons secondaires à incandescence à 2045° K et à 2360° K.

Après s'être ainsi documenté, M. Terrien a établi les grandes lignes d'un projet de *banc photométrique* dont l'exécution a été finalement confiée aux Usines Gallus, à Courbevoie. Le constructeur a apporté lui-même une contribution intelligente à l'exécution. Le banc, d'une longueur de 4^m,50, est constitué par deux tubes très rigides en « inconel » (alliage inoxydable et dur contenant 80 % de nickel, 14 % de chrome et 6 % de fer), supportés par quatre piliers de ciment, et munis d'organes de réglage à chacun des points d'appui. Les chariots reposent sur ces tubes par cinq roulements à billes. Le photomètre, fixé sur l'un deux,

peut être réglé en hauteur et être tourné d'un demi-tour autour d'un axe vertical. Les chariots porte-lampe possèdent des organes permettant tous les réglages de position des lampes. Chaque chariot est flanqué d'un dispositif optique qui donne sur un verre dépoli l'image agrandie deux fois de l'index et de la règle divisée (lecture facile, exempte d'erreur de parallaxe).

Le dressage du chemin de roulement du banc photométrique a été précisé en s'aidant d'une lunette autocollimatrice obligeamment prêtée par M. l'Ingénieur en Chef Nicolau. Ce travail laborieux et délicat de retouche locale est maintenant assez avancé pour que le guidage des chariots soit assuré avec une précision largement suffisante dans toute la région centrale du banc. Sur les chariots eux-mêmes, tous les ajustages utiles ont été étudiés, et le cas échéant rectifiés.

Le *photomètre*, acheté à Schmidt et Haensch, est du modèle classique à contraste (8 %) et à grand champ.

Nous avons fait établir, par la Société Prolabo, un *appareil à point d'ébullition du soufre*, à chauffage électrique, conforme aux spécifications de l'échelle internationale de température. L'installation en a été faite entièrement par M. Bonheure, aidé par M. Romanowski pour le pont de Smith. Elle est actuellement terminée. Mais comme l'on a eu quelques ennuis par la rupture des récipients contenant le soufre et par la diffusion des vapeurs dans tout l'observatoire, je me suis décidé à faire disposer à la salle 10 une hotte entièrement close de vitres amovibles, où sera maintenu l'appareil.

*Instruments
thermo-
métriques.*

A la suite de la création du Comité consultatif de Thermométrie, il a paru nécessaire de reprendre, au *thermomètre à gaz*, les expériences si brillamment inaugurées au Bureau international par Pierre Chappuis. Ce sont MM. Roux et N. Cabrera en collaboration qui ont commencé à travailler cette question.

Le problème comporte deux parties; l'une qui se rapporte à la mesure des pressions, et l'autre à la construction des étuves convenables pour maintenir tout le réservoir thermométrique à la même température. Pour ce qui concerne la première partie, nos collaborateurs ont commencé par remettre en état et étudier le petit thermomètre de Chappuis; il est actuellement prêt à servir. Leurs efforts de perfectionnement porteront sur la diminution de l'espace nuisible et sur un dispositif piézoscopique particulièrement sensible et dépourvu de toute erreur systématique.

Pour ce qui concerne la deuxième partie, ils ont étudié divers types de thermostats. Avec les physiciens du Laboratoire d'Essais du Conservatoire National des Arts et Métiers, MM. Roux et Cabrera ont mis au point une méthode d'étude des gradients de température par l'emploi combiné d'un thermomètre à résistance et d'un couple différentiel.

Quatre étuves avec thermostats devront réaliser toutes les températures comprises entre -80° et $+500^{\circ}$ environ. L'une des étuves, celle qui permet d'aller de $+90^{\circ}$ à $+350^{\circ}$, n'est autre que l'étuve utilisée par Chappuis vers 1899 (*Travaux et Mémoires*, t. XII, p. 45), à laquelle on a ajouté une turbine à diffuseur annulaire. Le principal but de ces expériences serait la comparaison de l'échelle internationale avec les échelles du thermomètre à gaz et l'échelle thermodynamique, en commençant par les températures ambiantes, qui intéressent avant tout notre Bureau.

Outils.

Aucun achat important de machine n'a été fait pour l'atelier. Mais nous avons acquis encore une machine à calculer d'assez forte capacité, de fabrication française (marque Vaucanson), comportant 10 et 11 chiffres aux facteurs et 20 chiffres au produit.

IV. — TRAVAUX.

Étude des prototypes métriques.

La technique adoptée pour les comparaisons des prototypes, après la transformation du Brunner, n'a différé de ce qu'elle était auparavant que par la rotation d'un demi-tour donnée aux deux microscopes; cette rotation se fait au milieu de chaque série après le sixième pointé, en même temps que, suivant le procédé déjà ancien, l'observateur passe lui-même de l'avant à l'arrière du comparateur. Certaines modifications d'ordre pratique et sans grand intérêt ont été nécessitées par ce dédoublement de chaque série.

Dès que les six Mètres nouvellement tracés, nos 13', 13₆, 26', T₄, 19* et 13* eurent été rapportés de Genève, nous nous empressâmes (en novembre 1937) d'exécuter sur eux quelques rapides opérations, qui avaient à la fois pour but de donner une idée de la qualité des nouveaux traits et de faire ressortir des valeurs provisoires de ces règles. Les opérations se composèrent de quelques comparaisons en simple chaîne fermée (sans autre compensation que la fermeture) entre ces six règles et nos deux anciens mètres T₂ et T₃, à raison de deux séries seulement

par comparaison, mais avec quatre observateurs (Pérard, Volet, Bonhoure, Terrien) pour chacune.

Les résultats, forcément assez peu précis, furent les suivants à 0° :

13'	=	1 ^m + 0,06 ^μ
13 _C '	=	» - 0,21
26'	=	» - 0,54
T ₁ '	=	» - 1,17
19*	=	» - 0,60
15*	=	» - 0,32

Notre appréciation favorable unanimement pour les quatre premiers Mètres fut moins bonne pour les règles 19* et 15*. Quelques séries exécutées au comparateur à dilatation (décembre 1937) par trois observateurs (Pérard, Volet et Bonhoure) aboutirent à la même conclusion : qu'il convenait de recommencer le tracé des Mètres nos 19 et 15, pour obtenir sur eux une qualité égale à celle des autres nouveaux tracés. Les résultats notés ci-dessus montraient d'ailleurs l'exactitude atteinte sur les longueurs.

Lorsque, en 1938, les Mètres 19 et 15 furent rentrés avec un tracé renouvelé, 19' et 15', qui nous parut alors tout à fait satisfaisant, l'on entreprit entre les Mètres de tout premier ordre, c'est-à-dire ceux qui devaient être les témoins : T₁, 13', 19', ceux qui devaient être les prototypes d'usage du Bureau T₂, 26', T₃, et le Mètre international M, un ensemble complet de comparaisons dans toutes les combinaisons possibles des Mètres deux à deux, chaque comparaison étant exécutée dans les huit positions symétriques possibles des Mètres, et par quatre observateurs travaillant indépendamment (Pérard, Volet, Roux, Terrien); ce qui représentait au total 672 séries de comparaison (composées chacune de six doubles pointés sur chaque règle).

Les résultats ont été les suivants :

Valeurs à 0° (Excès sur 1^m).

N°.	Pérard.	Volet.	Roux.	Terrien.	Moyenne.
	^μ	^μ	^μ	^μ	^μ
13'....	+0,21	+0,22	+0,12	+0,14	+0,17
19'....	-0,07	-0,03	-0,17	-0,16	-0,11
26'....	-0,49	-0,38	-0,56	-0,52	-0,49
T ₁	-5,28	-5,24	-5,43	-5,39	-5,33
T ₂	+5,01	+5,06	+4,95	+4,97	+5,00
T ₃	+1,85	+1,82	+1,89	+1,83	+1,85

Les valeurs précédemment obtenues sur les Mètres non effacés étaient :

	1921.	1936.
	μ	μ
T ₁	— 5,40	
T ₂	+ 4,84	
T ₃	+ 1,76	+ 1,81

Nous attendions avec intérêt de pouvoir comparer les résultats de ce travail avec ceux obtenus en 1936, afin de juger l'amélioration apportée, depuis cette époque aux étalons, au comparateur et aux méthodes.

Sans entrer dans le détail de la discussion, qui sera donnée dans un mémoire en cours de rédaction, je signale seulement que le gain de précision que nous avons réalisé se manifeste d'abord par une meilleure concordance interne des mesures de chaque observateur. Que l'on juge celle-ci sur les huit séries dont la moyenne constitue une comparaison ou sur les valeurs résiduelles de la compensation, on trouve que le poids d'une détermination actuelle est trois ou quatre fois supérieur à ce qu'il était auparavant. Quant à la précision avec laquelle une règle définit sa propre longueur, elle s'évalue en gros par les écarts des valeurs trouvées sur elle par divers observateurs en fonction de la moyenne de toutes les règles. Pour les quatre observateurs qui ont participé à ce groupe de comparaisons ces écarts sont au *maximum* de

μ		
0,16	sur le mètre	T ₃
0,10	»	T ₁
0,09	»	M
0,08	»	26'
0,05	»	19'
0,03	»	13'
0,02	»	T ₂

Si l'on rapproche ces nombres de ceux obtenus en 1936 (*Procès-Verbaux*, 1937, p. 28) dans des conditions analogues, on constate que la valeur métrologique des Mètres a considérablement augmenté depuis leur retraçage. Les écarts ci-dessus ne dépassent pas la limite normale due aux erreurs d'observation, sauf cependant sur le Mètre T₃.

Sur ce dernier Mètre, l'écart de $0^{\mu},16$ traduit manifestement l'existence d'équations d'interprétation, rendues d'ailleurs très plausibles par l'aspect irrégulier des traits. Ce tracé, qui, il y a deux ans encore, nous paraissait relativement beau, auprès de ceux que portaient alors 26, 13, 13_C, 15, 19, T₄, nous donne maintenant l'impression d'une irrégularité insupportable. Tous quatre nous estimons que, loin de contrôler et de compenser les autres comparaisons, celles où intervenait T₃ ne faisaient qu'apporter un élément d'imprécision, inadmissible à l'heure actuelle. Dans l'avenir, il en serait certainement de même pour les déterminations que nous aurions à exécuter en fonction de nos Mètres d'usage; nous ne nous servirions jamais que de 26 et T₂. La règle T₃ resterait inutilisée. En conclusion, et après avoir mûrement pesé et discuté cette question, je demande au Comité international l'autorisation d'effacer et retracer le Mètre T₃.

Dans l'hypothèse où cette autorisation me sera accordée, le Mètre T₃ devra être ensuite redéterminé avec une grande précision. Il se peut que les comparaisons, avec les deux seuls Mètres T₂ et 26 restant à notre disposition, ne soient pas pleinement suffisantes pour atteindre toute la précision indispensable à l'un de nos Mètres d'usage. Que le Comité veuille bien encore m'autoriser à extraire du caveau, si je le juge utile, sinon le Mètre international lui-même, du moins ceux de ses témoins dont je pourrais à ce moment estimer l'emploi nécessaire.

Une autre conséquence de tout ce travail est la recommandation que nous pouvons maintenant soumettre au Comité, pour être présentée aux Gouvernements, de faire subir à leur prototype national la rénovation de son tracé. Il serait d'ailleurs souhaitable que les gouvernements qui décideraient cette opération, s'entendissent avec le Bureau international pour son exécution.

Quant au prototype T₄, divisé sur toute sa longueur, il a été l'objet d'un premier étalonnage de tous ses traits centimétriques, et des traits millimétriques de deux de ses centimètres, par M. N. Cabrera. A titre d'expérience et de contrôle, M. Cabrera a effectué de façon indépendante un second étalonnage des traits décimétriques. La concordance des deux étalonnages a été tout à fait satisfaisante, l'écart maximum étant de $0^{\mu},07$ sur la position de l'un des traits. De même M. Salvi a fait une seconde fois l'étalonnage des millimètres des deux extrémités de la règle.

J'ai l'intention de faire faire, à titre de contrôle, la même

étude tout entière une deuxième fois par un autre observateur, avant de livrer ce prototype à l'usage, pour toutes les longueurs inférieures à 1^m.

Quant à la longueur totale de T₄, une comparaison avec les prototypes 13' et 26', exécutée par MM. Volet et Roux, a permis d'en obtenir une valeur provisoire à préciser ultérieurement.

*Diverses déter-
minations et
études sur
étalons de
longueur.*

Un étalon en acier avec abouts tracés, que M. Kösters avait utilisé dans sa détermination absolue des longueurs d'onde, a été déterminé par M. Volet au Comparateur à dilatation et par moi-même au Comparateur Brunner muni d'une protection spéciale pour les expériences faites dans l'air.

M. Volet avec M. Moreau ont vérifié un étalon en quartz de 1^m à bouts sphériques ayant été utilisé par la Reichsamts für Landesaufnahme de Berlin, pour des mesures de base géodésique.

Le Laboratoire des basses températures et de l'électro-aimant de Bellevue, dirigé par M. Cotton, a projeté de construire un appareil destiné à la mesure de champs magnétiques créés dans l'entrefer du grand électro-aimant; on doit mesurer avec une balance la force électromagnétique exercée par le champ sur un ruban conducteur collé contre une plaque de verre de forme et de dimensions exactement connues. L'étude géométrique d'une telle plaque ayant été demandée au Bureau, M. Terrien a été chargé de ce travail, pour lequel il a utilisé la machine à mesurer de la Société Genevoise, convenablement équipée avec des organes de réglage et des supports construits à l'atelier du Bureau.

Parmi les diverses études de règles, je citerai encore les suivantes :

Par M. Volet, équation du Mètre n° 81 en nickel, de la République Argentine, étudié une première fois en 1921, variation trouvée (+ 0^u,17) inférieure aux erreurs possibles d'observation vérifiant une fois de plus l'excellente stabilité du nickel; et équation de la règle n° 721 en invar également à la République Argentine, mesurée en 1934 et en 1938, manifestant une stabilité exceptionnelle pour l'invar (variation — 0^u,23.)

Par MM. Bonheure, Roux et N. Cabrera, détermination de la règle N₁ de 1^m en invar, en vue de la mesure de notre règle géodésique.

Par M. Terrien, étalonnage des décimètres et des centimètres du premier et du dernier décimètre d'une règle en invar (Société

Genevoise n° 721) appartenant au Service Géographique de Buenos-Aires.

Par M. Roux, étude d'une réglette décimétrique en invar appartenant au Ministère du Commerce et de l'Industrie du Portugal.

Par MM. N. Cabrera et Moreau, équation de la règle de 1^m n° 621, appartenant à l'Institut géographique militaire de Florence.

Par M. Moreau, nouvel étalonnage partiel de la règle en invar n° 22 du Bureau, de 1^m,25, portant sur les traits double-décimétriques et sur les cinq premiers et les cinq derniers demi-décimètres de la règle, et dont les résultats semblent écarter l'hypothèse, primitivement envisagée, d'un changement des corrections d'étalonnage par suite de l'allongement avec le temps de cette règle.

Par M. N. Cabrera, détermination de la règle N₂, et comparaisons, en série fermée, des règles n° 22 (ci-dessus indiquée), n° 112, de 1^m,20, en alliage à 43 pour 100, et du prototype T₃.

La règle de 4^m (I₅) en invar, que nous utilisons pour la détermination de la base primaire à microscopes, a été mesurée en octobre 1937, en septembre-octobre 1938 et en avril 1939, par MM. Roux, Moreau et N. Cabrera, faisant ressortir un allongement continu de cette règle.

La règle de 4^m, n° 703, appartenant au Bureau National des Mesures de Prague, a été mesurée en septembre-octobre 1938 en même temps que la règle I₅, ce qui a permis d'avoir des contrôles supplémentaires de nos mesures, et une estimation de la précision que nous obtenons avec notre Comparateur géodésique dans son état actuel.

Des pointés systématiques ont été faits par MM. Volet, Bonhoure, Romanowski, Terrien, Moreau et par moi-même, dans le but de déterminer de façon générale les meilleures conditions à réaliser pour obtenir la plus haute précision dans les pointés aux microscopes à micromètres, l'un des motifs de cette étude étant en premier lieu de faire un choix parmi les objectifs et les oculaires appartenant aux nouveaux microscopes du Comparateur Brunner. Chaque opérateur mesurait 10 fois successivement un intervalle de quelques dizaines de microns, défini par des traits de différentes grosseurs. L'observation était faite avec l'un ou l'autre de deux objectifs grandissant respecti-

*Conditions
de précision
des pointés
aux micros-
copes.*

vement 5 et 10 fois et avec trois oculaires grossissant respectivement 9, 12,5 et 28 fois. Deux groupes de mesures ont été effectués dans des conditions légèrement différentes et avec changement d'observateurs. Ils ont, l'un et l'autre, montré que la précision des pointés était à peu près indépendante de l'oculaire utilisé et qu'elle était proportionnelle au grandissement de l'objectif. Cette dernière conclusion paraît d'ailleurs évidente tant que le grandissement ne nuit pas à l'apparence bien régulière et à la netteté de la délimitation des traits. Quant à la grosseur des traits, elle n'a pas été étudiée dans des circonstances assez dissemblables pour que son influence puisse être mise nettement en évidence. Les réticules du Comparateur Brunner ont été munis, comme je l'ai dit, de 4 paires de traits de pointage à espacements très différents, de façon à permettre à chaque observateur de choisir les conditions qui lui paraissent les meilleures, la sensation de confort de l'observateur ayant son importance.

Mesures de dilatactions.

M. Volet a fait l'étude de la dilatation de divers échantillons de fils et rubans, celle de la règle n° 621 de l'Institut géographique militaire de Florence, et avec M. Roux, celle des étalons à bouts en invar de 986^{mm} qui doivent servir prochainement à la mesure absolue des longueurs d'onde.

M. N. Cabrera a déterminé encore l'équation et la dilatabilité de trois règles en invar, appartenant à la *Norges Geografiske Opmåling* d'Oslo.

Étude des fils géodésiques.

Les études de fils et rubans géodésiques ont été particulièrement nombreuses au cours de ces deux dernières années. Elles ont porté sur 133 instruments de diverses longueurs depuis 4^m jusqu'à 50^m. Pour les fils de 24^m, les plus nombreux (88), on a effectué le plus souvent, outre la mesure de leur longueur, la détermination individuelle de leur coefficient de dilatation.

La longueur des 12 fils étalons du Bureau international, qui détermine la valeur de notre base secondaire à repères, a été mesurée en octobre-novembre 1937, en novembre 1938 et en février-mars 1939. A chaque fois on a exécuté quatre mesures indépendantes, dont la moyenne constituait le résultat correspondant à l'époque des mesures.

Ces études géodésiques ont été faites, sous la direction de M. Bonhoure, la plupart par MM. Roux, Moreau et N. Cabrera.

M. Bonhoure a participé aux mesures fondamentales des fils étalons du Bureau.

Depuis mai 1937, MM. Bonhoure et Moreau déterminent périodiquement la longueur d'un fil de 24^m (n° 1136) en invar spécial (invar stable) qui nous a été fourni par les Acieries d'Imphy. Les résultats qui ont été obtenus jusqu'ici, et qui sont reproduits ci-dessous, sont tout à fait encourageants du point de vue de la stabilité :

Valeurs du fil n° 1136, à 15°.

	m	mm
3 mai 1937.....	24	— 0,871
27 octobre 1937.....	»	— 0,881
9 novembre 1937.....	»	— 0,871
31 mai 1938.....	»	— 0,845
11 juillet 1938.....	»	— 0,865
19 septembre 1938.....	»	— 0,862
20 février 1939.....	»	— 0,849
7 mars 1939.....	»	— 0,849

Ainsi que je le signalais dans mon précédent rapport au Comité, M. Bonhoure a fait établir par les Ateliers Carpentier un fil de 24^m (n° 1137) muni de réglottes comportant, non seulement une division observable à la loupe, mais encore un tracé fin, exécuté par M. Volet, destiné à être pointé au microscope.

La distance des deux tracés ayant été déterminée au petit comparateur à déplacement longitudinal, plusieurs mesures du fil ont été faites sur la base à microscopes et sur la base à repères. Les premières valeurs obtenues sur celle-ci étaient systématiquement plus faibles de 0^{mm},03 environ que celles qu'on déduisait des comparaisons du fil sur la base à microscopes. On a constaté alors que cette différence provenait des 12 fils du Bureau définissant la longueur de la base à repères, qui s'étaient allongés de façon un peu anormale de cette même quantité. De nouvelles mesures où n'intervenaient pas ces 12 fils ont conduit à des résultats concordant avec ceux de l'autre méthode.

Je rappelle que l'intérêt de ce double tracé réside dans la rapidité beaucoup plus grande, à précision égale, d'une détermination du fil à l'aide de la base à microscopes.

MM. Bonhoure et Moreau ont aussi entrepris des expériences, qui se poursuivent encore, sur deux fils de 24^m dont l'un reste

enroulé constamment sur un tambour de 50^{cm} de diamètre, tandis que l'autre fil est enroulé et déroulé fréquemment. Les résultats des mesures sont présentement les suivants :

Valeurs à 15°.

	Fil P ₁ (enroulé constamment).	Fil P ₂ (enroulé et déroulé 10 fois entre deux mesures consécutives).
	m μ	m μ
23 mars 1938.....	24 + 1071	24 + 554
5 avril 1938.....	+ 1085	+ 550
25 avril 1938.....	+ 1091	+ 569
6 mai 1938.....	+ 1090	+ 601
31 mai 1938.....	+ 1090	+ 610
11 juillet 1938.....	+ 1096	+ 626
19 septembre 1938.....	+ 1089	+ 647
7-17 novembre 1938.....	+ 1115	+ 668
9 décembre 1938.....	+ 1136	+ 690
23 décembre 1938.....	+ 1135	+ 701
10 janvier 1939.....	+ 1146	+ 709
23 janvier 1939.....	+ 1127	+ 707
6 février 1939.....	+ 1137	+ 709
20 février 1939.....	+ 1133	+ 731
7 mars 1939.....	+ 1128	+ 724
21 mars 1939.....	+ 1129	+ 725
24 mars 1939.....	+ 1129	+ 741
	Fil P ₁ (enroulé et déroulé 10 fois entre deux mesures consécutives).	Fil P ₂ (enroulé constamment).
	m μ	m μ
8 avril 1939.....	24 + 1136	24 + 742
28 avril 1939.....	+ 1147	+ 734
15 mai 1939.....	+ 1124	+ 739

Pendant les deux années qui ont précédé ces expériences et où les fils avaient été conservés déroulés et sans tension ils avaient présenté une bonne stabilité. Les résultats ci-dessus sont donc affranchis en grande partie de l'allongement habituel de l'invar. Ils montrent que les deux fils se sont allongés sensiblement pendant les expériences, mais que celui qui était enroulé et déroulé fréquemment s'est allongé bien plus que l'autre.

A la suite d'expériences semblables, mais moins précises, faites autrefois au Bureau international, on avait cru pouvoir

indiquer que : 1° les enroulements et déroulements ne modifient pas la longueur des fils; 2° l'enroulement prolongé d'un fil est sans effet sur sa longueur. Ce n'étaient là sans doute que des conclusions approchées.

Dans une étude plus récente, faisant suite à de nombreuses mesures sur le terrain, M. Bonsdorff, Secrétaire général de la Commission Géodésique Baltique, indique que les fils s'allongent pendant l'enroulement, ce qui est en accord avec nos résultats actuels.

La petite source d'erreur venant de l'allongement un peu supérieur à l'attente des 12 fils du Bureau, mis en évidence par les mesures effectuées sur le fil muni de réglottes à deux divisions dont j'ai parlé plus haut, a conduit M. Bonhoure à envisager une modification importante de notre méthode de mesure des fils géodésiques, qui consisterait à équiper notre base à microscopes actuelle avec des repères amovibles, dont la distance serait déterminée à l'aide de la règle de 4^m, sans avoir à utiliser, comme nous le faisons actuellement, ni les deux fils spéciaux à traits fins, ni peut-être même les 12 fils à traits normaux. Un projet dans ce sens nous a été remis récemment par la Société Genevoise d'Instruments de Physique. Au moment de l'installation de la base primaire actuelle en 1925, l'intermédiaire des deux fils à traits fins avait été jugé nécessaire en raison de la crainte que l'on avait de provoquer un mouvement des microscopes par la mise en place des repères, après passage de la règle. Aujourd'hui, avec l'expérience que nous avons de la stabilité d'instruments similaires, et moyennant certaines précautions, il ne nous semble pas que cette crainte soit justifiée.

Avec les démontages, renouvellements des glaces séparatrices, et transformations diverses accomplis à l'interféromètre Michelson, comme il a été dit plus haut, les expériences à cet instrument sont restées interrompues. J'ai repris récemment son remontage et son réglage avec l'aide de MM. Roux et N. Cabrera.

*Interférences
lumineuses.*

M. N. Cabrera a été chargé des études et des expériences destinées à préparer la mesure des fils géodésiques de 2^m par les interférences lumineuses. Il a d'abord monté des expériences sur les phénomènes de superposition avec deux étalons Perot-Fabry, en lumière monochromatique ou lumière blanche, convergente ou parallèle. Il a fait la discussion des propriétés des anneaux de

superposition en lumière convergente monochromatique, celle de leur relation avec les franges de superposition qui apparaissent quand la différence de marche est suffisamment petite; il a vérifié la concordance qualitative des résultats théoriques et expérimentaux.

Il a ensuite établi un projet de multiplication de l'étalon de $6^{\text{cm}},25$ jusqu'à l'étalon de 1^{m} , à monter à la salle 6, suivant la méthode Perot-Fabry modifiée par Watanabe. A cette occasion, il a relevé quelques corrections indispensables, dues à l'inclinaison δ du faisceau lumineux par rapport aux miroirs des étalons. Une correction, facilement calculable, et d'ailleurs très petite, est proportionnelle à δ^2 ; une autre est proportionnelle à $\delta \cdot \alpha$, où α est l'angle entre les deux étalons; celle-ci est plus importante et d'ailleurs mal calculable, puisque la valeur de l'angle α ne ressort pas du phénomène observé. Pour rendre la correction négligeable, il faudrait que cet angle fût de l'ordre de $1''$, dans les conditions de la réalisation pratique. Savoir si ce réglage est possible ou non est une question d'expérience. Une discussion des travaux de Watanabe et ses collaborateurs, du point de vue de ces corrections, semble difficile à cause du manque de détails dans leurs exposés.

Avec M. Roux, M. N. Cabrera a aussi étudié les conditions optima pour la densité des diverses aluminures, dans la méthode Watanabe, appliquée en particulier à la multiplication envisagée; mais, depuis plus d'un an que les miroirs sont chez l'alumineur, surchargé par ailleurs, il n'a pas été possible de les récupérer.

M. N. Cabrera a fait la mesure de l'ordre d'interférence de l'étalon de $6^{\text{cm}},25$ dans l'installation actuelle. Étant donnée la différence de marche (125^{mm}), il était nécessaire, dans les raies du mercure et du néon, d'utiliser, pour la première fois avec les lames semi-argentées, les corrections de complexité que j'avais déterminées à l'interféromètre Michelson. M. N. Cabrera a obtenu une coïncidence des excédents fractionnaires, très acceptable entre 12 raies, confirmant ainsi que, aux grandes différences de marche, les franges des lames semi-argentées reprennent une allure sinusoïdale, comme celles qui se produisent à toutes différences de marche à l'interféromètre Michelson. L'ordre d'interférence trouvé par M. N. Cabrera dans la raie rouge du cadmium est de 1939341 (ou $62^{\text{mm}},435$) à $19^{\circ},5$, pour la double distance, entre les deux lames, alors que la valeur donnée, par

Benoît-Fabry-Pérot était environ 1939350 en 1906 : concordance très satisfaisante à 33 années d'intervalle.

En plus de la mesure mentionnée ci-dessus des petits calibres de 12^{mm} en invar chromé, j'ai exécuté, par les interférences lumineuses, la détermination de quelques calibres industriels allant de 22 à 100^{mm}. A titre d'exercice, MM. Roux, Terrien, N. Cabrera et Salvi ont mesuré aussi les mêmes calibres. L'écart entre les résultats de deux observateurs différents est toujours resté de l'ordre de 1 à 2 centièmes de micron.

Les mesures des masses et des densités restent confiées à M. Bonhoure. Il a déterminé, avant leur ajustage, la densité des six Kilogrammes en platine iridié dont j'ai parlé tout à l'heure, et a trouvé les résultats suivants :

*Masses.
Densités.*

	Densité à 0°.
Kilogramme n° 43.....	21,5349
» n° 44.....	21,5394
» n° 45.....	21,5219
» n° 46.....	21,5225
» n° 47.....	21,5409
» n° 48.....	21,5227

Ces valeurs sont dans l'ensemble un peu inférieures à la densité moyenne des prototypes nationaux de la coulée Matthey, qui était de 21,54, mais bien au-dessus cependant de la limite 21,50, fixée par le cahier des charges de 1882.

La masse de ces Kilogrammes a été ensuite déterminée. Les Kilogrammes n°s 45 (République Argentine) et 46 (Indes Néerlandaises) qui étaient attendus par leurs propriétaires, ont été d'abord comparés, dans toutes les combinaisons possibles deux à deux, avec les prototypes n°s 9 et 31 du Bureau. Les Kilogrammes n°s 44 et 48 (disponibles), 9 et 31 (Bureau international) ont été comparés de la même façon, puis chacun d'eux a été comparé aux Kilogrammes n°s 41, 43 et 47. D'autre part, conformément à une décision du Comité international en date du 26 juin 1937, le Kilogramme international et ses témoins n°s 7, 32, 41 et K 1, auxquels on a ajouté les Kilogrammes n°s 43 et 47 construits par le Comptoir Lyon-Alemand, ont fait l'objet de 21 comparaisons deux à deux, dans toutes les combinaisons possibles. M. Bonhoure a effectué enfin une nouvelle détermina-

tion des Kilogrammes C (cylindrique) et S (sphérique) en platine iridié, qui avaient été établis par Oertling à l'origine du Bureau international. Tout cet ensemble de mesures ne nous a pas paru encore suffisamment complet et contrôlé pour étayer une discussion approfondie. Les résultats en sont donnés ci-après seulement à titre provisoire.

Æ.....	1 kg + 0 ^{mg}	C.....	1 kg + 0,223 ^{mg}
K ₁	+ 0,158	S.....	+ 0,368
7.....	- 0,481	43.....	+ 0,260
32.....	+ 0,133	44.....	+ 0,269
41.....	+ 0,341	45.....	(- 0,256)
9.....	+ 0,333	46.....	(+ 0,241)
31.....	+ 0,159	47.....	+ 0,358
		48.....	+ 0,107

Pour répondre au vœu exprimé par M. Sears, nous avons fait aussi une détermination du « Kilogramme des Archives », mis obligeamment à notre disposition par M. le Directeur des Archives nationales de France. Sa valeur est actuellement la suivante :

$$\text{Kilogramme des Archives} = 1 \text{ kg} - 0^{\text{mg}},425.$$

en admettant la même densité (20,5460 à 0°) qu'autrefois.

En juin 1937, le Kilogramme prototype n° 20, appartenant aux États-Unis d'Amérique, a été comparé à nos prototypes d'usage nos 9 et 31. Il n'avait pas été déterminé depuis les comparaisons initiales. Son ancienne valeur et la nouvelle (d'après 9 et 31) sont les suivantes :

Kilogramme.	Valeurs		Différence N - A.
	ancienne.	nouvelle.	
20.....	1 kg - 0 ^{mg} ,039	(1 kg - 0 ^{mg} ,021)	+ 0 ^{mg} ,018

Parmi les autres études de cette classe, je signalerai la détermination de la masse et du volume d'un Kilogramme en laiton appartenant à l'Institut de Recherches techniques de l'État de Sao-Paulo, l'étude de deux Kilogrammes et de deux séries de poids en baros appartenant à l'Office national des Poids et Mesures de la République Argentine, et celle d'un Kilogramme en baros appartenant au Ministère du Commerce à Paris.

Les Kilogrammes en acier inoxydable, Uranus 10, Arc 2702 A et Nigral D, ont été déterminés à nouveau. Des pesées hydro-

statiques ont confirmé le volume du premier Kilogramme et fait connaître celui de chacun des deux autres.

Les valeurs de leur masse obtenues jusqu'à présent sont les suivantes :

		Uranus 10.	Arc 2702 A.	Nigral D.
Janvier	1931.....	999 889,87 ^{mg}		
Février	1931.....	999 889,91		
Octobre	1931.....	999 889,87		
Juin	1932.....	999 889,88		
Avril	1933.....	999 889,90		
Janv.-Fév.	1934.....	999 889,88	1 004 657,35 ^{mg}	1 002 873,71 ^{mg}
Décembre	1934.....	999 889,91	—	—
Mai-Juin	1935.....	—	1 004 657,31	1 002 873,68
Avril	1937.....	999 889,91	—	—
Mars	1938.....	—	1 004 657,57	1 002 873,82
Avril	1938.....	999 889,82	1 004 657,39	1 002 873,66
Mai	1939.....	999 889,86	—	—
Moyenne.....		999 889,88	1 004 657,40	1 002 873,72

La valeur d'avril 1938 de la pièce en Uranus 10, un peu faible, avait été obtenue après deux pesées hydrostatiques. Les irrégularités que l'on constate dans les résultats correspondant aux deux autres Kilogrammes sont probablement dues aux lettres et chiffres qui sont marqués assez profondément sur leur surface, et dont le nettoyage est difficile. Dans l'ensemble, sur tous ces Kilogrammes on ne remarque pas de marche avec le temps.

Pour sa propre formation métrologique, M. Terrien a étalonné plusieurs séries de masses. Il a repris l'étude des petites masses (1 à 5^{ms}), de la série 1 en nickel et de la série Oe en platine, ainsi que de quelques petites surcharges appartenant au Bureau. C'est à lui qu'a été confié l'étalonnage d'une série de 1^{ms} à 50^s en baros, demandé par la République Argentine.

Les études thermométriques sont toujours au premier plan des préoccupations du Bureau international. L'étude des thermomètres à mercure, destinés à nos propres expériences ou demandés par des physiciens étrangers, a été assurée principalement par MM. Roux, Cabrera et Moreau. M. Terrien s'est initié aux méthodes en exécutant l'étude complète du thermomètre Prolabo [50·100] n° 245. A titre d'exercice, M. Salvi a fait une nouvelle

Études thermométriques.

étude partielle de l'ancien thermomètre Alvergniat n° 23372; et les résultats obtenus par lui (calibre, coefficient de pression, intervalle fondamental) sont en accord très satisfaisant avec ceux de l'étude primitive, qui date d'environ 50 ans.

M. Roux a proposé de diaphragmer les lunettes de visée des thermomètres à mercure dans le plan focal de l'objectif, de façon que la pupille d'entrée soit rejetée à l'infini, ce qui a l'avantage de donner, dans le plan de visée de l'oculaire, une perspective cylindrique de l'objet. Ainsi dans tout le champ de la lunette, la parallaxe entre l'extrémité de la colonne mercurielle et l'échelle divisée conserve-t-elle la même valeur. Les calibrages du thermomètre ne souffrent plus de ce genre d'erreur, et à la détermination du point 0 comme du point 100, l'erreur se trouve intégralement éliminée par retournement autour de l'axe du thermomètre, sans la précaution spéciale de maintenir l'extrémité de la colonne au même point du champ. Cet avantage est important pour les thermomètres à simple graduation; il l'est beaucoup moins pour les thermomètres récents à double graduation.

Les observations sur les thermomètres en quartz fondu mentionnés à mon précédent rapport ont été poursuivies par M. Moreau. Deux nouveaux thermomètres ont été commandés à la Maison Siebert et Kuhn; l'un couvrant l'intervalle de température 0.50, l'autre l'intervalle 50.100. Ces instruments, portant les n°s 254 et 255, ont été livrés en janvier 1938; remis aussitôt pour graduation à la Société Prolabo, ils ont été définitivement reçus au Bureau en octobre 1938 et février 1939. Ils présentent, par rapport au premier thermomètre étudié (S. K.), une notable amélioration quant à la régularité du calibre; par contre, les tiges ont des stries, des bulles et présentent des sinuosités (1), qui en rendent l'aspect extérieur moins beau, et qui ont conduit à renoncer au tracé d'une graduation dite à « double division ». Une sélection plus sévère des tiges par le constructeur permettra sans aucun doute d'éviter ces défauts, ou tout au moins de les atténuer.

Les corrections maxima suivantes ont été trouvées; (pour comparaison, on a reproduit ci-dessous les valeurs obtenues sur le premier thermomètre S. K.) :

(1) Défauts dont le premier thermomètre (S. K.) était exempt.

S. K.	N° 254.	N° 255.
div	div	div
+1,16	+0,16	+0,62
-1,02	-0,51	-0,39

Les coefficients de pression extérieure ont donné les valeurs ci-après :

S. K.	N° 254.	N° 255.
0,000 16	0,000 12	0,000 12

exprimées en degré par millimètre de mercure.

Les observations sur la position du zéro ont été poursuivies sur les thermomètres anciens et nouveaux. Les derniers résultats obtenus sur les anciens thermomètres confirment les premières conclusions sur la stabilité du zéro, tant pour la « dépression » que pour « l'ascension lente » ou « marche progressive ».

Les expériences sur la stabilité du zéro après élévation de température jusqu'à 300°, prévues sur les thermomètres n°s 254 et 255, n'ont pas encore été exécutées; seules quelques observations de l'intervalle fondamental (0-100) de chaque thermomètre ont confirmé les résultats déjà observés sur les thermomètres anciens.

Ci-dessous sont résumés les principaux résultats de la position du zéro, obtenus sur l'ensemble de ces thermomètres :

	N° 3050 (à division rectifiée) *	S. K.	N° 254.	N° 255.	Remarques.
juin 1936.....	0 -0,46 ₃	0	-	-	maintenu à 17°
août 1936.....	{ -0,46 ₃ -0,46 ₅	+0,031	-	-	maintenu à 19°
		+0,030	-	-	qq. instants à 100°
décembre 1936..	{ -0,46 ₈ -0,46 ₉	+0,028	-	-	maintenu à 17°, 5
		+0,028	-	-	qq. instants à 100°
janvier 1937....	-0,46 ₈	+0,029	-	-	maintenu 1 mois à 100°
février 1937....	-0,46 ₉	+0,030	-	-	{ 2 ^h 15 ^m à - 40° 1 ^h 30 ^m à +140°
février 1937....	-0,46 ₂	+0,031	-	-	18 ^h 30 ^m à +140°
février 1938....	-0,47 ₅	+0,028	-	-	maintenu à 19°
décembre 1938..	-0,47 ₇	+0,026	-0,173	-	maintenu à 17°
avril 1939.....	{ - -	-	-0,172	+0,022	maintenu à 17°
		-	-0,173	+0,025	qq. instants à 100°

* Les observations sur ce thermomètre sont assez imprécises, en raison de la qualité des graduations et de la forme de la section.

Il est à espérer que les observations ultérieures qui seront faites sur ces thermomètres confirmeront de façon définitive la parfaite stabilité de leur zéro, et que les qualités de construction de ces instruments s'amélioreront suffisamment pour permettre de les utiliser avec sécurité comme thermomètres à mercure de précision.

*Mesures élec-
triques.*

Les comparaisons effectuées au Bureau international entre les unités électriques conservées par les divers Laboratoires nationaux devaient avoir une importance particulière en 1939, puisqu'il était prévu qu'elles serviraient dans le passage aux unités absolues, annoncé pour le 1^{er} janvier 1940.

Pour ce qui concerne les ohms, les mesures effectuées sur un étalon Leeds et Northrup, présentant des résistances particulièrement élevées dans ses conducteurs d'adduction du courant et de prise de potentiel, a attiré notre attention sur la possibilité d'erreurs, provenant de ces résistances, dans les comparaisons. M. Romanowski s'est appliqué à les faire disparaître, et, en liaison avec M. Curtis du National Bureau of Standards, dont nous avons vivement apprécié la haute expérience, il a introduit sur notre pont double de profondes modifications portant spécialement sur les points suivants :

a. Transfert du shunt de mesure, de l'ohm étudié à l'ohm tare, ce dernier étant choisi parmi les modèles à prises de potentiel externes, où les résistances ci-dessus indiquées sont négligeables;

b. Établissement d'un dispositif permettant de mettre en court-circuit les extrémités des bras extérieurs du pont double, et addition de deux ohms en série avec les bras extérieurs, de façon à obtenir des équations supplémentaires, qui, combinées avec celle du pont double, permettent d'éliminer les résistances des dérivations de l'étalon étudié;

c. Remplacement de la boîte à fiches qui servait précédemment de shunt de mesure, par une boîte à manettes de précision, établie par la Cambridge Instrument Co. Les valeurs de la boîte-shunt et de l'ohm servant de tare ont été déterminées aussitôt avant les comparaisons, de sorte que l'on pouvait appliquer aux lectures toutes les corrections nécessaires.

Le bien-fondé des modifications effectuées semble être confirmé par un accroissement sensible de la précision. Les erreurs rési-

duelles (sauf une seule égale à $0\mu\Omega, 11$) sont nettement inférieures au dixième de microhm, contre des erreurs de $0\mu\Omega, 33$ en 1935 et $0\mu\Omega, 16$ en 1937. Les résultats des comparaisons exécutées par M. Romanowski et par moi-même, rapportés à l'ohm moyen Ω_M tel qu'il a été défini par le Comité consultatif d'Electricité de 1935, sont :

Allemagne.....	$\Omega_A = \Omega_M + 9,1 \mu\Omega$
États-Unis.....	$\Omega_E = - 3,2$
France.....	$\Omega_F = + 3,7$
Grande-Bretagne.....	$\Omega_G = - 6,5$
Japon.....	$\Omega_J = - 14,4$
U. R. S. S.....	$\Omega_U = + 0,8$

Les étalons nationaux voyageurs dont les valeurs ont été déterminées en fonction de Ω_M ont, après nos comparaisons, réintégré leurs laboratoires respectifs, où ils ont été aussitôt remesurés, tandis qu'un ensemble de six étalons, dont la stabilité paraît être assurée, restent au Bureau et serviront à garder l'unité moyenne jusqu'au prochain travail analogue.

La comparaison des groupes voyageurs d'éléments Weston a été exécutée par MM. Romanowski et Roux; elle a eu lieu à la même époque que celle des ohms et a fourni les résultats suivants :

Allemagne.....	$V_A = V_M - 5,5 \mu V$
États-Unis.....	$V_E = - 11,2$
France.....	$V_F = + 18,5$
Grande-Bretagne.....	$V_G = + 6,5$
Japon.....	$V_J = + 1,3$
U. R. S. S.....	$V_U = - 23,1$

L'examen des erreurs résiduelles dans l'intercomparaison de 1939 montre que la précision a été du même ordre que lors de la comparaison de 1937, ce qui paraît normal étant donnée la grande analogie des conditions où étaient exécutés ces deux travaux. Les groupes nationaux sédentaires et les groupes du Bureau conserveront les résultats obtenus jusqu'à une nouvelle intercomparaison.

Les comptes rendus détaillés de ces deux travaux sont donnés en annexe du Comité consultatif d'Électricité (voir p. E 62 et E 69).

Avant les comparaisons, les appareils de mesure ont été eux-

mêmes soigneusement étudiés : le potentiomètre par M. Roux, et le pont double par M. Romanowski.

Ont été en outre vérifiés au Bureau par les soins de M. Romanowski, à des époques diverses, les étalons électriques des institutions suivantes : Direction des Poids et Mesures de Roumanie (6 éléments et 1 ohm); National Research Institute de Shanghai (10 éléments et 2 ohms); Institut Central Royal Hongrois (4 éléments et 2 ohms); National Research Council du Canada (4 éléments), et Ministère du Commerce de France (1 ohm).

Le pont double a servi pour la détermination périodique de la valeur des sections constituantes de la bobine servant de passage de l'unité à la valeur 10 ohms. La stabilité de la bobine s'est révélée suffisante pour le but auquel elle est destinée. Pour garder la valeur 10 ohms, nous avons recouru aux excellents étalons du National Bureau of Standards cités plus haut.

L'étude des étalons de 10 ohms est, pour ainsi dire, rentrée dans le cadre des travaux habituels du Bureau. Le pont potentiomètre qui effectue ces mesures a servi à l'étude du coefficient thermique de la bobine de passage de 1 à 10 ohms, à l'étalonnage des boîtes de résistance et à la mesure d'un étalon de 10 ohms soumis au Bureau par le Laboratoire d'Essais de Paris.

Dans un intervalle de 6 degrés autour de la température moyenne de 20°, M. Roux a étudié la force électromotrice et la résistance intérieure d'éléments Weston de diverses fabrications. Il a pu conclure que le coefficient de température de la force électromotrice n'a pratiquement aucune influence dans les comparaisons des éléments Weston, qui, au Bureau international, sont exécutées à la température de 20°, à quelques dixièmes de degré près. Les éléments Weston à électrolyte « neutre » étudiés avaient un coefficient thermique un peu plus fort en valeur absolue que les éléments à électrolyte dit « acide ». La différence est de l'ordre de $1 \cdot 10^{-6}$ par degré, au voisinage de 20°.

Le coefficient thermique de la résistance intérieure est négatif; sa moyenne prise sur 7 éléments de constructions différentes, a été

$$\frac{1}{R_i} \left(\frac{dR_i}{d\theta} \right)_{20} = -0,03 \text{ par degré,}$$

en bon accord avec la valeur donnée par M^{me} Brickvedde et

M. Vinal. Il est un peu plus fort en valeur absolue pour les éléments neutres que pour les éléments acides. A 20° la valeur absolue de la résistance intérieure des 7 éléments Weston examinés va de 500 à 1000 ohms.

M. Roux a mesuré encore le pouvoir thermoélectrique de l'alliage d'or à 2 pour 100 de chrome contre le cuivre. La valeur de 8,5 microvolts par degré, trouvée à 20°, est également en bon accord avec celles d'autres laboratoires.

Au cours des deux dernières années, le Bureau, avec la collaboration de l'Association des Ouvriers en Instruments de Précision, a fait ses premiers essais dans la construction des étalons de résistance. Au cours de ces essais un grand nombre de bobines, tant en manganine qu'en alliage chrome-or, de 1, 10 et 100 ohms, ont été réalisées et étudiées, ce qui nous fait acquérir petit à petit les connaissances pratiques que doit posséder un constructeur d'étalons.

Au chapitre des instruments, j'ai décrit brièvement les installations photométriques réalisées par M. Terrien. Quelques expériences préliminaires de mesures au photomètre visuel ont déjà été effectuées; elles ont porté sur des lampes étalonnées par le Laboratoire central d'Electricité et ont montré que l'ensemble de l'installation est en état de fonctionner correctement, tout en mettant en évidence les perfectionnements de détail qui seraient utiles, pour accélérer et faciliter les mesures.

*Premières
expériences
photo-
métriques.*

Les cellules à couche d'arrêt au sélénium ne sont guère en faveur pour les mesures de précision. Les mauvais résultats qu'elles donnent sont dus à deux causes : 1° la cellule n'est pas fidèle; 2° sa courbe de sensibilité spectrale n'est pas celle de l'œil. Mais M. Terrien se fait fort de parer à ces deux défauts. Il propose d'obvier au premier par un contrôle répété sur une lampe tare constante; il a construit et expérimenté un montage d'essai dans ce but. Quant au deuxième défaut, il peut être sans influence avec des cellules convenablement sélectionnées, si l'on se borne à comparer des lampes à incandescence ayant sensiblement la même couleur. Dans l'état actuel des expériences en cours depuis un an, M. Terrien pense que la cellule ainsi utilisée donnera d'excellents résultats; son montage lui a déjà servi à commencer une étude sur la stabilité des lampes étalons à incandescence.

En vue de mes expériences d'interférométrie, où l'insuffisance

de lumière risque toujours d'être un écueil, M. Terrien a mesuré le pouvoir réflecteur, côté verre et côté métallisé, et le pouvoir transmissif des glaces métallisées, semi-transparentes, utilisées dans nos instruments, particulièrement dans l'interféromètre Michelson, ainsi que le pouvoir réflecteur de miroirs opaques. Ayant étudié des échantillons de verre, argentés, aluminés et rhodiés, fraîchement préparés, et des miroirs plus anciens, repolis ou non, il a obtenu des résultats dont je ne puis donner ici le détail, qui confirment que l'aluminure, inférieure à une argentine neuve, reste préférable pour des travaux de longue durée, grâce à son inaltérabilité relative. J'ai dit déjà les mesures faites sur les pouvoirs transmissifs du nouvel appareil à déplacement du faisceau lumineux de l'interféromètre Michelson, comparé au précédent.

Pour toutes ces mesures, M. Terrien a employé une cellule photoélectrique au sélénium, couverte en général par un filtre vert; il a vérifié que le courant de court-circuit débité était, dans les conditions d'emploi, proportionnel à l'éclairement avec une approximation suffisante.

Divers.

Une Note ancienne de O. J. Broch, insérée au tome 7 des *Travaux et Mémoires du Bureau international*, calcule la forme de la fibre neutre d'une règle supportée par deux points, suivant la position de ces points. Ce calcul donne le raccourcissement apparent de la règle (différence entre sa longueur, lorsqu'elle est libre, soustraite à l'action de la pesanteur, et cette même longueur lorsqu'elle est soumise à cette action), suivant son mode de support. Broch cherche ainsi la distance des supports correspondant au minimum de raccourcissement apparent (points de flexion minima); il ne s'intéresse qu'au raccourcissement minimum de la *longueur totale* et donne le rapport λ de la distance l des supports à la longueur totale L de la règle. M. Salvi a repris ce calcul dans le cas plus général, où les traits utiles ne sont pas tout à fait aux extrémités de la règle et laissent entre eux une distance $L' < L$, et où l'on cherche à rendre minimum le raccourcissement ϵ de la distance des traits.

Ci-dessous sont indiqués les résultats du calcul de M. Salvi appliqué : 1° à nos prototypes en platine iridié si $L' = 1^m$ et $L = 1^m,020$ (colonne S_1); 2° à notre règle géodésique envar I_5 où $L' = 4^m$, $L = 4^m,054$ (colonne S_2). A titre de

comparaison sont reproduits les nombres correspondants déduits des formules de Broch (colonne B₁, L' = L = 1^m, 020; colonne B₂, L' = L = 4^m, 054).

	Prototypes.		I ₅ .	
	(B ₁).	(S ₁).	(B ₂).	(S ₂).
$\lambda = \frac{l}{L} \dots$	0,559380	0,558782	0,559380	0,558976
$\varepsilon \dots \dots \dots$	0 ^μ ,0006153	0 ^μ ,0006147	0 ^μ ,1988	0 ^μ ,1955

Il a en outre établi une courbe donnant le rapport λ correspondant au minimum de raccourcissement, en fonction du rapport $\frac{L'}{L}$.

Je tiens à signaler les six conférences que, sur ma demande, M. Terrien a faites en mai 1938, au personnel du Bureau international sur un sujet qui lui était particulièrement familier à son entrée chez nous *Les particules élémentaires du monde physique*. Ces conférences ont été tirées au duplicateur par nos soins et pourraient être données aux membres du Comité qu'intéresseraient ces questions, présentées dans une rédaction facile à lire et exempté de tout calcul.

De même M. Romanowski nous a fait deux conférences, également tirées au duplicateur, sur *La théorie classique du magnétisme et de l'électricité exposée dans le système à 4 unités fondamentales*.

Les photographies de toutes sortes que nécessite le travail du laboratoire ont été le plus souvent exécutées par M. Moreau, qui a mis notre jeune calculateur M. Leclerc au courant de ce genre de travail.

Enfin je dois dire tous les services que nous ont rendus nos trois calculateurs : MM. Péronno, Leclerc et Hamon, pour le secrétariat des expériences et l'exécution d'un très grand nombre de calculs.

Un certain nombre de publications concernant les nouveaux travaux ont été faites en annexes de nos Procès-Verbaux, aux Comptes rendus de l'Académie des Sciences et dans divers journaux scientifiques.

Nous avons aussi commencé à préparer les premières

réductions du tome XX des Travaux et Mémoires du Bureau international. Autant qu'on peut en décider dès maintenant, ce tome XX comprendra les deux Mémoires déjà imprimés, l'un de MM. Keesom et Tuyn : *L'échelle des thermomètres à gaz*, l'autre de MM. Roeser, Schofield et Moser, intitulé : *La comparaison internationale des échelles de température entre 660° et 1063°*; un Mémoire relatant mes expériences exécutées depuis plusieurs années sur la *Mesure des étalons en quartz, témoins de l'unité métrique*; deux Mémoires de M. Volet et de moi-même, l'un sur la *Première vérification périodique des mètres nationaux et déterminations diverses*, l'autre sur les *Valeurs des mètres retracés, témoins du Mètre international, et mètres d'usage du Bureau*; un Mémoire de M. Bonhoure, sur la *Détermination des Kilogrammes prototypes*; les *Comptes rendus de la Neuvième Conférence générale des Poids et Mesures* qui va se tenir, suivis du fascicule habituel sur les *Récents progrès du Système métrique*, par moi-même.

Suivant l'usage, la liste des Certificats et Notes d'étude délivrés entre le 5 mai 1937 et le 31 août 1939 est reproduite ci-après.

CERTIFICATS

DÉLIVRÉS DU 5 MAI 1937 AU 31 AOUT 1939.

1.	1937	Mai	18.	Quatre fils géodésiques de 24 ^m n ^{os} A 34, A 43, 518, 520; un fil de 8 ^m n ^o 503 (addition au certificat du 16 mai 1930)..	Institut géographique militaire roumain.
2.	»	»	18.	Ruban de 4 ^m 139 R-4 n ^o 66...	Id.
3.	»	»	22.	Un fil de 24 ^m n ^o 1096.....	Service topographique des Indes néerlandaises.
4.	»	»	24.	Trois fils de 24 ^m ; un fil de 8 ^m ; un ruban de 4 ^m (addition au certificat du 29 déc. 1927)..	Id.
5.	»	Juin	8.	Décimètres n ^{os} 8 et 47 (addi- tion aux certificats du 30 avril 1901).....	Bureau fédéral des Poids et Mesures et d'Arpen- tage d'Autriche.
6.	»	»	29.	Kilogramme prototype n ^o 20.	États-Unis d'Amérique.
7.	»	Juil.	22.	Un fil de 50 ^m et un fil de 20 ^m (Morin).....	Service topographique chérifien à Rabat.
8.	»	Août	30.	Un ohm étalon S. H. n ^o 419 124.....	Direction des Poids et Mesures, Roumanie.
9.	»	»	30.	Six éléments Weston n ^{os} 1 à 6.	Id.
10.	»	Sept.	10.	Une règle en invar de 1 ^m n ^o 621 (addition au certificat du 29 juin 1930).....	Institut géographique militaire, Florence.
11.	»	»	22.	Un étalon à bouts plans de 990 ^{mm} muni de deux calibres auxiliaires tracés.....	Physikalisch-Technis- che Reichsanstalt.
12.	»	»	24.	Un étalon à bouts sphériques de 1 ^m , en quartz fondu....	Reichsamt für Lande- saufnahme, Berlin.
13.	»	Oct.	11.	Deux étalons de résistance n ^{os} 79 et 80.....	Appartenant au N. B. of Standards et prêtés au N. Research Inst. of Physics à Shanghai.

14.	»	»	11.	Dix éléments Weston.....	{ National Research Institute of Physics, Shanghai.
15.	»	Nov.	6.	Un kilogramme en laiton doré.	{ Instituto de Pesquisas Technologicas do Estado de Sao-Paulo.
16.	»	»	18.	Un mètre en nickel n° 81 (addition au certificat du 16 juin 1921).....	{ Service des Poids et Mesures de la République Argentine.
17.	»	»	25.	Un ruban en invar de 165 ^m (dilatation).....	{ India Store Department.
18.	»	»	26.	Deux kilogrammes en baros (addition au certificat du 18 juillet 1921).....	{ Office national des Poids et Mesures de la République Argentine.
19.	»	»	26.	Série de poids en baros 500 à 1 ^g (addition au certificat du 10 avril 1921).....	{ Id.
20.	»	»	26.	Série de poids en baros 500 à 1 ^{mg} (addition au certificat du 22 août 1921).....	{ Id.
21.	»	»	30.	Étalons de résistance 1 ohm, n°s 2937, 2938.....	{ Institut central royal hongrois des Poids et Mesures.
22.	»	»	30.	Trois éléments Weston n°s 8847, 8882, 8895.....	{ Id.
23.	»	Déc.	29.	Quatre fils de 25 ^m , un fil de 8 ^m , un ruban de 4 ^m	{ Royal Survey Department, Bangkok.
24.	1938	Janv.	22.	Trois fils de 24 ^m , n°s 685, 690, 691 (addition au certificat du 10 décembre 1931).....	{ Ministère des Colonies, Paris.
25.	»	»	26.	Quatre fils de 24 ^m , un fil de 8 ^m , un ruban de 4 ^m (addition au certificat du 15 juin 1906).	{ Institut géographique et cadastral du Portugal.
26.	»	Fév.	15.	Thermomètre Prolabo n° 245.	{ Faculté de Médecine de Kaboul.
27.	»	Mars	9.	Cinq fils n°s 1134, 633, 1121, 755, 1041.....	{ Service géographique de l'État de Minas-Geraes.
28.	»	Avril	1.	Un kilogramme en baros.....	{ Ministère du Commerce, Paris.
29.	»	»	19.	Quatre fils de 24 ^m , un fil de 8 ^m (addition au certificat du 24 mai 1937).....	{ Service topographique des Indes Néerlandaises.

30.	»	»	28.	Quatre fils de 24 ^m , un fil de 8 ^m , un ruban de 4 ^m	{ Service géographique de l'Armée, Paris.
31.	»	»	29.	Cinq fils de 24 ^m , un fil de 8 ^m .	{ Institut cartographique militaire, Bruxelles.
32.	»	»	29.	Un ruban de 4 ^m 139 R-9 n° 70.	Id.
33.	»	Juin	13.	Quatre fils de 24 ^m , un fil de 8 ^m .	{ Ministère des Colonies, Lisbonne (Timor).
34.	»	»	22.	Cinq thermomètres (tige émaillée).....	{ C ^{ie} du Gaz de Paris (Usine expérimentale).
35.	»	»	23.	Trois fils de 20 ^m	{ Société des Lunetiers, Paris.
36.	»	»	30.	Huit fils de 24 ^m , un de 8 ^m , un ruban de 4 ^m (addition au certificat du 6 janvier 1914).	{ Bureau du Cadastre de Mozambique.
37.	»	Juill.	2.	Quatre fils de 24 ^m , un fil de 8 ^m (addition au certificat du 28 août 1919).....	{ Institut géographique militaire roumain.
38.	»	»	4.	Cinq fils de 10 ^m n° 1154 à 1158	{ Ministère des Affaires économiques, Siam.
39.	»	»	5.	Un thermomètre Prolabo n° 250 (75.100).....	{ Direction du Laboratoire central des Poudres, Paris.
40.	»	»	7.	Prototype n° 7 (alliage de 1874).	Tchécoslovaquie.
41.	»	»	9.	Un ruban de 4 ^m n° 115 UI....	{ Ministère des Colonies à Lisbonne.
42.	»	»	29.	Quatre éléments Weston, n° 3217, 3218, 41428, 41429.	{ National Research Council du Canada.
43.	»	Sept.	3.	Deux fils de 24 ^m , n° 1139 et 1147.....	{ École Polytechnique, Copenhague.
44.	»	»	8.	Une règle en invar n° 721 (1 ^m) (addition au certificat du 18 décembre 1934).....	{ Institut géographique militaire, Buenos-Aires.
45.	»	»	9.	Quatre fils de 24 ^m et un fil de 8 ^m	{ Direction royale du Cadastre, Stockholm.
46.	»	»	10.	Six fils de 24 ^m	{ Instituto geografico militar, Buenos-Aires.
47.	»	»	14.	Une pièce de 20 ^s en baros...	{ Faculté des Sciences d'Alger.
48.	»	»	16.	Quatre fils de 24 ^m (addition au certificat du 1 ^{er} fév. 1920)..	{ Survey Department, Giza.

49.	»	»	28.	Cinq fils de 24 ^m et un fil de 8 ^m (addition au certificat du 20 décembre 1920).....	} Institut cartographique militaire, Bruxelles.
50.	»	»	29.	Quatre fils de 24 ^m , n ^{os} 165, 166, 193, 195 (addition au certi- ficat du 1 ^{er} février 1908)....	
51.	»	Nov.	2.	Une règle géodésique n ^o 703..	} Inspection centrale du Service d'étalonnage, Prague.
52.	»	»	12.	Trois fils de 24 ^m et un fil de 8 ^m .	
53.	»	Déc.	27.	Quatre fils de 24 ^m , n ^{os} 830, 832, 868, 869	} Inspection centrale du Service d'étalonnage, Prague.
54.	»	»	30.	Quatre fils de 24 ^m et un fil de 8 ^m	
55.	»	»	31.	Quatre fils de 24 ^m et un fil de 8 ^m	} Id.
56.	»	»	31.	Un ohm étalon Cambridge 52113.....	
57.	1939	Janv.	19.	Quatre fils de 24 ^m et un fil de 8 ^m (addition au certificat du 28 août 1919).....	} Institut géographique militaire roumain.
58.	»	»	21.	Kilogramme prototype, n ^o 45.	
59.	»	»	23.	Kilogramme prototype, n ^o 46.	} République Argentine.
60.	»	Mars	20.	Un ruban de 4 ^m , n ^o 115 U 3..	
61.	»	«	31.	Deux cavaliers de 1 ^{ms} en platine.	} Mines d'or du Châtelet.
62.	»	Avril	25.	Un étalon de résistance 10 ohms, n ^o 65344.....	
63.	»	Mai	12.	Quatre fils de 24 ^m , un fil de 8 ^m Secrétan.....	} Ministère des Finances, Prague.
64.	»	»	13.	Un ruban de 4 ^m Secrétan S 1.	
65.	»	»	22.	Un fil de 24 ^m et un fil de 8 ^m .	} Université de Minas- Geraes.
66.	»	»	23.	Un ruban de 4 ^m , n ^o 115 U 4...	
67.	»	Juin	16.	Un ruban de 8 ^m , n ^o 180 U 1...	} Institut géographique militaire, Buenos- Aires.

68.	»	»	17.	Un ruban de 25 ^m , n° 180 U 2.	{ Institut géographique militaire, Buenos- Aires.
69.	»	Juill.	21.	Une réglette de 10 ^{cm} en invar n° 1644.....	{ Inspection des Poids et Mesures, Lisbonne.
70.	»	Août	11.	Quatre calibres Johansson de 22, 50, 75, 100 ^{mm}	{ Établissement central des Fabrications d'Ar- mement, Paris.

NOTES.

1.	1937	Juill.	8.	Élément Weston.....	{ Laboratoire du grand Électro-aimant, Belle- vue.
2.	»	»	22.	Deux fils géodésiques de 24 ^m n°s 594, 597.....	{ Service technique du Cadastre, Paris.
3.	»	Août	26.	Position du zéro de 6 thermo- mètres.....	{ Société du gaz de Paris.
4.	»	Sept.	30.	Position du zéro de 7 thermo- mètres.....	{ Id.
5.	»	Nov.	30.	Éléments Weston, n°s 175 et 186.....	{ Institut central royal hongrois des Poids et Mesures.
6.	1938	Mai	5.	Une règle en ivoirine.....	{ M. B. Cabrera.
7.	»	»	23.	Étalons de 18 ohms, n°s 40 et 18 du N. B. S.....	{ National Bureau of Stan- dards, Washington.
8.	»	»	25.	Trois règles en invar.....	{ Norges Geografiske Opmåling, Oslo.
9.	»	Juin	30.	Une règle en verre.....	{ Laboratoire des basses températures, Belle- vue.
10.	»	Août	26.	Position du zéro de 6 thermo- mètres Thurneyssen, n°s 1199 à 1204.....	{ Compagnie du gaz de Paris.
11.	»	Sept.	6.	Zéro du thermomètre Prolabo n° 250.....	{ Laboratoire central des Poudres, Paris.
12.	1939	Mars	29.	Deux thermomètres à chemise.	{ Direction des Construc- tions navales, Toulon.
13.	»	Avril	14.	Position du zéro des thermo- mètres n°s 224, 229 et 230 (addition à l'annexe V, certi- ficat du 21 août 1935).....	{ Laboratoire central d'Électricité, Paris.

V. — COMPTES.

Le compte rendu présenté au Comité international dans sa session de 1937 s'arrêtait au 31 décembre 1936. L'exposé qui suit comprend les mouvements des comptes du 1^{er} janvier 1937 au 31 décembre 1938, date du dernier bilan.

COMPTE I. — FONDS DISPONIBLES.

	Francs-or.
Actif au 1 ^{er} janvier 1937.....	183 114,37
Recettes du 1 ^{er} janvier 1937 au 31 décembre 1938 suivant détail donné au Tableau A.....	357 000,48
Total.....	<u>540 114,85</u>
Dépenses du 1 ^{er} janvier 1937 au 31 décembre 1938 suivant détail donné au Tableau B.....	344 186,78
Actif au 31 décembre 1938.....	195 928,07
Total.....	<u>540 114,85</u>

COMPTE II. — FONDS DE RÉSERVE.

Actif au 1 ^{er} janvier 1937.....	87 660,71
<i>Pour mémoire</i> : Intérêts des titres virés au Compte I : francs-or, 1 225,91.	
Total.....	<u>87 660,71</u>
Achat du mètre n° 19.....	24 943,04
Achat d'un kilogramme en platine iridié.....	5 978,67
Variations de change.....	10,27
Actif au 31 décembre 1938.....	56 728,73
Total.....	<u>87 660,71</u>

COMPTE III. — CAISSE DE RETRAITES.

Actif au 1 ^{er} janvier 1937.....	26 924,45
Recettes du 1 ^{er} janvier 1937 au 31 décembre 1938 :	
Intérêts des fonds en banque.....	184,89
Retenues sur traitements.....	7 339,70
1/3 des taxes de vérification.....	1 519,18
Virements du Compte I.....	29 000,00
Total.....	<u>64 968,22</u>

Dépenses du 1^{er} janvier 1937 au 31 décembre 1938 :

Pensions de retraite de MM. Guillaume, Maudet, Reverchon, M ^{me} Guillaume.....	35 024,28
Variations de change.....	3 665,48
Actif au 31 décembre 1938.....	26 278,46
Total.....	<u>64 968,22</u>

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1938.

	francs-or.
Compte I : « Fonds disponibles ».....	195 928,07
Compte II : « Fonds de réserve ».....	56 728,73
Compte III : « Caisse de retraites ».....	26 278,46
Total.....	<u>278 935,26</u>

Le total de l'actif se décompose comme suit :

a. Les titres (valeur d'achat) (voir ci-dessous)....	161 623,00
b. L'or :	
1 lingot d'or.....	44 026,98
pièces d'or.....	820,00
c. Les fonds à vue en banque :	
1 ^o en francs français.....	13 121,89
2 ^o en dollars.....	51 796,14
3 ^o en francs suisses.....	20 777,83
4 ^o en livres sterling.....	144,20
d. Les espèces en caisse.....	1 868,06
Total.....	<u>294 178,10</u>
A déduire : créiteurs divers.....	15 242,84
Avoir net.....	<u>278 935,26</u>

Le portefeuille des titres a la composition suivante :

Titres du Compte I.

- 50 obligations rente française 1000/1400, 4 0/0, 1934;
- 1251^{fr} de rente 4 0/0 1918;
- 1350^{fr} de rente 4,50 0/0 1932 tranche B;

45 ^{fr} de rente 4,50 % 1932 tranche A ;	
30 ^{fr} de rente 4 % 1917 ;	
30 obligations P. L. M. 5 % 1921, tranche A ;	
30 obligations État 5 % 1921, tranche A ;	
10 actions de jouissance Suez ;	
3 parts de fondateur Suez ;	
3050 £ de capital War Loan 3,50 % ;	
Prix d'achat.....	124 865,68

Titres du Compte II.

9 obligations de 30 ^{fr} de rente 3 % amortissable ;	
50 obligations Midi 4 % ;	
59 obligations Midi 2,50 % ;	
52 obligations Orléans 3 % ;	
4 actions capital Suez ;	
7500 francs suisses obligations Chemins de fer fédéraux 3 % 1903 ;	
5000 francs suisses obligations Chemins de fer fédéraux 3 % 1938 ;	
Prix d'achat.....	<u>36 757,32</u>
Total.....	<u><u>161 623,00</u></u>

MOUVEMENTS DES VALEURS.

Conformément à une décision de la Commission administrative permanente, les 600 £ qui appartenaient au Compte II ont été employées à l'achat de 12500 francs suisses d'obligations des Chemins de fer fédéraux.

D'autre part, sept de nos obligations Midi 2,50 % et six Orléans 3 % ont été remboursées au pair ; le rempli en titres semblables a permis d'augmenter sans débours de 2 unités le nombre d'obligations de chaque espèce.

FLUCTUATIONS DES DEVISES MONÉTAIRES.

La dévaluation du franc français le 1^{er} juillet 1937 nous a obligés à modifier de façon radicale les errements suivis jusqu'alors pour le paiement des contributions des États et pour la tenue de nos propres comptes. En effet, le franc français

n'étant plus défini par un poids connu d'or fin, il n'existe plus de rapport fixe pour la transformation des francs-or en francs français ou inversement. Nous avons donc été amenés à envisager à nouveau, et cette fois dans sa généralité, la détermination de l'équivalence du franc-or, monnaie de compte et des diverses monnaies d'échange. On a ainsi abouti aux indications qui, depuis 1938, précèdent immédiatement dans le « Rapport annuel » le « Tableau des parts contributives des États ». Ces indications sont complétées et précisées par une notice jointe au Rapport et plus spécialement destinée à l'administration ou à l'établissement bancaire chargé du paiement de la contribution. La notice donne le montant de la contribution d'abord en francs-or, puis en devises directement rattachées à l'or (dollars et belgas), et en poids d'or fin. Elle contient aussi un exemple de transformation des francs-or en francs français, d'après le cours du dollar à Paris. Je suis heureux de pouvoir ajouter que grâce à ces précisions, il ne s'est jamais produit aucune contestation relativement au calcul de la contre-valeur des parts contributives des États.

Albert PÉRARD

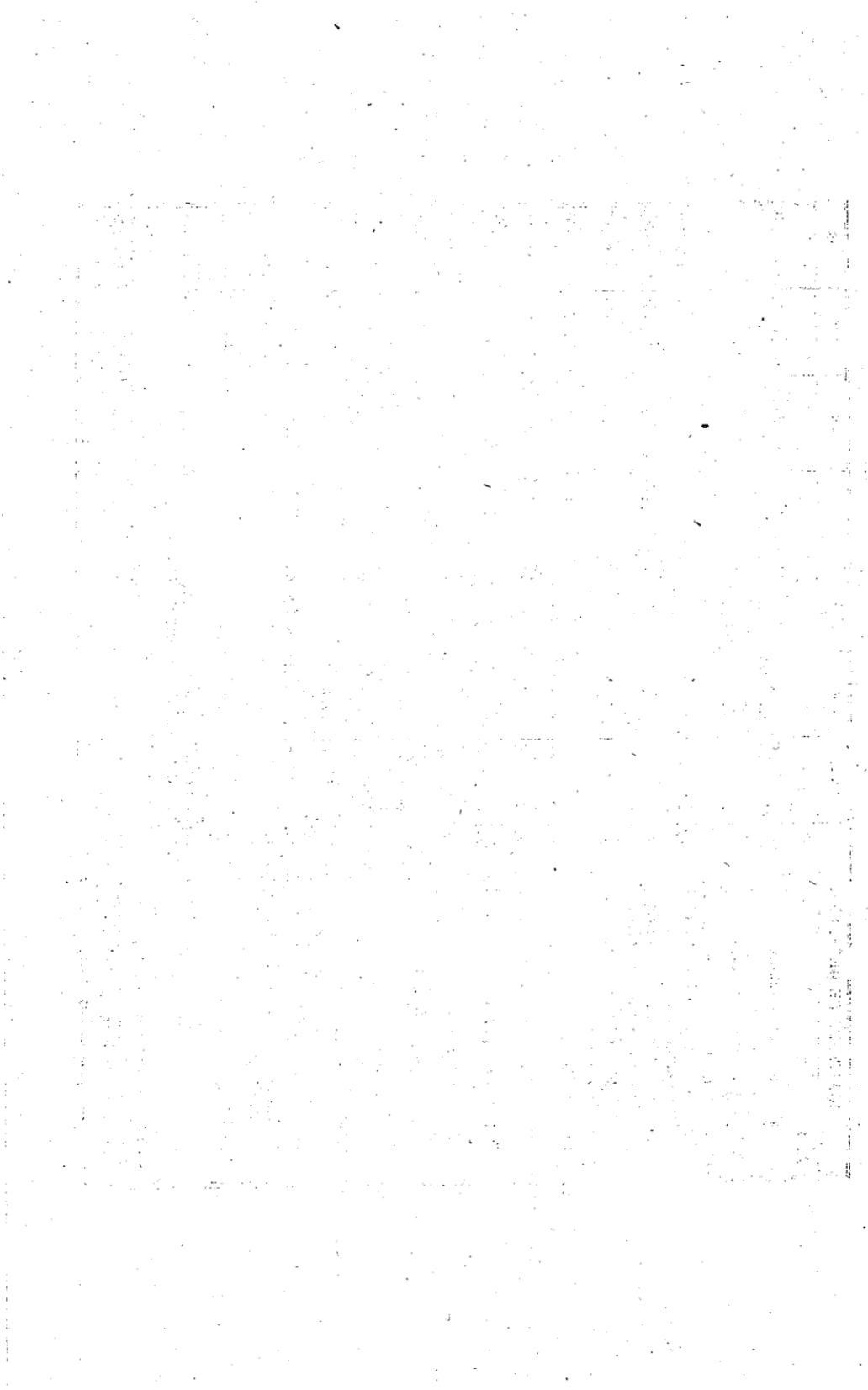
TABLEAU A. — Recettes du Compte I de 1932 à 1938.

		1932.	1933.	1934.	1935.	1936.	1937.	1938.
CONTRIBUTIONS DES ÉTATS :								
Réglementaires de l'année...	{ fr.-or.	122065,28	121334,24	137880,94	148461	155516	150791,75	151862,75
	{ fr.-fr.	601171,51	597571,12	679063,63	-	-	-	-
Arriérées	{ fr.-or.	9877,49	32863,38	22585,04	27868	12286	7657,44	22082,81
	{ fr.-fr.	48646,65	161852,15	111231,30	-	-	-	-
Anticipées.....	{ fr.-or.	22475,19	-	1408,97	63	-	-	-
	{ fr.-fr.	110690,30	-	6939,18	-	-	-	-
Total des contributions...	{ fr.-or.	154417,96	154197,62	161874,95	176392	167802	158449,19	173945,56
	{ fr.-fr.	760508,46	759423,27	797234,11	-	-	-	-
INTÉRÊTS DES TITRES ET DES FONDS.	{ fr.-or.	2758,06	3096,91	1682,32	6151,37	4846,40	3993,81	3670,20
	{ fr.-fr.	13583,45	15252,29	8285,44	-	-	-	-
RECETTES DIVERSES.....	{ fr.-or.	3858,23	1059,70	307,61	213,51	2802,21	13801,64	101,74
	{ fr.-fr.	19001,79	5219,02	1514,98	-	-	-	-
Remboursement de la Caisse de Retraites.....	{ fr.-or.	1646,46	-	-	-	-	-	-
	{ fr.-fr.	8108,80	-	-	-	-	-	-
DEUX TIERS DES TAXES DE VÉRIFICATION.....	{ fr.-or.	-	-	-	1246,37	2948,19	1522,93	1515,41
	{ fr.-fr.	-	-	-	-	-	-	-
Total général.....	{ fr.-or.	162680,71	158354,23	163864,88	184003,25	178398,80	177767,57	179232,91
	{ fr.-fr.	801202,50	779894,58	807034,53	-	-	-	-

Nota. — Pour les exercices de 1932 à 1934 inclus, on a simplement reproduit les chiffres donnés en francs français par le Rapport de 1935, et on les a traduits en francs-or, en les divisant par le coefficient, constant pendant toute cette période, 4,925. A partir de l'exercice 1935, les chiffres sont donnés uniquement en francs-or.

CHAPITRES DE DÉPENSES.		1932.	1933.	1934.	1935.	1936.	1937.	1938.
A. PERSONNEL :								
Traitements et indemnités...	{ fr.-or. 96493,95	101798,50	105411,76	102957,29	98621,46	86441,77	89445,10	
	{ fr.-fr. 475232,70	501357,60	519152,90	-	-	-	-	
B. INDEMNITÉ DU SECRÉTAIRE...	{ fr.-or. 3018,34	3772,05	2257,61	3022,70	3000	3750	3000	
	{ fr.-fr. 14864,85	18577,35	11118,75	-	-	-	-	
C. FRAIS GÉNÉRAUX D'ADMINISTRATION :								
Entretien des bâtiments et dépendances	{ fr.-or. 10727,75	13228,25	14259,32	10898,62	14631,52	12350,29	17676,84	
	{ fr.-fr. 52834,15	65149,13	70227,15	-	-	-	-	
Machines et instruments, frais d'atelier et de laboratoire.	{ fr.-or. 8906,20	3375,35	6380,63	9927,16	15881,46	16441,58	29238,89	
	{ fr.-fr. 43863,03	16623,61	31424,61	-	-	-	-	
Chauffage, éclairage, force motrice.....	{ fr.-or. 8666,73	7158,76	9225,63	5240,31	5837,96	3983,81	4681,32	
	{ fr.-fr. 42683,65	35256,91	45436,24	-	-	-	-	
Primes d'assurances.....	{ fr.-or. 1153,62	1481,80	1407,35	1697,28	1864,25	1777,28	1222,41	
	{ fr.-fr. 5681,60	7297,90	6931,20	-	-	-	-	
Bibliothèque.....	{ fr.-or. 1831,32	744,34	1339,37	2301,94	910,81	1065,81	908,62	
	{ fr.-fr. 9019,25	3665,87	6596,40	-	-	-	-	
Impressions et publications..	{ fr.-or. 8222	12184,99	5782,51	6884,57	2518,58	2940,09	784,46	
	{ fr.-fr. 40493,33	60011,10	28478,85	-	-	-	-	
Frais de bureau.....	{ fr.-or. 1389,09	2537,23	3380,92	3158,17	2088,21	2240,15	944,17	
	{ fr.-fr. 6841,28	12495,85	16651,04	-	-	-	-	
Frais divers et imprévus....	{ fr.-or. 6536,77	5672,16	7004,65	5801,77	1428,85	4976,53	1470,20	
	{ fr.-fr. 32193,60	27935,40	34497,88	-	-	-	-	
Installations nouvelles.....	{ fr.-or. 19990,03	28508,77	9582,71	4929,82	1323,07	-	-	
	{ fr.-fr. 98450,90	140405,69	47194,85	-	-	-	-	
Déplacements.....	{ fr.-or. 190,65	239,51	-	297,07	835,77	388,67	64,68	
	{ fr.-fr. 938,95	1179,60	-	-	-	-	-	
Versements à la Réserve.....	{ fr.-or. -	8366,38	40548,22	-	-	-	-	
	{ fr.-fr. -	41204,42	199700,00	-	-	-	-	
Versements à la Caisse de Retraites.....	{ fr.-or. -	-	-	4000	8000	16000	13000	
	{ fr.-fr. -	-	-	-	-	-	-	
Variations de Change.....	{ fr.-or. -	-	-	-	-	24529,32	5564,79	
	{ fr.-fr. -	-	-	-	-	-	-	
Totaux.....	{ fr.-or. 167126,35	189068,09	206580,68	161116,70	156941,94	176185,30	168001,48	
	{ fr.-fr. 823097,29	931160,43	1017409,87	-	-	-	-	

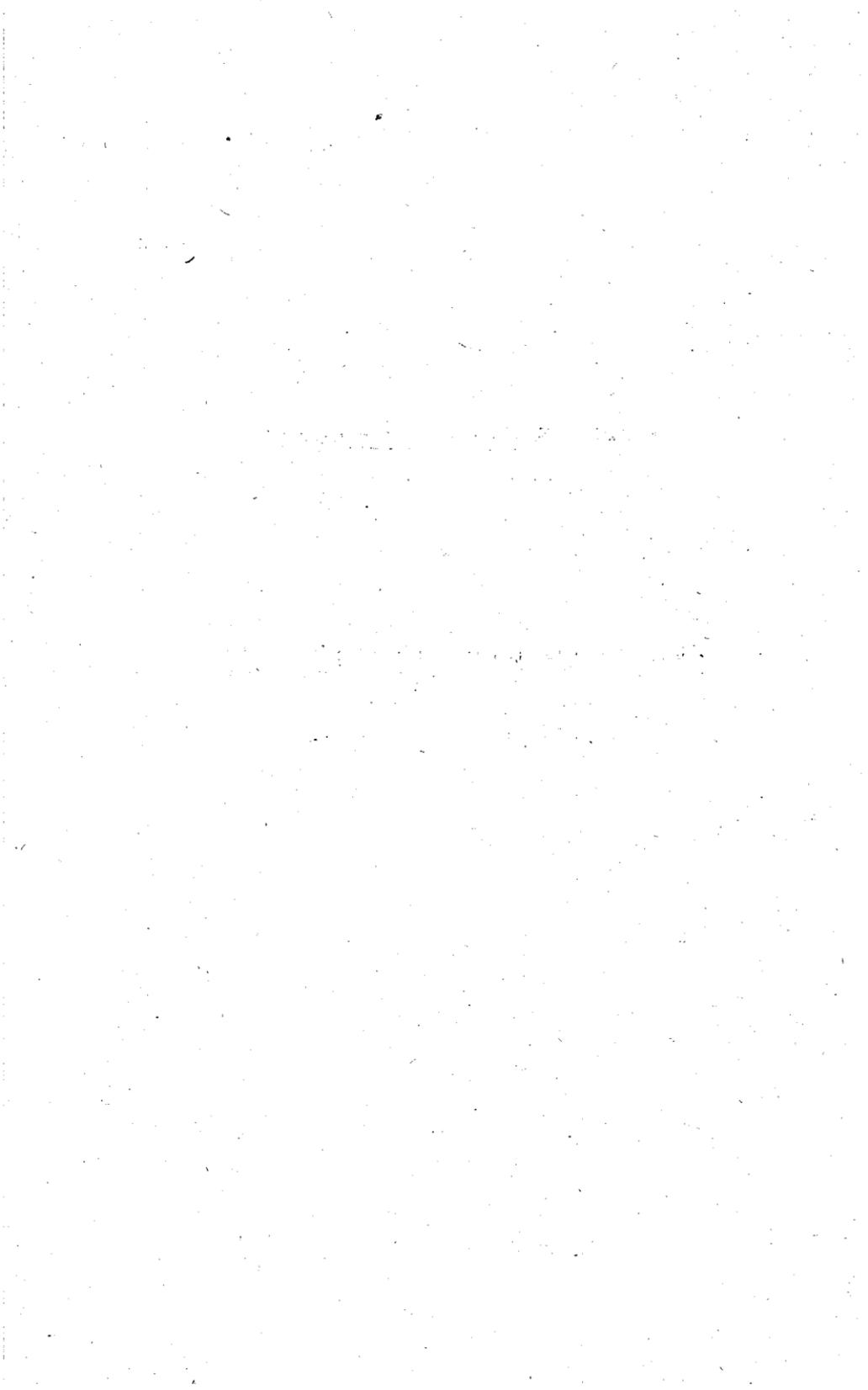
Nota. — Pour les exercices de 1932 à 1934 inclus, on a simplement reproduit les chiffres donnés en francs français par le Rapport de 1935, et on les a traduits en francs-or, en les divisant par le coefficient, constant pendant toute cette période, 4,925. A partir de l'exercice 1935, les sommes sont données uniquement en francs-or.



COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ,
SESSION DE 1939.

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES,

RAPPORT ET ANNEXES.



PRÉSIDENT

du Comité international des Poids et Mesures :

M. LE SÉNATEUR V. VOLTERRA

LISTE DES MEMBRES

DU

COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ.

Président :

M. A. E. KENNELLY, Professeur émérite à l'Université
Harvard.

Président en l'absence de M. Kennelly :

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. I.
HAYASHI, Ingénieur au Bureau du Ministère des
Communications du Japon à Paris.

Pour l'Institut de Métrologie, *Leningrad* : M. E.
CHRAMKOV, Directeur du Laboratoire magnétique de
l'Institut de Métrologie.

M. le Prof. L. LOMBARDI, Via Tolmino, 5, Viale Gorizia,
Rome.

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

Délégués adjoints des Laboratoires :

M. le D^r SCHULZE, Membre de la Physikalisch-Technische
Reichsanstalt.

M. le D^r L. HARTSHORN, Membre du National Physical
Laboratory.

M. M. PICARD, Membre du Laboratoire central d'Élec-
tricité.

Invités :

M. C. I. BUDEANU, Professeur à l'École Polytechnique
Roi Carol II, rue Washington, 32, *Bucarest*.
(Excusé.)

M. le D^r A. F. ENSTRÖM, Ingeniors Vetenskaps Akademien-
Grevturegatan, 14, *Stockholm*. (Excusé.)

M. P. TIKHODEEV, Directeur du Laboratoire de Photo,
métrie de l'Institut de Métrologie de l'U. R. S. S.,
Leningrad.

MM. CH. VOLET et A. BONHOURE, Adjointes du Bureau
international des Poids et Mesures, *Sèvres*.

MM. M. ROMANOWSKI, M. ROUX et J. TERRIEN, Assistants
du Bureau international des Poids et Mesures,
Sèvres.





COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ.

SESSION DE 1939

PROCÈS-VERBAL

DE LA PREMIÈRE SÉANCE,

TENUE AU PAVILLON DE BRETEUIL,

le mardi 6 juin 1939.

PRÉSIDENCE DE M. J. E. SEARS.

Sont présents : M. CABRERA, Secrétaire du Comité international des Poids et Mesures ;

MM. CHRÁMKOV, CRITTENDEN, HAYASHI, JOUAUST, LOMBARDI, PÉRARD, VON STEINWEHR, membres du Comité consultatif ;

MM. HARTSHORN, PICARD et SCHULZE, adjoints ;

MM. TIKHODEEV, VOLET, ROMANOWSKI, ROUX, TERRIEN, invités.

Sont excusés : MM. BUDEANU, ENSTRÖM.

La séance est ouverte à 15^h.

M. PÉRARD souhaite la bienvenue aux membres du Comité consultatif d'Électricité, dont certains sont venus de bien loin. Il rappelle que le Président nommé par le Comité international des Poids et Mesures, M. Kennelly,

est assez gravement malade et ne pourra présider les séances du Comité. M. Volterra, Président du Comité international des Poids et Mesures, a désigné M. Sears pour remplacer M. Kennelly dans les fonctions de président. M. Sears a bien voulu accepter cette mission qu'il avait déjà si bien remplie il y a deux ans.

M. SEARS remercie M. Pérard de ses aimables paroles.

M. CABRERA rappelle que M. Volterra a l'habitude d'assister à la première réunion du Comité consultatif; la maladie l'empêche cette année de se conformer à cette heureuse tradition; mais il a adressé au Comité par télégramme un message auquel M. Cabrera propose de répondre de même, en exprimant à M. Volterra les vœux que forme le Comité pour le rétablissement de sa santé.

M. LOMBARDI a vu récemment M. Volterra qui l'a chargé de transmettre au Comité consultatif ses salutations bien cordiales.

Le Comité décide d'envoyer également à M. Kennelly un télégramme lui disant les vœux qu'il forme pour sa prompte guérison.

M. le PRÉSIDENT, après avoir transmis au Comité les excuses de MM. Budeanu et Enström, qui ne pourront assister aux séances de la session, adresse ses souhaits de bienvenue à MM. Chranikov, Hartshorn, Hayashi, Schulze et Tikhodeev, qui participent pour la première fois aux travaux du Comité.

ÉLECTION D'UN SECRÉTAIRE ET D'UN RAPPORTEUR.
DOCUMENTS REMIS.

M. le PRÉSIDENT propose comme secrétaire M. VOLET, et comme rapporteur M. VON STEINWEHR.

Ces propositions sont adoptées à l'unanimité.

M. PÉRARD signale au Comité consultatif que plusieurs des rapports qui vont lui être soumis sont parvenus au Bureau international depuis moins de trois jours. Malgré toute la diligence qui a été faite pour traduire, corriger les traductions, faire les copies et les tirages, il a été impossible de préparer convenablement les discussions. M. Pérard demande aux membres du Comité consultatif de vouloir bien, à l'avenir, prendre soin que les documents parviennent au Bureau international quinze jours au moins avant les réunions.

COMPARAISONS FAITES PAR LE BUREAU INTERNATIONAL
DES POIDS ET MESURES, ENTRE LES ÉTALONS DES DIVERS
LABORATOIRES NATIONAUX (OHM, VOLT).

M. le PRÉSIDENT donne la parole à M. Romanowski, qui présente le rapport du Bureau sur les dernières comparaisons des étalons de résistance électrique exécutées par M. Pérard et lui-même (Annexe E 8, p. E 62).

M. le PRÉSIDENT donne ensuite la parole à M. Roux, qui présente le rapport du Bureau sur les dernières comparaisons des étalons de force électromotrice exécutées par M. Romanowski et lui-même (Annexe E 9, p. E 69).

DÉTERMINATIONS FAITES DANS LES DIVERS LABORATOIRES
NATIONAUX, DES RAPPORTS DES UNITÉS INTERNATIONALES
AUX UNITÉS ABSOLUES.

M. CRITTENDEN présente le rapport sur la détermination de l'ohm effectuée au National Bureau of Standards.

Cette étude offre le grand intérêt d'avoir été faite au moyen de deux méthodes entièrement différentes. M. Crittenden précise qu'elles ont conduit à des résultats concordants, auxquels il convient d'attribuer un poids égal (Annexe E 2, p. E 43 et Annexe E 3, p. E 48).

M. VON STEINWEHR attire l'attention sur le fait que les résultats apportés par la Physikalisch-Technische Reichsanstalt ne sont pas définitifs, les mesures n'étant pas encore terminées. Elles doivent être refaites avec deux groupes différents de bobines en ruban d'aluminium. Néanmoins, M. von Steinwehr présume dès maintenant que les nombres définitifs seront peu différents de ceux auxquels on est arrivé au moyen du premier groupe de bobines (Annexe E 1, p. E 41).

M. JOUAUST signale quelques causes d'erreur systématique qu'il a eu l'occasion d'étudier, à la suite d'une correspondance avec M. Curtis, et qui l'ont amené à corriger légèrement le résultat primitif de ses mesures (Annexe E 4, p. E 49).

M. CRITTENDEN présente le rapport sur les mesures de l'ampère faites au National Bureau of Standards. Il précise que les résultats obtenus en 1939 sont plus exacts que ceux de 1937 et doivent seuls être retenus (Annexe E 6, p. E 56).

M. VON STEINWEHR dit que les déterminations de l'ampère entreprises à la Physikalisch-Technische Reichsanstalt (Annexe E 5, p. E 51) n'ont pas encore conduit à des résultats définitifs. Des écarts dont il n'a pas été possible de déceler la cause ont été observés dans les mesures. Des améliorations dans la construction et la détermination des bobines sont en cours d'étude. De plus, des comparaisons directes avec les bobines du National Bureau of Standards sont prévues, ce qui permettra d'établir un très utile recouplement.

M. HAYASHI informe aussi le Comité que les expériences faites par l'Electrotechnical Laboratory ne sont pas terminées. En attendant qu'elles aient conduit à des résultats définitifs, M. Hayashi demande au Comité de prendre en

considération le résultat qui lui a déjà été communiqué en 1937 (voir *Procès-Verbaux*, 1937, p. 173, et 1939, Annexe E 7, p. E 59).

ATTRIBUTION DE VALEURS, EN FONCTION DES UNITÉS ABSOLUES,
AUX ÉTALONS DES DIVERS LABORATOIRES AYANT FIGURÉ DANS
LES COMPARAISONS DU BUREAU INTERNATIONAL.

M. PÉRARD fait un exposé de la situation devant laquelle se trouve le Comité. Après avoir décidé formellement que l'on effectuerait le passage aux unités absolues le 1^{er} janvier 1940, on doit reconnaître aujourd'hui que les déterminations qui devaient précéder ce changement n'ont pas conduit à des résultats aussi concluants qu'on avait espéré. Dans ces conditions, on pourrait être tenté de renvoyer à une date ultérieure l'adoption des nouvelles unités. M. Pérard pense que cette procédure présenterait de graves inconvénients, au point de vue tant de la continuité des décisions du Comité lui-même que de l'intérêt des industriels qui ont déjà commencé à construire des étalons basés sur les unités absolues. Plus on retardera le changement, plus on aura de difficultés à le réaliser. Il propose, en conséquence, que le passage aux unités absolues soit définitif à la date fixée, mais que les valeurs des rapports entre les unités actuelles et les unités absolues restent provisoires et indéfiniment perfectibles, comme on l'avait d'ailleurs toujours prévu. Sans doute ces valeurs ne pourraient être données qu'avec quatre décimales :

1 ohm	international moyen	$\Omega_M = 1,000\ 500$	ohm	absolu
1 ampère	»	»	$A_M = 0,999\ 900$	ampère
1 volt	»	»	$V_M = 1,000\ 400$	volt

La précision des étalons représentatifs des unités n'en atteindrait pas moins pour cela le millionième, et la précision de toutes les mesures faites par rapport à eux

resterait ce qu'elle est actuellement. Seules les grandeurs définies par les étalons qui dépendent de l'ampère pourraient différer de celles des unités elles-mêmes d'une quantité de l'ordre du dix-millième, au lieu des quelques cent-millièmes qu'on avait espérés. Mais qui pourrait donc en souffrir? Uniquement celui qui aurait fait une véritable détermination de l'unité absolue, dont nous connaissons trop les difficultés. Rien ne s'oppose, comme il était d'ailleurs bien entendu, à ce que l'on fasse un nouveau changement dans un certain nombre d'années lorsque les expériences permettront d'atteindre une plus grande exactitude, ou que les étalons auront pu dériver (car il est impossible de séparer l'un de l'autre). Mais ce nouveau changement serait alors petit, le grand changement du demi-millième ayant été fait dès maintenant.

Cette proposition ne paraît nullement à M. Pérard, en contradiction avec la lettre reçue de M. le Président de la Reichsanstalt, qui exprime seulement l'avis que les valeurs à attribuer maintenant aux rapports doivent rester encore provisoires.

M. VON STEINWEHR rappelle la déclaration qu'il a faite lors de la session de 1935 (*Procès-Verbaux*, 1935, p. 170), selon laquelle il estimait indispensable d'arriver à une concordance satisfaisante entre les divers Laboratoires, avant de fixer la date du passage aux unités nouvelles. Il demandait en particulier que l'on attendit le moment où la précision des déterminations absolues serait reconnue comme étant au moins égale à celle des réalisations des unités internationales. Aujourd'hui, M. von Steinwehr constate que ces conditions ne sont pas encore réalisées. Il pense donc qu'il serait prématuré de changer le système actuel.

M. LOMBARDI appuie la proposition de M. Pérard; car il pense qu'une abstention du Comité serait fâcheuse.

M. CRITTENDEN, tout en regrettant que l'accord des mesures ne soit pas meilleur, déclare se rallier à la proposition de M. Pérard.

M. HAYASHI demande de renvoyer à la prochaine séance l'adoption d'une résolution, pour qu'il ait la possibilité de consulter son pays par télégramme.

M. CHRAMKOV informe le Comité que l'Institut de Métrologie espère terminer prochainement les travaux qu'il a entrepris sur les unités électriques absolues. En attendant il appuie la proposition de M. Pérard, tout en considérant comme provisoires les valeurs qui seraient adoptées.

M. JOUAUST insiste dans le même sens, en montrant que plus on attendra, plus la gêne causée à l'industrie sera grande.

M. HARTSHORN considère que les précisions que l'on peut atteindre avec les unités internationales ou absolues sont du même ordre de grandeur.

Après un échange de vues sur la précision des résultats et sur le nombre de décimales à conserver dans les moyennes, M. le PRÉSIDENT exprime l'avis qu'il est préférable de remettre la suite de la discussion à la prochaine séance.

La séance est levée à 17^h.





PROCÈS-VERBAL

DE LA DEUXIÈME SÉANCE,

TENUE AU LABORATOIRE CENTRAL D'ÉLECTRICITÉ

le mercredi 7 juin 1939.

PRÉSIDENTE DE M. J. E. SEARS.

Sont présents : MM. CHRAMKOV, CRITTENDEN, HAYASHI, JOUAUST, LOMBARDI, PÉRARD et VON STEINWEHR.

Assistent également à la séance : MM. HARTSHORN, PICARD et SCHULZE; MM. TIKHODEEV, VOLET, ROMANOWSKI ROUX et TERRIEN.

La séance est ouverte à 10^h.

M. PÉRARD signale qu'il n'a pas été possible d'établir assez tôt le Procès-verbal de la première séance pour en donner lecture aujourd'hui.

M. le PRÉSIDENT propose que le Comité laisse pouvoir à son bureau d'approuver les Procès-verbaux après consultation du Rapporteur et des Membres qui en manifesteraient le désir.

Cette procédure est adoptée.

M. PÉRARD soumet à la discussion le texte suivant, qui, élaboré en commun avec quelques membres du Comité, semble devoir concilier les diverses opinions émises au cours de la précédente séance :

« Chargé par le Comité international des Poids et Mesures

« d'établir les rapports entre les unités absolues qu'on a décidé
« d'adopter au 1^{er} janvier 1940 et les unités internationales
« actuelles,

« Le Comité consultatif d'Électricité n'étant pas en mesure de
« donner ces rapports avec la précision que l'on avait précé-
« demment espérée, constate, d'après les résultats actuellement
« acquis, que les valeurs les plus probables sont les suivantes :

1 ohm international = 1,000 49 ohm absolu,
1 ampère international = 0,999 9 ampère absolu.

« Il semble que la valeur indiquée pour l'ohm est approchée
« à \pm 2 cent-millièmes et celle de l'ampère à environ 1 dix-
« millième. »

M. VON STEINWEHR dit que la valeur de l'ampère n'est
peut-être pas approchée à 1 dix-millième; il préférerait que
l'on mît dans le texte les mots : « 1 à 2 dix-millièmes ».

M. JOUAUST propose d'ajouter le mot « encore » dans la
phrase : « Le Comité consultatif d'Électricité n'étant pas
encore en mesure. . . . »

M. HAYASHI communique un télégramme qu'il a reçu
de Tokio l'autorisant à accepter la fixation provisoire des
rapports à 1,000 500 pour l'ohm et à 0,999 900 pour
l'ampère.

M. PÉRARD fait observer que le texte en discussion peut
soulever une objection du fait que le nombre proposé
pour l'ohm étant 1,000 49, il en résulterait, pour le volt,
un nombre avec 5 décimales, c'est-à-dire ayant une déci-
male de plus que pour l'ampère, ce qui est illogique.

Pour répondre à sa mission, qui est de dire quelles
sont les valeurs qu'il croit les plus probables, et pour
recommander néanmoins un système de valeurs cohérent,
le Comité consultatif décide de compléter le texte précé-
dent par un additif.

Après une discussion à laquelle prennent part tous les membres du Comité, le texte suivant est proposé :

RÉSOLUTION 1.

Chargé par le Comité international des Poids et Mesures d'établir les rapports entre les unités absolues qu'on a décidé d'adopter au 1^{er} janvier 1940 et les unités internationales actuelles (1),

le Comité consultatif d'Électricité, n'étant pas encore en mesure de donner ces rapports avec la précision que l'on avait précédemment espérée, constate, d'après les résultats actuellement acquis, que les valeurs les plus probables sont les suivantes :

1 ohm international moyen $\Omega_M = 1,000\ 49$ ohm absolu
1 ampère international moyen $A_M = 0,999\ 9$ ampère absolu

Il semble que la valeur indiquée pour l'ohm soit approchée à ± 2 cent-millièmes, et celle de l'ampère à 1 ou 2 dix-millièmes.

Arrondies à la quatrième décimale, ces valeurs donnent, pour les trois unités principales :

1 ohm international moyen $\Omega_M = 1,0005$ ohm absolu
1 ampère international moyen $A_M = 0,9999$ ampère absolu
1 volt international moyen $V_M = 1,0004$ volt absolu

En conclusion, ce seraient ces dernières valeurs que le Comité consultatif recommanderait en l'état présent.

Cette résolution est adoptée.

(1) Dans une lettre-circulaire en date du 1^{er} janvier 1940, adressée aux Gouvernements des Hautes Parties contractantes et aux Laboratoires intéressés, le bureau du Comité international a exprimé l'opinion qu'en raison de la situation internationale actuelle, aucun changement d'unités ne devrait être accompli dès maintenant; il conviendrait d'attendre un nouvel avis, que ne manquera pas d'émettre, au moment opportun, l'organisme international qualifié. (Note ajoutée à l'impression.)

ÉTUDES FAITES EN VUE DU PERFECTIONNEMENT DES ÉTALONS
REPRÉSENTATIFS DES UNITÉS ET DES ÉTALONS SECONDAIRES.

M. ROMANOWSKI rend compte des expériences qui ont été faites au Bureau international sur les étalons de résistance en alliage chrome-or. Les résultats obtenus ont confirmé ceux qui avaient été établis par le National Bureau of Standards et la Physikalisch-Technische Reichsanstalt. Quelques difficultés dues à l'exécution de bonnes soudures n'ont pas encore été surmontées.

MM. CRITTENDEN et VON STEINWEHR disent ne pas avoir rencontré de difficulté de ce côté-là. Ils sont invités par le PRÉSIDENT à conseiller le Bureau international dans ces travaux.

ÉTABLISSEMENT DE TEXTES SUSCEPTIBLES D'ÊTRE INCORPORÉS
DANS LES LÉGISLATIONS OU RÉGLEMENTATIONS.

M. le PRÉSIDENT indique que des propositions ont été rédigées par le Laboratoire Électrotechnique (Annexe E 10, p. E 74), l'Institut de Métrologie (Annexe E 12, p. E 84) et le National Physical Laboratory (Annexe E 11, p. E 78). Il donne quelques précisions au sujet de ce dernier texte, dans lequel on a cherché à éviter les questions non encore résolues d'un accord unanime. Cette proposition concerne surtout les définitions des unités et les procédés à suivre pour le maintien des étalons. Elle a pour but de répondre à la demande faite au Comité de fournir un texte qui pourra guider la rédaction des lois.

Le Comité décide de prendre la proposition du National Physical Laboratory comme base de la discussion.

M. LOMBARDI propose d'apporter au texte présenté par M. Sears quelques modifications de rédaction, qui sont acceptées.

M. CHRAMKOV dit qu'il se rallie aux définitions rédigées par M. Sears, et en particulier à celle de l'ampère, qui concorde avec celle proposée par M. Malikov. Il suggère néanmoins que l'on dise « section circulaire négligeable » au lieu de « diamètre négligeable ».

Une discussion s'engage ensuite sur les termes « force électromotrice » et « différence de potentiel ». Il en résulte que ce dernier terme sera seul utilisé dans la rédaction définitive.

M. JOUAUST s'étonne que pour définir les unités électriques absolues on ne se soit pas basé, comme l'avait fait en 1908 la Conférence de Londres, sur le système C. G. S. adopté par tous les physiciens du monde, mais sur le système M. K. S. dont l'emploi a soulevé en France de vives oppositions.

Il exprime l'opinion qu'il y a peu de chance de voir ce système se substituer en France au système M. T. S. imposé par la loi du 2 avril 1919 et le décret du 26 juillet 1919.

Il en résulterait de très grosses perturbations, par exemple la nécessité de modifier tous les livres scolaires où sont données les définitions des diverses unités qu'on peut employer légalement.

M. JOUAUST ne demande pas la modification du texte présenté par M. Sears; mais il désire qu'on y ajoute un paragraphe indiquant que chaque pays pourra avoir recours, pour la définition des unités électriques, à tel système d'unités mécaniques qui lui conviendra, et qu'on précise bien que le texte de M. Sears n'est donné qu'à titre d'indication.

M. LOMBARDE observe que les recommandations du Comité ne doivent pas empêcher chaque nation de choisir

son système d'unités et de faire les adaptations nécessaires.

M. JOUAUST propose d'ajouter au paragraphe 5 du texte en discussion l'addition suivante : « Le texte ci-dessus se réfère au système M. K. S. Il est naturellement possible de le transposer dans un autre système (C. G. S., M. T. S., etc.) par modification appropriée des puissances de 10. »

Le Comité adopte la proposition de M. JOUAUST.

M. le PRÉSIDENT fait remarquer, dans la suite du texte, que le 9^e paragraphe doit être modifié selon les décisions qui ont été prises au sujet du rapport des unités.

Un échange de vues s'engage, au cours duquel la rédaction de ce paragraphe est minutieusement discutée.

La séance est levée à 12^h.

PROCÈS-VERBAL

DE LA TROISIÈME SÉANCE,

TENUE AU LABORATOIRE CENTRAL D'ÉLECTRICITÉ,

le mercredi 7 juin 1939.

PRÉSIDENCE DE M. J. E. SEARS.

Sont présents : MM. CHRAMKOV, CRITTENDEN, HAYASHI, JOUAUST, LOMBARDI, PÉRARD, VON STEINWEHR.

Assistent également à la séance : MM. HARTSHORN, PICARD et SCHULZE; MM. TIRHODEEV, VOLET, ROMANOWSKI et ROUX.

La séance est ouverte à 16^h.

M. le PRÉSIDENT, comme conclusion à la discussion de la séance précédente, au sujet du paragraphe 9, soumet au Comité un texte, qui, après quelques légères modifications, est adopté sous la forme suivante :

« 9° Ces rapports sont indiqués à la Résolution I votée par le
« Comité consultatif d'Électricité et figurent à la page E 17 du
« Procès-Verbal.

« Pour les étalons de chaque État, ou des particuliers, il faudra
« tenir compte, non seulement des valeurs des rapports indiqués
« ci-dessus entre les « unités internationales moyennes » Ω_M , A_M
« et V_M [telles qu'elles ont été acceptées par le Comité interna-
« tional (1)] et les unités absolues, mais encore des écarts des

(1) *Procès-Verbaux du Comité international des Poids et Mesures*, 1937, pp. 111 et 112.

« unités du système international conservées par chaque Laboratoire avec les « unités internationales moyennes » correspondantes.

« Les écarts en question seront publiés par intervalles, aux soins du Bureau international des Poids et Mesures. »

M. le PRÉSIDENT ouvre la discussion sur le paragraphe 10 concernant les spécifications. Il indique qu'il serait très désirable que le Comité consultatif établit des spécifications recommandées, pour les étalons de résistance et de différence de potentiel; mais il ne pense pas que la chose soit possible au cours de cette session. Il suggère que les Laboratoires envoient au Bureau international leurs propositions, ainsi que l'a déjà fait le National Physical Laboratory (Annexes E 16 et E 17, pp. E 91 et E 97). Ces textes pourront servir de base à l'établissement de spécifications définitives.

M. CRITTENDEN rappelle que le Comité consultatif ne peut que suggérer des spécifications.

M. PÉRARD demande qu'une date limite soit fixée pour l'envoi de ces documents au Bureau. Il désire que cette date soit assez reculée pour permettre de réunir les points de vue des Laboratoires, même les plus éloignés, tel le Laboratoire Électrotechnique de Tokio, dont l'intérêt qu'il porte aux travaux du Comité s'est encore manifesté récemment par l'envoi d'une importante communication par télégramme, ce qui fut très coûteux.

Après une courte discussion, la date du 31 octobre 1939 est adoptée.

Quelques renseignements sont encore échangés au sujet des piles Weston. M. le PRÉSIDENT émet l'avis qu'on pourra établir des spécifications distinctes pour les éléments neutres et acides.

M. CHRAMKOV informe le Comité que des expériences

sont encore en cours à l'Institut de Métrologie. Elles démontrent que les éléments acides ont un coefficient thermique plus élevé.

M. VON STEINWEHR dit que seuls les éléments neutres sont théoriquement définis et ont, par suite, des chances d'être stables dans le cours du temps.

M. HAYASHI propose que chaque Laboratoire établisse avec le plus grand soin des étalons de l'ohm et du volt, et qu'il les distribue aux autres Laboratoires et au Bureau international.

M. PÉRARD estime que les intercomparaisons d'étalons telles qu'elles ont été effectuées jusqu'à maintenant par le Bureau international donnent des résultats satisfaisants. Elles prouvent en particulier que les transports sont faits dans de bonnes conditions, grâce à la complaisance que montrent les Laboratoires nationaux et les Ambassades à l'égard du Bureau international. Les éléments Weston sont presque toujours transportés à la main.

M. JOUAUST rappelle à ce propos que c'est M. Mc Kelvy du National Bureau of Standards, qui, le premier vers 1910, utilisa la suspension à la Cardan pour le transport des piles.

Le Comité consultatif examine ensuite une lettre adressée par M. Budeanu (Annexe E 13, p. E 85) au sujet du projet de résolution présenté par le National Physical Laboratory concernant la définition des unités. Quelques observations sont échangées à propos des questions traitées dans cette lettre. Mais le Comité reconnaît qu'il n'est pas compétent pour prendre des décisions sur la plupart des points mentionnés par M. Budeanu. Certains de ces points ont déjà fait l'objet de sanctions internationales.

M. le PRÉSIDENT constate que M. Budeanu introduit le weber comme unité de flux magnétique. Il dit que, dans le projet établi par le National Physical Laboratory, cette unité a été écartée, mais qu'il est prêt à la réintroduire si le Comité en exprime le désir.

M. CHRAMKOV dit que le weber est adopté en U. R. S. S. Il demande que le Comité consultatif mette la question des unités et étalons magnétiques à l'ordre du jour de sa prochaine session.

M. LOMBARDI rappelle que le weber a été défini et adopté par la Commission électrotechnique internationale. Il souhaite vivement, en vertu des bonnes relations qui existent entre ces deux institutions, que le Comité consultatif agisse de même.

M. CRITTENDEN est d'avis de laisser cette question à la Commission électrotechnique internationale. Le Comité consultatif pourrait se contenter, si on le lui demande, d'entériner ce qu'aura décidé cette Commission.

M. PÉRARD remarque qu'on ne peut guère écarter définitivement le weber, alors qu'il figure déjà dans les précédentes délibérations du Comité international. Il faudrait alors donner la raison de cette suppression.

M. HARTSHORN signale que les mesures magnétiques effectuées par le National Physical Laboratory sont exprimées en unités C. G. S. et non en webers.

M. JOUAUST n'est pas partisan de l'adoption du weber; il acceptera néanmoins la décision du Comité.

MM. HAYASHI et VON STEINWEHR déclarent ne pas avoir de préférence à formuler.

M. le PRÉSIDENT propose de maintenir le weber avec la définition qu'on lui a donnée en 1935 (*Procès-Verbaux*, 1935, p. 189). Le Comité unanime se rallie à cette proposition.

L'ensemble du projet de résolution est adopté avec les amendements qui viennent d'être décidés. Sa forme définitive est la suivante :

RÉSOLUTION 2

CONCERNANT LES UNITÉS ÉLECTRIQUES ABSOLUES.

(Proposée en vue de son adoption par le Comité international des Poids et Mesures.)

1° **Substitution définitive des unités électriques absolues au système international.** — *En vertu des pouvoirs qui lui ont été conférés par la Conférence générale des Poids et Mesures en 1933, le Comité international des Poids et Mesures a déjà annoncé sa décision par laquelle la substitution du système des unités électriques pratiques absolues au système international doit entrer en vigueur à partir du 1^{er} janvier 1940 (1).*

2° **Continuité historique du système.** — *La définition première du système pratique absolu d'unités électriques adopté par le Comité a été énoncée par la Conférence de Londres de 1908 de la façon suivante :*

« I. La Conférence estime que, comme précédemment, les grandeurs des unités fondamentales électriques seront déterminées par le système de mesures électromagnétique en se référant au centimètre comme unité de longueur, au gramme comme unité de masse et à la seconde comme unité de temps.

(1) Voir Note au bas de la page E 17.

« Ces unités fondamentales sont l'Ohm, unité de
« résistance qui a la valeur de 1 000 000 000 par rap-
« port à l'unité absolue; l'Ampère, unité de courant
« électrique qui a la valeur de un dixième (0,1) de
« l'unité absolue; le Volt, unité de force électromotrice
« qui a la valeur de 100 000 000 par rapport à l'unité
« absolue; le Watt, unité de puissance qui a la valeur
« de 10 000 000 par rapport à l'unité absolue. »

3° **Considérations générales.** — Les définitions des unités électriques et magnétiques absolues s'appuient sur les lois électromagnétiques généralement admises, qui conduisent à un système de relations interdépendantes entre les différentes entités qui doivent être mesurées. Les unités peuvent être définies par conséquent de plusieurs manières, selon le point de départ choisi.

Pour formuler les décisions législatives qui concernent uniquement la grandeur des unités et non pas les procédés effectivement employés pour leur réalisation à partir de la théorie qui leur sert de base, il convient d'avoir un ensemble de définitions, suffisantes pour le but envisagé, exprimées autant qu'il est possible en un langage simple et aisément compréhensible.

Pour satisfaire à des demandes qui lui ont été adressées, concernant un texte destiné à servir de guide pour les rédactions législatives, le Comité recommande par conséquent l'adoption de la suite de définitions donnée dans le paragraphe 4°. Les grandeurs des unités : ohm, ampère, volt et watt, ainsi définies, sont identiques à celles qui ont été adoptées par la Conférence de Londres de 1908.

La procédure à suivre pour l'établissement et la conservation des étalons de référence indispensables de certaines unités choisies est indiquée dans les para-

graphes 6° à 8°, qui ont également pour but de servir de guide à la législation.

4° **Grandeurs théoriques des unités.** — A. DÉFINITION DES UNITÉS MÉCANIQUES UTILISÉES DANS LE TEXTE CI-DESSOUS :

I. *Unité de force.* — *L'unité de force [dans le système M. K. S. (1)] est la force qui communique à une masse de 1 kilogramme l'accélération de 1 mètre par seconde, par seconde.*

II. *Le joule (unité d'énergie ou de travail).* — *Le joule est le travail effectué lorsque le point d'application de 1 unité M. K. S. de force se déplace d'une distance égale à 1 mètre dans la direction de la force.*

III. *Le watt (unité de puissance).* — *Le watt est la puissance qui donne lieu à une production d'énergie égale à 1 joule par seconde.*

B. DÉFINITION DES UNITÉS ÉLECTRIQUES. *Le Comité admet les propositions suivantes définissant la grandeur théorique des unités électriques :*

IV. *L'ampère (unité d'intensité de courant électrique).* — *L'ampère est l'intensité d'un courant constant qui, maintenu dans deux conducteurs parallèles, rectilignes, de longueur infinie, de section circulaire négligeable et placés à une distance de 1 mètre l'un de l'autre dans le vide, produirait entre ces conducteurs une force égale à $2 \cdot 10^{-7}$ unité M. K. S. de force par mètre de longueur.*

(1) Il a été proposé de donner le nom de « newton » à l'unité de force M. K. S.

V. *Le volt* (unité de différence de potentiel et de force électromotrice). — *Le volt est la différence de potentiel électrique qui existe entre deux points d'un fil conducteur transportant un courant constant de 1 ampère, lorsque la puissance dissipée entre ces points est égale à 1 watt.*

VI. *L'ohm* (unité de résistance électrique). — *L'ohm est la résistance électrique qui existe entre deux points d'un conducteur lorsqu'une différence de potentiel constante de 1 volt, appliquée entre ces deux points, produit, dans ce conducteur, un courant de 1 ampère, ce conducteur n'étant le siège d'aucune force électromotrice.*

VII. *Le coulomb* (unité de quantité d'électricité). — *Le coulomb est la quantité d'électricité transportée en 1 seconde par un courant de 1 ampère.*

VIII. *Le farad* (unité de capacité électrique). — *Le farad est la capacité d'un condensateur électrique entre les armatures duquel apparaît une différence de potentiel électrique de 1 volt, lorsqu'il est chargé d'une quantité d'électricité égale à 1 coulomb.*

IX. *L'henry* (unité d'inductance électrique). — *L'henry est l'inductance électrique d'un circuit fermé dans lequel une différence de potentiel⁽¹⁾ de 1 volt est produite lorsque le courant électrique qui parcourt le circuit varie uniformément à raison de 1 ampère par seconde.*

X. *Le weber* (unité de flux magnétique). — *Le weber est le flux magnétique qui, traversant un circuit d'une seule spire, y produirait une force électromotrice de 1 volt, si on l'amenait à zéro en 1 seconde par décroissance uniforme.*

(¹) Il faudrait ici « force électromotrice ».

5° **Objet de ces définitions.** — *Les définitions données dans le paragraphe 4° ont pour unique objet de fixer la grandeur des unités, et non les méthodes à suivre pour leur réalisation pratique. Cette réalisation s'effectue en accord avec les lois bien connues de l'électromagnétisme. Par exemple, la définition de l'ampère représente uniquement un cas particulier de la formule générale exprimant les forces qui s'exercent entre des conducteurs parcourus par des courants électriques, choisie pour la simplicité de son expression verbale. Elle sert à fixer la constante dans la formule générale qui doit être utilisée pour la réalisation de l'unité.*

Le texte ci-dessus se réfère au système M. K. S. Il est naturellement possible de le transposer dans un autre système (C. G. S., M. T. S., etc.) par modification appropriée des puissances de 10.

6° **Étalons matériels.** — *Pour les comparaisons pratiques, les unités électriques sont représentées par des étalons matériels de l'ohm et du volt, auxquels on attribue des valeurs appropriées exprimées en unités absolues. Les étalons de l'ohm se présentent actuellement sous la forme de bobines de résistance, et ceux du volt sous la forme d'éléments voltaïques (éléments Weston par exemple).*

7° **Étalons de référence internationaux.** — *Les valeurs qui doivent être attribuées aux étalons de référence conservés au Bureau international des Poids et Mesures seront fixées de temps en temps par le Comité international, sur l'avis du Comité consultatif d'Électricité, en accord avec les résultats des comparaisons effectuées entre ces étalons et les étalons nationaux*

dont les valeurs auront été déterminées directement par des mesures absolues.

8° **Étalons de référence nationaux.** — *Les valeurs à attribuer aux étalons de référence nationaux seront déterminées conformément aux résultats des comparaisons faites avec les étalons de référence du Bureau international.*

9° **Rapport entre les unités absolues et les unités du système international.** — *Ces rapports sont indiqués à la Résolution 1 votée par le Comité consultatif d'Électricité et figurent à la page E 17 du Procès-Verbal.*

Pour les étalons de chaque État, ou des particuliers, il faudra tenir compte, non seulement des valeurs des rapports indiquées ci-dessus entre les « unités internationales moyennes » Ω_M , A_M et V_M [telles qu'elles ont été acceptées par le Comité international (1)] et les unités absolues, mais encore des écarts des unités du système international conservées par chaque Laboratoire avec les « unités internationales moyennes » correspondantes.

Les écarts en question seront publiés par intervalles aux soins du Bureau international des Poids et Mesures.

PROCHAINE SESSION.

Le Comité décide de ne pas fixer dès maintenant la date de sa prochaine session. Il confie ce soin à son Président, qui, après consultation des Laboratoires, convoquera le Comité.

(1) *Procès-Verbaux du Comité international des Poids et Mesures*, 1937, pp. 111 et 112.

PROPOSITIONS DIVERSES.

M. VON STEINWEHR attire l'attention du Comité sur le fait que le prochain changement d'unités pourra créer des confusions regrettables, si l'on ne fixe pas nettement une terminologie. Cela est particulièrement nécessaire pour l'Allemagne, dont la loi actuellement en vigueur est antérieure à l'adoption du terme « international » pour désigner les unités.

Après un échange de vues auquel prennent part M. le PRÉSIDENT, MM. LOMBARDI et JOUAUST, M. PÉRARD rédige la proposition suivante :

RÉSOLUTION 3.

A la suite d'une demande de M. von Steinwehr, et dans le but d'éviter toute confusion possible, le Comité conseille d'ajouter, pendant la période de transition, aux noms des unités électriques, le qualificatif « international » (abréviation : « int. »), pour les unités actuellement encore en usage, et le qualificatif « absolu » (abréviation : « abs. »), pour les unités dont le Comité a décidé l'adoption prochaine.

Cette proposition est adoptée.

La question des étalons des unités magnétiques soulevée par le Rapport de M. E. G. Chramkov de l'Institut de Métrologie de l'U. R. S. S. (Annexe E 14, p. E 88), auquel répond une Note de M. C. Budeanu (Annexe E 15, p. E 89), est évoquée. Aucune résolution n'est formulée.

M. le PRÉSIDENT rappelle que le Laboratoire Électrotechnique a proposé que des comparaisons d'inductances et de capacités fussent faites entre les Laboratoires, afin de mieux assurer l'unification des unités correspondantes.

M. PÉRARD est d'avis que le Comité consultatif peut en principe émettre un avis favorable, même s'il ne prend pas dès maintenant des mesures d'exécution.

M. ROMANOWSKI trouve judicieuse la proposition du Laboratoire Électrotechnique. Il ajoute qu'il a été frappé, il y a deux ans, lors des séances du Sous-Comité technique, par l'intérêt que présentaient les expériences du National Physical Laboratory sur le contrôle direct entre les deux méthodes utilisées pour la détermination de l'ohm absolu. M. Romanowski demande s'il ne serait pas possible de généraliser entre les Laboratoires de telles expériences de recouplement. La Physikalisch-Technische Reichsanstalt et le National Bureau of Standards en prévoient déjà au sujet de l'ampère, ainsi que l'a rappelé M. von Steinwehr. Le Bureau international serait susceptible de participer effectivement à ce genre de travaux.

M. le PRÉSIDENT considère cette suggestion comme très heureuse et consulte successivement les membres du Comité, qui expriment leur approbation.

M. LOMBARDI, au nom de ses collègues, remercie M. Sears de l'amabilité charmante avec laquelle il a conduit les travaux du Comité.

M. le PRÉSIDENT remercie à son tour les membres du Comité, et déclare close la session du Comité consultatif d'Électricité.

La séance est levée à 18^h.



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

Par M. H. VON STEINWEHR, rapporteur.

Conformément à la convocation du Président du Comité international des Poids et Mesures, le Comité consultatif d'Électricité s'est réuni le 6 juin 1939 au Pavillon de Breteuil à Sèvres, et le 7 juin, au Laboratoire central d'Électricité, que M. Jouaust, très aimablement, avait mis à sa disposition.

En remplacement du Président du Comité international des Poids et Mesures, retenu à Rome par son état de santé, M. Cabrera, Secrétaire dudit Comité, a pris part à la première séance du Comité consultatif.

M. Kennelly, Président du Comité consultatif, étant également malade, la présidence a été assumée par M. Sears, que M. Volterra avait chargé de ce remplacement.

Étaient présents, les membres du Comité consultatif : MM. Chramkov, Crittenden, Hayashi, Jouaust, Lombardi, Pérard, von Steinwehr, ainsi que les adjoints : MM. Hartshorn, Picard et Schulze.

Sur l'invitation du Président du Comité consultatif, ont pris part à la séance MM. Tikhodeev, Volet, Romanowski, Roux et Terrien.

Étaient excusés : MM. Budeanu, Enström et Bonhoure.

M. Pérard et ses collaborateurs avaient très soigneusement préparé les travaux du Comité consultatif, et établi un ordre du jour qui servit de fil directeur pour les délibérations du Comité.

Après une allocution de bienvenue de M. Pérard, que M. Sears, au nom du Comité, remercia de ses paroles aimables, il fut décidé d'exprimer par télégramme à MM. Volterra et Kennelly, les meilleurs vœux du Comité consultatif pour le prompt rétablissement de leur santé.

M. Volet fut nommé secrétaire, et M. von Steinwehr, rapporteur de la présente session du Comité.

M. Pérard adressa aux membres du Comité la demande de faire parvenir les rapports au moins 15 jours avant le commencement de la session, faute de quoi il ne serait pas possible de préparer suffisamment la discussion.

Il fut ensuite donné lecture du rapport sur les comparaisons des unités électriques internationales effectuées au Bureau international. Pour l'ohm, les unités des différents Instituts nationaux ont montré entre elles la même bonne concordance que lors de la comparaison précédente; mais cette fois, pour le volt, les unités françaises et celles de l'U. R. S. S. ont présenté des écarts par rapport à la moyenne, qui s'élèvent à environ $2 \cdot 10^{-5}$; ces écarts n'ont pas influé sensiblement sur la moyenne, car ils avaient des signes contraires.

Le Comité commença alors l'examen des travaux effectués par les Laboratoires nationaux sur le rapport de l'ohm et de l'ampère internationaux à l'ohm et à l'ampère absolus. Cet examen fit apparaître que les recherches, achevées en partie seulement, montrent bien pour l'ohm un accord suffisant; pour l'ampère, seuls le National Phy-

sical Laboratory et le National Bureau of Standards ont terminé leurs travaux, dont les résultats s'accordent bien entre eux ; mais les recherches encore poursuivies par les autres Laboratoires montrent, entre leurs résultats provisoires et les résultats mentionnés ci-dessus, des écarts si considérables, qu'il ne peut être encore question d'avoir atteint l'exactitude visée.

Dans ces circonstances, M. Pérard proposa que, à cause des inconvénients qu'il y aurait à ajourner l'introduction des nouvelles unités, on pourrait bien maintenir la date fixée, mais qu'on devrait ensuite adopter, pour les rapports des unités absolues aux unités internationales, des valeurs provisoires.

Tous les délégués se déclarèrent d'accord avec cette proposition, à l'exception de M. von Steinwehr. Ce dernier fit valoir que la Reichsanstalt, conformément au point de vue qu'elle avait adopté dès la première session du Comité consultatif, ne pourrait accepter qu'on procédât à un changement du système des unités électriques tant qu'on n'aurait pas obtenu la valeur des nouvelles unités avec autant d'exactitude qu'on peut le faire pour les unités internationales. Il rappela à ce sujet qu'il avait encore une fois formulé expressément ce point de vue à la cinquième réunion du Comité consultatif (*Procès-Verbaux*, 1935, p. 170). Après une délibération prolongée, les membres se mirent d'accord sur la rédaction de la résolution suivante, dans laquelle on évite de prendre position sur le délai d'introduction des nouvelles unités, et où l'on ne fixe que des valeurs provisoires pour le rapport entre les unités internationales et les unités absolues. Du fait que la valeur du volt s'obtient à partir de la valeur des deux autres unités, il devient nécessaire, étant donnée la précision moindre avec laquelle la valeur de l'ampère est encore connue aujourd'hui, de ne fixer aussi pour la

valeur de l'ohm que quatre décimales au lieu de cinq, bien que l'exactitude de sa détermination justifie la fixation d'une cinquième décimale.

RÉSOLUTION 1.

Chargé par le Comité international des Poids et Mesures d'établir les rapports entre les unités absolues qu'on a décidé d'adopter au 1^{er} janvier 1940 et les unités internationales actuelles (1);

le Comité consultatif d'Électricité, n'étant pas encore en mesure de donner ces rapports avec la précision que l'on avait précédemment espérée, constate, d'après les résultats actuellement acquis, que les valeurs les plus probables sont les suivantes :

1 ohm international moyen $\Omega_M = 1,000\ 49$ ohm absolu
1 ampère international moyen $A_M = 0,999\ 9$ ampère absolu

Il semble que la valeur indiquée pour l'ohm soit approchée à ± 2 cent millièmes, et celle de l'ampère à 1 ou 2 dix-millièmes.

Arrondies à la quatrième décimale, ces valeurs donnent, pour les trois unités principales :

1 ohm international moyen $\Omega_M = 1,000\ 5$ ohm absolu
1 ampère international moyen $A_M = 0,999\ 9$ ampère absolu
1 volt international moyen $V_M = 1,000\ 4$ volt absolu

En conclusion, ce seraient ces dernières valeurs que le Comité consultatif recommanderait en l'état présent.

Les recherches du Bureau international sur l'amélioration des étalons représentatifs des unités et des étalons secondaires, ont confirmé les résultats des travaux du

(1) Voir Note au bas de la page E 17.

National Bureau of Standards et de la Physikalisch-Technische Reichsanstalt sur les résistances en alliage or-chrome. Cependant, pour les soudures des extrémités du fil résistant sur les bornes, des difficultés sont apparues dont ces derniers Laboratoires n'avaient pas eu à souffrir. Ils furent priés en conséquence de donner leur avis au Bureau international sur cette question.

L'ordre du jour comportait ensuite l'examen de textes qui doivent être recommandés aux différents États pour leurs législations ou leurs réglementations. Des propositions de ce genre avaient été élaborées par l'Electrotechnical Laboratory (Japon) (Annexe E 10, p. E 74), par l'Institut de Métrologie (U. R. S. S.) (Annexe E 12, p. E 84) et par le National Physical Laboratory (Grande-Bretagne) (Annexe E 11, p. E 78). La proposition du National Physical Laboratory, sur laquelle se développa une discussion prolongée, évite toutes les questions non encore résolues d'un accord unanime, et contient la définition des unités que le Comité recommande de faire entrer dans la rédaction des lois. Au texte de ce projet furent apportées quelques modifications ; une discussion s'engagea sur les termes « force électromotrice » et « différence de potentiel » ; il en résulta que c'est ce dernier terme qui doit être utilisé dans la rédaction définitive.

Se séparant de la résolution de la Conférence de Londres de 1908, selon laquelle les unités absolues doivent être fondées sur le système C. G. S., la proposition du National Physical Laboratory choisit le système M. K. S. comme base pour les unités. En ce qui concerne le système de mesure sur lequel se fondent les unités électriques absolues, comme plusieurs façons de voir paraissent également justifiées, et comme l'adoption générale de la proposition anglaise se heurterait dans plusieurs pays (par exemple en France) à des difficultés,

M. Jouaust recommanda, après une discussion prolongée sur cette question, d'ajouter au paragraphe 5 de la proposition anglaise l'additif suivant :

Le texte ci-dessus se réfère au système M. K. S. Il est naturellement possible de le transposer dans un autre système (C. G. S., M. T. S., etc.) par modification appropriée des puissances de 10,

qui fut voté par le Comité.

Par suite de la décision qui avait été prise en ce qui concerne le rapport des valeurs, il fallut aussi apporter quelques modifications au paragraphe 9 de la proposition anglaise, qui fut adopté sous la forme suivante :

9° Ces rapports sont indiqués à la Résolution 1 votée par le Comité consultatif d'Électricité et figurent à la page E 17 du Procès-Verbal.

Pour les étalons de chaque État, ou des particuliers, il faudra tenir compte, non seulement des valeurs des rapports indiquées ci-dessus entre les « unités internationales moyennes » Ω_M , A_M et V_M (telles qu'elles ont été acceptées par le Comité international) et les unités absolues, mais encore des écarts des unités du système international conservées par chaque Laboratoire avec les « unités internationales moyennes » correspondantes.

Les écarts en question seront publiés par intervalles aux soins du Bureau international des Poids et Mesures.

Au cours de la discussion du paragraphe 10 de la proposition anglaise, qui concerne les spécifications pour les étalons de résistance et de différence de potentiel, M. Sears indiqua qu'il serait désirable d'arriver à des spécifications aussi uniformes que possible dans tous les pays, et suggéra que les Laboratoires nationaux envoyassent au Bureau international leurs propositions,

pour lesquelles les spécifications anglaises pourraient servir de base. La date limite d'envoi de ces propositions fut fixée par le Comité au 31 octobre 1939.

Le représentant du Laboratoire Electrotechnique (Japon) ayant suggéré que chaque Institut national pourrait envoyer des étalons pour l'ohm et pour le volt, non seulement au Bureau international, mais aussi aux autres Instituts nationaux, cette proposition ne reçut point l'assentiment des autres membres du Comité.

Au sujet de la Résolution proposée par le National Physical Laboratory sur la définition des unités, M. Budeanu avait pris position dans une lettre adressée au Comité; il proposait de définir encore quelques autres unités qui ne figuraient pas dans le texte du National Physical Laboratory. Le Comité consultatif reconnut qu'il n'était pas compétent pour prendre une décision sur la plupart des points mentionnés par M. Budeanu. A propos de l'une des unités, le weber, unité de flux magnétique, s'engagea une discussion sur la question de savoir si l'on devait l'ajouter ou non aux unités mentionnées dans le texte du projet anglais. Sur la proposition de M. Sears, le Comité décida unanimement de maintenir le weber avec la définition que lui a donnée le Comité consultatif dans sa session de 1935 (*Procès-Verbaux*, 1935 p. 189).

Le texte présenté par le National Physical Laboratory concernant les unités électriques absolues, ainsi amendé, a ensuite été adopté par le Comité consultatif. La Résolution 2, qui en fait l'objet, est donnée intégralement à la page E 25 du Procès-Verbal.

Comme un certain nombre de travaux entrepris sur les unités ne sont pas encore achevés, et qu'ainsi les valeurs de ces unités, en particulier de l'ampère, ne sont pas encore suffisamment bien établies, le Comité décida de ne pas fixer dès maintenant la date de sa prochaine

session. Il confia ce soin à son Président qui, après consultation des Laboratoires nationaux, convoquerait le Comité.

M. von Steinwehr attira l'attention du Comité sur le fait que pendant le passage aux nouvelles unités, il risquerait de se créer des confusions regrettables, si leur désignation ne se distinguait pas nettement de celle des anciennes unités. Ce danger existe particulièrement pour l'Allemagne, dont les réglementations électriques en vigueur jusqu'ici comportent les dénominations ohm, ampère, volt, sans l'addition du qualificatif « international ». Il estima par conséquent désirable d'ajouter à la désignation des nouvelles unités, un qualificatif qui les caractérisât nettement. Le Comité adopta cette façon de voir et décida :

RÉSOLUTION 3.

A la suite d'une demande de M. von Steinwehr, et dans le but d'éviter toute confusion possible, le Comité conseille d'ajouter, pendant la période de transition, aux noms des unités électriques, le qualificatif « international » (abréviation : « int. »), pour les unités actuellement encore en usage, et le qualificatif « absolu » (abréviation : « abs. »), pour les unités dont le Comité a décidé l'adoption prochaine.

La proposition du Laboratoire Electrotechnique, d'étendre aux inductances et aux capacités les comparaisons internationales d'étalons, trouva l'approbation de tous les membres du Comité.

Après la fin des délibérations, M. Lombardi, au nom de tous les membres du Comité, remercia M. Sears de l'extrême amabilité avec laquelle il avait conduit les travaux du Comité. M. Sears remercia à son tour ses collègues et déclara close la session du Comité consultatif.

ANNEXE E 4.

Physikalisch-Technische Reichsanstalt.

RAPPORT
CONCERNANT L'ÉTAT DES EXPÉRIENCES
SUR LA
DÉTERMINATION DE L'OHM INTERNATIONAL
EN UNITÉS ABSOLUES

Par M. ZICKNER.

(1^{er} avril 1939.)

La méthode adoptée par Grüneisen et Giebe pour leurs mesures publiées en 1921 (*Wiss. Abh. d. P.T.R.*, 3, 1921, p. 1), méthode qui consiste d'une part à calculer (en unités absolues) d'après ses dimensions géométriques la self-induction d'une bobine cylindrique à une seule couche exécutée avec une grande précision, et d'autre part à la comparer à l'ohm international par une mesure électrique, a été aussi utilisée dans la nouvelle détermination actuellement en cours. Le pont de Maxwell pour la comparaison des capacités aux inductances a été amélioré conformément aux perfectionnements techniques réalisés entre temps, par exemple grâce à l'utilisation d'un galvanomètre à vibrations d'une sensibilité plus grande, et qu'on peut accorder électriquement; grâce aussi à un procédé plus commode pour la comparaison des résistances du pont dans leur bain aux boîtes étalons, et grâce surtout à la constance de la température maintenue dans la salle des expériences.

Pour ce qui concerne l'exécution de la bobine de self-induction, dont l'enroulement repose sur un cylindre lisse de quartz fondu (sans filetage), des détails ont déjà été donnés dans le Rapport de la Physikalisch-Technische Reichsanstalt de juin 1937 (voir *Proc.-Verb. Com. int.*, 1937, p. 135). Une deuxième bobine semblable, en marbre, est encore en construction. On a mesuré ses dimensions géométriques au moyen d'un comparateur spécialement construit par la Section I de la Physikalisch-Technische Reichsanstalt. La détermination absolue de la capacité par une mesure de résistance et une mesure de temps a été effectuée au moyen d'un interrupteur tournant par la méthode de Maxwell-Thomson. L'exactitude des mesures s'est améliorée sensiblement grâce à l'emploi d'un galvanomètre spécial à haute sensibilité, à un graissage continu des contacts tournants et au contrôle de la fréquence de l'interrupteur au moyen d'un moteur synchrone lié à l'horloge à quartz de la Physikalisch-Technische Reichsanstalt.

Le résultat provisoire du travail est le suivant :

$$1 \text{ ohm int.} = 1,00051 \pm 0,00002 \text{ ohm abs.}$$

Ce résultat doit être considéré comme provisoire, puisqu'il nous faut encore effectuer quelques mesures de contrôle. La fixation de l'exactitude à $\pm 2 \cdot 10^{-5}$ également n'est pas encore définitive.



ANNEXE E 2.

National Bureau of Standards.

RÉSULTATS SUPPLEMENTAIRES

A UNE

DÉTERMINATION DE L'OHM ABSOLU

EN FAISANT USAGE D'UN INDUCTEUR PERFECTIONNÉ

Par MM. HARVEY L. CURTIS, CHARLES MOON
et M^{me} C. MATILDA SPARKS.

(22 décembre 1938.)

Une publication antérieure (1) a donné les résultats qui ont été obtenus avant juillet 1938 en faisant usage d'un étalon perfectionné de self-inductance, étalon appelé le *long solénoïde de verre*. La présente Note signale les modifications apportées aux instruments de mesures électriques et les résultats obtenus en utilisant le même inducteur pendant les six derniers mois de 1938.

Les modifications instrumentales consistaient en la construction d'un nouveau pont à courant alternatif Maxwell-Wien, en l'installation d'un thermo-relais dans le circuit du galvanomètre du pont de Maxwell destiné à la mesure absolue de la capacité et en l'utilisation dans ce pont (pour la mesure des capacités) d'une batterie d'accumulateurs à faible résistance interne. On a également obtenu des résultats supplémentaires dans la détermination du diamètre de l'hélice et l'on a fait un plus grand

(1) *J. Research*, N.B.S., 21, 1938, p. 375, RP 1137.

nombre de mesures de l'inductance en fonction du henry international du National Bureau of Standards.

Le nouveau pont à courant alternatif Maxwell-Wien est représenté sur la figure 1. Les bras du pont étaient bien séparés, de telle sorte que les réactions entre eux étaient très faibles. Les connexions avec les bras du pont rayonnaient à partir d'un commutateur central. Cette disposition facilitait la comparaison des résistances de chaque bras avec les étalons.

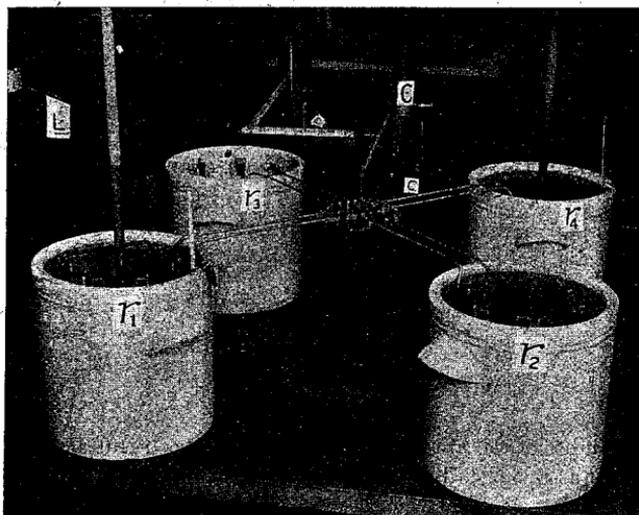


Fig. 1.

Le thermo-relais était du type normalement fabriqué par *Kipp et fils*. Grâce à l'utilisation de ce relais, la sensibilité du pont était augmentée dix fois, de sorte que les observations ont pu être effectuées au moins à la précision du millionième.

Afin de diminuer l'incertitude due à la résistance des accumulateurs, on a installé dans le laboratoire un groupe de 8 batteries de démarrage pour automobiles, de trois éléments chacune. Les batteries étaient reliées entre elles par des conducteurs de faible résistance et reliées directement au pont par des gros fils. De cette façon la résistance de la batterie a été réduite au point que l'incertitude qui en résultait était probablement inférieure à 1 millionième.

Le diamètre du long solénoïde de verre a été mesuré dans un certain nombre de positions. Ces positions étaient aussi voisines que possible de celles qui ont été utilisées lors des mesures primitives. On a fait 200 observations, à des intervalles de 1^{cm} le long de quatre plans axiaux sur la moitié supérieure du solénoïde. L'écart par rapport aux résultats primitifs était, en tout point et dans tous les cas, inférieur à 1 micron; la différence entre le diamètre moyen déduit de ces mesures et le diamètre moyen cité dans la publication précédente a été, pour les mêmes positions, de 0,17 micron seulement, ce qui est inférieur à l'erreur expérimentale possible. Il n'y avait donc aucun indice que le diamètre eût changé. Faute de temps on n'a pas effectué de mesures sur la partie inférieure du solénoïde.

Les résultats des mesures électriques sont donnés dans le Tableau I, qui a la même disposition que le Tableau XXIV de la publication précédente.

Les valeurs individuelles sont représentées sur la figure 2, qui fournit, dans l'ordre chronologique, toutes les valeurs qui ont été obtenues au moyen du long solé-

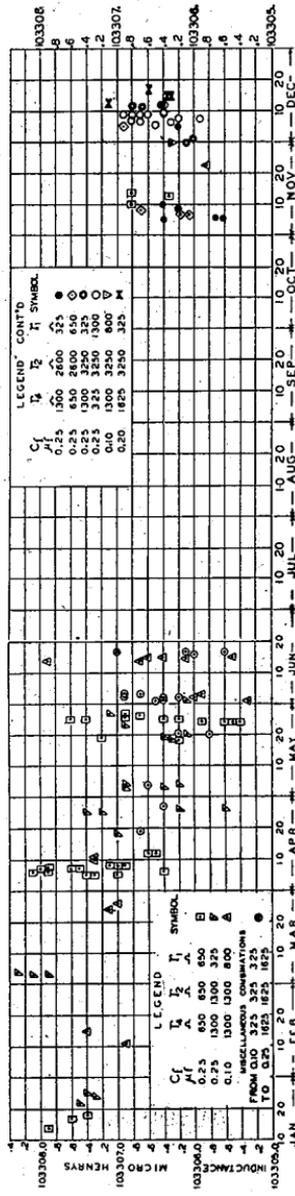


Fig. 2.

TABLEAU I.

Différence entre les inductances du long solénoïde de verre (N.B.S. 1847) et l'inducteur de substitution.

Mesures effectuées pendant les deux derniers mois de 1938.

Température de l'inducteur : $26^{\circ},1 \pm 0^{\circ},5$ C.

Fréquence utilisée dans le pont à courant alternatif 24 c/s.

Fréquence utilisée dans le pont à capacité : 100 charges et décharges par seconde.

Ce tableau dérive des valeurs individuelles représentées sur la figure 2.

Valeurs nominales des constantes du pont Maxwell-Wien.			Valeur moyenne de l'inductance L-l (μ h int. N. B. S.).	Nombre d'observations dans chaque groupe.	Écart moyen d'une détermination individuelle par rapport à la moyenne du groupe (en μ h).	
Capacité C (en μ f):	Résistance (en ohms)					
	r_1 .	r_2 .	r_3 .			
0,1	1300	800	1300	103 305,8	1	—
	1300	800	1750	6,3	1	—
0,2	1625	325	325	6,6	4	$\pm 0,27$
0,25	1300	325	2600	6,1	6	$\pm 0,28$
	650	650	2600	6,5	4	$\pm 0,32$
	650	650	650	6,6	3	$\pm 0,23$
	1300	325	3250	6,4	6	$\pm 0,27$
	325	1300	3250	6,5	12	$\pm 0,23$
Nombre total d'observations:.....				37		

Moyenne des 37 observations : 103306,4 microhenrys internationaux N.B.S.

Écart moyen des 37 valeurs individuelles par rapport à leur moyenne : $\pm 0,3$ μ h.

Écart maximum d'une valeur quelconque par rapport à la moyenne : 0,8 μ h.

noïde de verre. En tenant compte, d'une part, de la valeur mesurée de l'inductance, qui est égale à 103306,4 microhenrys internationaux et qui est donnée dans le Tableau I, et, d'autre part, de la valeur calculée qui est égale à 103356,3 microhenrys absolus, on peut établir comme suit le résultat des mesures effectuées en novembre et décembre 1938 :

1 ohm international N.B.S. = 1,000483 ohm absolu.

Ce résultat est supérieur de 4 millièmes à la valeur obtenue pendant les six premiers mois de 1938. Cependant les points reportés sur la figure 2 montrent que l'inductance mesurée donnait des valeurs plus élevées avant le milieu d'avril qu'après cette date. On recherche actuellement la cause de cette différence. A titre de contrôle on a comparé le résultat moyen des déterminations de novembre et décembre avec le résultat moyen des déterminations de mai et juin. La différence entre les moyennes de ces deux groupes de mesures était inférieure à 1 millième. Cependant, l'écart moyen par rapport au résultat de mai-juin était de 4 millièmes, tandis que par rapport au résultat de novembre-décembre il était de 3 millièmes. De même l'écart maximum à partir de la moyenne était réduit de 15 à 8 millièmes.

ANNEXE E 3.

National Bureau of Standards.

RAPPORT PRÉLIMINAIRE

SUR

UNE MESURE ABSOLUE DE RÉSISTANCE

BASÉE SUR L'INVERSION D'UN COURANT CONTINU
DANS UNE INDUCTANCE MUTUELLE

Par MM. FRANK WENNER, JAMES L. THOMAS,
IRVIN L. COOTER et F. RALPH KOTTER.

(28 décembre 1938.)

La méthode de mesure est décrite dans le compte rendu daté du 1^{er} septembre 1938.

Les résultats obtenus conduisent, pour les résistances de trois étalons récemment envoyés par notre Bureau au Bureau international des Poids et Mesures, aux valeurs suivantes :

Étalon.	Résistance en ohm absolu.
78.....	1,000011
82.....	1,000041
84.....	1,000017

Ces résultats, exprimés d'une autre façon, conduisent à la relation suivante :

1 unité N.B.S. = 1,000485 ohm absolu.

ANNEXE E 4.

Laboratoire Central d'Électricité.

NOTE COMPLÉMENTAIRE

SUR LA

DÉTERMINATION DU RAPPORT DE L'OHM INTERNATIONAL
A L'OHM ABSOLU

Par MM. R. JOUAUST, M. PICARD et R. HÉROU.

Depuis la publication de notre travail en juillet 1938, sur la détermination du rapport de l'ohm international à l'ohm absolu ⁽¹⁾, nous avons cherché si quelques corrections ne devaient pas être apportées au résultat trouvé.

Nous exposons ci-dessous le résultat de ces recherches.

1. Le diamètre moyen en une région de la bobine cylindrique constituant notre étalon d'inductance a été déduit de la longueur de fil nécessaire pour bobiner 53 spires.

Il est évident que, par suite de la tension du fil pendant le bobinage, le cylindre de quartz qui constitue la bobine se contracte. Le procédé employé donne bien le diamètre réel de la section bobinée au moment du bobinage. Mais M. H. L. Curtis a attiré notre attention sur ce point que le bobinage des sections suivantes devait entraîner aussi une diminution du diamètre des sections déjà bobinées.

Nous avons constaté qu'il en était bien ainsi par le moyen suivant :

(1) *Bulletin Soc. française des Électriciens*, tome VIII, juillet 1938.

Nous avons procédé, sur un noyau de quartz identique à celui ayant servi à la constitution de l'étalon d'inductance, à un bobinage en insérant dans le fil une éprouvette de fil résistant analogue à celle que nous avons utilisée pour l'évaluation des frottements au bobinage (2).

On mesurait la résistance de cette éprouvette une première fois; puis on la mesurait de nouveau après avoir continué le bobinage pendant le nombre de spires dont on voulait apprécier l'effet de compression.

Une diminution de la résistance indiquant une diminution de tension, révèle par suite une diminution du diamètre de la bobine.

On a suivi ces variations de tensions par des mesures de résistance de l'éprouvette d'abord de 10 en 10 spires, puis par points plus espacés, jusqu'à l'extrémité de la bobine. Les résultats obtenus ont été vérifiés en débobinant le fil enroulé.

La sensibilité des mesures permettait de déceler des variations de longueur de l'ordre du millionième.

Les expériences ont montré que le diamètre du noyau sous l'éprouvette paraît diminuer lorsqu'on poursuit le bobinage. Il est assez difficile d'apprécier la correction exacte à appliquer de ce chef. Il semble que cette correction ait pour effet de diminuer de quelques millionièmes la valeur de l'étalon d'inductance.

2. La capacité propre de l'étalon d'inductance avait été déterminée avant le montage définitif de cet étalon. De nouvelles mesures ont montré que cette valeur était supérieure à la valeur trouvée initialement.

L'introduction de cette nouvelle valeur dans le terme-correctif dû à l'influence de la capacité propre de la bobine a pour effet de diminuer la valeur de l'étalon d'inductance de 5 millionièmes.

En tenant compte des corrections indiquées aux paragraphes 1 et 2, nous sommes amenés à considérer que le rapport de l'ohm international à l'ohm absolu déduit de nos mesures a pour valeur

$$1,00051$$

dans les mêmes conditions de précision que celles mentionnées dans notre travail de 1938.

(2) *Loc. cit.* p. 42.

ANNEXE E 5.

Physikalisch-Technische Reichsanstalt.

RAPPORT

CONCERNANT L'ÉTAT DES EXPÉRIENCES

SUR LA

DÉTERMINATION DE L'AMPÈRE INTERNATIONAL
EN UNITÉS ABSOLUES

Par M. H. von STEINWEHR.

(1^{er} avril 1939.)

Pour la détermination du rapport de l'ampère international à l'ampère absolu, la Physikalisch-Technische Reichsanstalt a utilisé la balance de courant de Rayleigh. Celle-ci avait été choisie parce qu'elle permet d'obtenir, avec des bobines moins lourdes, des forces électromagnétiques sensiblement plus grandes qu'avec la balance de courant du National Physical Laboratory. Sa construction a été exécutée en s'inspirant de la première publication du Bureau of Standards concernant la balance de Rayleigh (1). De même, le mode opératoire et l'exécution des mesures, ainsi que le calcul de la force, sont si étroitement conformes aux descriptions publiées par le Bureau of Standards, que rien de particulier n'a besoin d'être mentionné à ce sujet.

Il n'est à la vérité pas possible de déterminer les dimensions d'enroulements à plusieurs couches avec une exactitude telle que

(1) *Bull. of the Bur. of Stand.*, 8, 1912, p. 270.

celles-ci puissent servir directement au calcul des forces. Mais cette difficulté peut être surmontée pour la plus grande partie si, selon la méthode du Bureau of Standards, le rapport des rayons est déterminé par des mesures magnétiques. L'espace d'enroulement entre alors dans les formules uniquement comme une correction, qui dans le cas présent est relativement élevée, et qui doit être déterminée avec plus d'exactitude qu'il n'est possible de le faire pour des bobines en fil. En raison de la difficulté de se rendre compte de l'influence des formules utilisées pour leur calcul, cet état de choses n'a été remarqué que lorsque les premières mesures effectuées avec des bobines de fil ont été soumises au calcul. Les circonstances qui se rapportent à ce problème ont été mises en lumière dans une publication de la Physikalisch-Technische Reichsanstalt (1). Ainsi qu'il a été montré dans cette publication, la correction qui provient de l'espace occupé par l'enroulement ne doit pas être traitée en deux étapes, à savoir d'abord pour la détermination du rapport des rayons, puis pour la pesée, mais au contraire les formules doivent être combinées de telle façon que cette correction ne s'introduise qu'une seule fois dans le calcul.

D'après la formule à laquelle on est arrivé dans le travail cité, il faut remarquer également que les erreurs qui entachent la détermination de l'espace occupé par l'enroulement des petites bobines mobiles ont beaucoup plus d'influence que celles qui affectent cette même détermination sur les grandes bobines fixes. Comme un enroulement de fil se place sous la forme d'une hélice, il doit rester aux extrémités de chaque couche d'enroulement un espace libre, dont la détermination n'est pas possible. On ne peut éviter celui-ci, lorsqu'on passe à un enroulement de ruban, qu'en le disposant en couches superposées et non contiguës. Dans ce cas, l'espace d'enroulement ne peut être déterminé avec une exactitude suffisante d'après la largeur du ruban et l'épaisseur de la couche enroulée que si l'intervalle entre les couches successives n'est pas trop grand. Comme il ne fut pas possible à ce moment de se procurer en Allemagne du ruban d'aluminium oxydé pour lequel l'épaisseur de l'isolant ne montât qu'à quelques microns, on a essayé d'établir des bobines faites suivant ce principe avec du ruban de cuivre, ruban qui était

(1) *Phys. Zeits.*, 39, 1938, p. 399.

recouvert d'une couche d'émail. Mais, tandis que les bobines qui avaient été enroulées avec du fil de cuivre émaillé présentaient un isolement remarquable, toutes les tentatives pour réaliser un enroulement bien isolé avec du ruban de cuivre émaillé ont échoué. Il a fallu par conséquent ajouter au ruban de cuivre émaillé un isolant de soie grâce auquel l'isolement est devenu suffisant dans les limites exigées. Mais ainsi la distance entre les couches successives était augmentée d'une telle quantité que les résultats obtenus avec des bobines de cette sorte sont affectés d'une incertitude trop grande (1). Grâce à l'obligeance du Bureau of Standards, qui a mis à la disposition de la Physikalisch-Technische Reichsanstalt du ruban d'aluminium oxydé pour l'enroulement de deux petites bobines mobiles, il fut au moins possible d'exécuter deux bobines en ruban d'aluminium tout à fait satisfaisantes, que l'on a alors utilisées en les associant soit aux deux bobines fixes de fil, soit aux deux bobines fixes de ruban pour les dernières mesures effectuées jusqu'ici.

En revanche, si l'amélioration dans la construction des bobines ne s'est faite qu'au cours des recherches, quelques autres perfectionnements avaient déjà été entrepris dès la mise en projet de l'appareillage; parmi ceux-ci nous ne citerons que les deux suivants :

1° L'appareil destiné à la détermination du rapport des rayons des bobines a été construit de telle sorte que les petites bobines puissent être déplacées d'une quantité mesurable dans trois directions perpendiculaires et puissent être tournées d'une quantité mesurable autour de deux directions perpendiculaires. Grâce à cela, on a rendu possible un ajustage parfait des deux bobines l'une par rapport à l'autre et par rapport au petit aimant suspendu. La position de celui-ci peut également être modifiée dans certaines limites.

2° Pour réaliser la coaxialité des bobines mobiles et des bobines fixes au moment de la pesée, la balance du National Bureau of Standards, qui repose sur les supports recevant les bobines fixes,

(1) Au sujet de données plus détaillées sur les bobines enroulées avec du ruban de cuivre, voir le Rapport de la Physikalisch-Technische Reichsanstalt dans les *Procès-Verbaux du Comité international*, 1937, p. 137.

est réglable par des déplacements dans deux directions horizontales perpendiculaires l'une à l'autre. Les objections qui pourraient être faites avec raison contre un tel dispositif ont amené la Physikalisch-Technische Reichsanstalt à construire les bobines fixes sur une plaque-support qui peut être déplacée d'une quantité mesurable dans deux directions horizontales perpendiculaires l'une à l'autre, au lieu de rendre la balance elle-même déplaçable en même temps que les bobines qui lui sont suspendues. Cette disposition a l'avantage que la balance n'est aucunement affectée par les manipulations de l'ajustage, et n'a pas besoin d'être mise à l'arrêt.

Ci-dessous sont indiqués les résultats des mesures, qui cependant, à cause de l'incertitude de la correction due à l'espace occupé par l'enroulement des bobines fixes bobinées avec du fil ou du ruban de cuivre, ne doivent pas encore être considérés comme définitifs. Les mesures effectuées jusqu'ici ont eu lieu avec les combinaisons de bobines suivantes :

a. Bobines fixes en fil, bobines mobiles en fil. Les résultats doivent, à cause d'une trop grande incertitude sur la correction due à l'espace occupé par l'enroulement, rester tout à fait hors de considération.

b. Bobines fixes en ruban de cuivre, bobines mobiles en ruban de cuivre. Ici on peut à la vérité calculer une correction; mais celle-ci n'est pas, au moins pour les bobines mobiles, connue assez exactement.

c. Bobines fixes en fil, bobines mobiles en ruban d'aluminium. Bien que la correction pour ces dernières puisse être déterminée exactement, les résultats sont entachés d'une certaine erreur, car on ne connaît pas la correction des premières.

d. Bobines fixes en ruban de cuivre, bobines mobiles en ruban d'aluminium. Les résultats obtenus avec cette combinaison de bobines doivent être regardés comme les plus dignes de confiance; c'est pourtant sur ceux-ci que l'écart avec les résultats du National Physical Laboratory et du National Bureau of Standards est le plus grand. Les résultats des mesures correspondant aux diverses combinaisons de bobines sont résumés dans le Tableau suivant :

Grandes bobines.		Petites bobines.		<u>Amp. int.</u> <u>Amp. absolu</u>
Diam. en cm.	Conducteur utilisé.	Diam. en cm.	Conducteur utilisé.	
40	ruban de cuivre	20	ruban de cuivre	1,00006
40	» »	20	» »	1,00003
50	fil »	25	» d'aluminium	0,99996
40	ruban »	20	» »	1,00012

ANNEXE E 6

National Bureau of Standards.

RÉSUMÉ D'UN RAPPORT

SUR

LA DÉTERMINATION DE L'AMPÈRE ABSOLU

EN FAISANT USAGE DE BOBINES PERFECTIONNÉES

Par MM. Harvey L. CURTIS, Roger W. CURTIS,
et CHARLES L. CRITCHFIELD.

(22 décembre 1938.)

Des publications antérieures ⁽¹⁾ ont donné des valeurs de l'ampère absolu, déterminées au moyen de la balance de courant de Rayleigh. Le présent rapport donne les valeurs obtenues au cours de 1938, en faisant usage de bobines perfectionnées. Il y avait deux bobines mobiles, dont chacune était utilisée avec une paire de bobines fixes. Toutes ces bobines avaient été construites de manière à les rendre conformes aux conditions théoriques, plus exactement que cela n'avait pu être fait pour les bobines décrites dans le rapport précédent.

Les deux bobines mobiles étaient les mêmes que celles décrites dans le dernier rapport au Comité international. L'une d'elles, désignée par P 1, était un solénoïde à couche unique. L'autre, désignée par A 1, était une bobine à ruban d'aluminium. On

⁽¹⁾ An absolute determination of the ampere, by Curtis and Curtis : *B. S. J. Research*, 22, 1934, p. 665; RP 685; et Rapport supplémentaire sur la détermination absolue de l'ampère, par Curtis, Curtis et Critchfield : *Procès-Verbaux du Comité international*, 1937, p. 149.

trouvera dans la Note publiée en Annexe aux *Procès-Verbaux* les descriptions et les photographies de ces deux bobines telles qu'elles sont montées sur la balance de courant.

Les deux bobines fixes, désignées par B 1 et B 2, ont été construites au moyen d'un ruban d'aluminium. Le mode de construction se rapproche beaucoup de ce qui avait été fait pour la bobine A 1, mais avec des dimensions différentes. Leur diamètre moyen était de 45^{cm}, le ruban avait 2^{cm},5 de largeur et 0^{cm},01 d'épaisseur. Les rubans étaient isolés par une couche d'oxyde d'aluminium épaisse d'environ 6 microns, qui était formée sur la surface du ruban par un procédé électrolytique. On a superposé deux rubans en les enroulant simultanément : un ruban partait de l'extrémité d'un diamètre, l'autre ruban partait de l'extrémité opposée. Chaque enroulement comprenait 125 tours. Les deux enroulements étaient normalement branchés en parallèle, mais pouvaient être branchés en série ou isolés l'un de l'autre, lorsque la mesure de la résistance d'isolement l'exigeait. Les bobines avaient un dispositif de refroidissement par eau. Ces nouvelles bobines fixes présentaient une résistance si faible que l'on pouvait y faire passer un courant plus intense que dans les bobines mobiles. On pouvait ainsi augmenter la force sans échauffer davantage la bobine mobile et l'échauffement accru des bobines fixes pouvait être limité par une circulation d'eau aménagée dans leurs carcasses. Cependant, l'utilisation de courants différents dans les bobines fixes et dans les bobines mobiles a l'inconvénient de présenter deux circuits séparés, dans lesquels le courant doit être maintenu constant. Cette modification est une variante avantageuse de la méthode qu'on utilise généralement et dans laquelle toutes les bobines sont montées en série.

La valeur utilisée pour l'accélération de la pesanteur à l'emplacement de la balance était la même que précédemment, soit 980,095 cm/sec². Elle était basée sur la détermination absolue de Potsdam. Une détermination récente ⁽¹⁾ effectuée dans notre Bureau a fourni une valeur inférieure de 20 millièmes à la valeur de Potsdam. En attendant l'établissement d'un accord international, il ne semble pas opportun de changer l'ancienne base.

⁽¹⁾ HEYL et COOK, *The Value of Gravity at Washington* (J. Research N. B. S., 17, 1936, p. 865; RP 946).

Les résultats qui ont été obtenus avec les bobines fixes B1 et B2 sont donnés dans le Tableau I.

La valeur déduite des mesures effectuées au moyen de ces bobines peut être exprimée comme suit :

$$1 \text{ ampère international N.B.S.} = 0,999852 \text{ ampère absolu.}$$

Ce résultat est inférieur à tous les autres résultats obtenus au moyen d'un ensemble quelconque de bobines. Il est le seul obtenu en utilisant simultanément, comme bobines fixes et comme bobines mobiles, des bobines perfectionnées. La valeur présentée au Comité international en 1937 n'était basée que sur des bobines perfectionnées mobiles. Le résultat actuel pourrait être légèrement modifié en raison de nouvelles mesures des dimensions et du coefficient de dilatation de certaines bobines. Un Mémoire donnant les résultats complets de tous les travaux effectués depuis 1934 est en préparation et paraîtra dans un prochain fascicule du *Journal of Research du National Bureau of Standards*.

TABLEAU I.

Résumé des résultats obtenus avec les bobines fixes B1 et B2.

Date (1938).	Connexion des enroulements de B1 et B2.	Force appropi- mative (grammes).	Courant approximatif (en ampères).		$\frac{\text{N.B.S.}-I_a}{I_a}$ (millio- nièmes).	Nombre d'obser- vations.	Écart par rapport à la moyenne dans une série.
			Bobine mobile.	Bobine fixe.			
<i>Bobine mobile A1.</i>							
Juin...	Parallèle	1,67	1	1	145	6	± 3
Juin...	Série	3,35	1	1	144	9	6
	Moyenne en utilisant A1.....				144		
<i>Bobine mobile P1.</i>							
Sept...	Parallèle	1,40	1	1	152	11	± 5
Sept...	Série	2,81	1	1	153	6	3
Oct....	Parallèle	2,81	0,4	5	150	4	3
Oct....	Parallèle	7,03	1	5	149	9	2
	Moyenne en utilisant P1.....				151		
	Moyenne en utilisant les deux bobines...				148		



ANNEXE E 7.

Laboratoire électrotechnique, Tokio.

SUR

LA MESURE ABSOLUE DU COURANT

Par

MM. RINKICHI YONEDA et YÛICHI ISHIBASHI.

Le Laboratoire Électrotechnique a fabriqué deux nouvelles bobines mobiles, et fait la mesure absolue de l'ampère en utilisant ces bobines en combinaison avec les bobines anciennes fixes.

La mesure du rapport entre les rayons d'une bobine fixe et d'une bobine mobile est déjà terminée. Nous sommes en train de faire maintenant des mesures du courant absolu en employant la balance de courant.

Les bobines mobiles nouvellement fabriquées sont constituées par des enroulements de rubans d'aluminium. Leurs dimensions géométriques sont indiquées ci-dessous :

TABLEAU I.

Symbole.....	M ₁₁	M ₁₂
Rayon.....	12 ^{cm} , 511	12 ^{cm} , 509
Profondeur radiale.....	2 × 0 ^{cm} , 459	2 × 0 ^{cm} , 458
Longueur axiale.....	2 × 0 ^{cm} , 492	2 × 0 ^{cm} , 493
ombre de spires.....	60	60

Les mesures des rapports entre les rayons d'une bobine fixe et d'une bobine mobile ont été faites, comme la dernière fois, par procédé électromagnétique, dans une section du Laboratoire située à Hiraiso (Préfecture d'Ibaraki).

Les résultats en sont indiqués dans le Tableau II.

TABLEAU II.

Résultats des mesures des rapports des rayons effectifs.

Combinaison.	Rapports observés des rayons.	Corrections pour la section finie		Corrections pour la longueur effective de l'aimant.	Valeurs corrigées des rapports.
		pour les bobines fixes.	pour les bobines mobiles.		
F ₁ -M ₁₁	0,499 131 0	+319,8.10 ⁻⁶	-325,3.10 ⁻⁶	+21,2.10 ⁻⁶	0,499 138 8
F ₁ -M ₁₂	0,499 077 5	+319,8.10 ⁻⁶	-329,1.10 ⁻⁶	»	0,499 083 4
F ₂ -M ₁₁	0,499 422 6	+327,4.10 ⁻⁶	-325,3.10 ⁻⁶	»	0,499 434 2
F ₂ -M ₁₂	0,499 373 0	+327,4.10 ⁻⁶	-329,1.10 ⁻⁶	»	0,499 382 7
F ₃ -M ₁₁	0,500 144 5	+363,6.10 ⁻⁶	-325,3.10 ⁻⁶	»	0,500 174 3
F ₃ -M ₁₂	0,500 095 8	+363,6.10 ⁻⁶	-329,1.10 ⁻⁶	»	0,500 123 7

F_1 , F_2 et F_3 sont les anciennes bobines fixes.

Les rapports $\frac{M_{11}}{M_{12}}$ déduits par l'intermédiaire des bobines fixes sont indiqués ci-dessous :

	M_{11}/M_{12}
F_1	1,000 111 0
F_2	1,000 103 1
F_3	1,000 101 3

En supposant que la moyenne des valeurs de $\frac{M_{11}}{M_{12}}$ est correcte, nous avons recorrigé les dernières valeurs du Tableau II, comme il est indiqué dans le tableau suivant :

F_1-M_{11}	0,499 137 3
F_1-M_{12}	0,499 084 9
F_2-M_{11}	0,499 434 7
F_2-M_{12}	0,499 382 2
F_3-M_{11}	0,500 175 3
F_3-M_{12}	0,500 122 7

Les mesures du courant absolu par la balance sont en cours d'exécution.



ANNEXE E 8.

Bureau International des Poids et Mesures.

RAPPORT

SUR LES

COMPARAISONS DES ÉTALONS NATIONAUX
DE RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE

(janvier-février 1939)

Par MM. A. PÉRARD et M. ROMANOWSKI.

Le nombre des étalons de résistance électrique réunis au Bureau international pour la comparaison de 1939 a été sensiblement plus élevé que lors des comparaisons précédentes. Pour ne pas allonger exagérément la durée des travaux, et pour donner le même poids aux unités des six Laboratoires nationaux, nous avons été amenés à répartir les étalons présents en deux groupes, d'importance très inégale d'ailleurs. Le premier groupe contenait, comme représentants de chaque Laboratoire national, un étalon primaire et un étalon secondaire, destinés à être renvoyés, après les comparaisons, à leur pays respectif. A cet ensemble d'étalons « voyageurs » ont été adjoints six étalons (un par Laboratoire national) destinés à rester au Bureau international à titre de dépôt permanent (étalons dits « sédentaires »). Le Laboratoire central d'Électricité et l'Institut de Métrologie n'ayant pas envoyé d'étalon sédentaire, pour sauvegarder la symétrie des comparaisons on a fait occuper les places qui leur étaient normalement destinées par deux étalons conservés au Pavillon de Breteuil : l'un appartient au National Physical Laboratory (n° 717) et l'autre est propriété du Bureau interna-

tional (Leeds et Northrup, n° 269965) (1). Ces étalons sont désignés par un astérisque * dans le Tableau ci-dessous. Ont été rattachés aux étalons nationaux voyageurs, deux ohms du Bureau national des Mesures de Varsovie, les nos P (269970) et P (7301).

Voici la constitution des groupes :

	Premier groupe.			Deuxième groupe.	
	Voyageurs.		Sédentaires.	Voyageurs.	Sédentaires.
	Primaires.	Secondaires.	Primaires.	Témoins.	Secondaires.
P.T.R. Berlin:....	R(3751)	R (1K)	R(2836)	-	R(111)
N.B.S. Washington.	S (78)	S (82)	S(85)	S (84)	S (86) S (87)
L.C.E. Paris.....	C(3962)	C (7414)	N(717)*	-	-
N.P.L. Teddington.	N (718)	N (719)	N(645)	N(720)	N(643)
E.T.L. Tokio.....	E(34054)	E(34050)	E(34052)	-	-
I.M. Leningrad....	M (6)	M (8)	LN(269965)*	-	-

Tous les étalons sont à bornes de potentiel sauf R(1K) et R(111). Ce dernier est en alliage or-chrome.

Les ohms primaires ont été, comme en mars 1935 et décembre 1936, comparés entre eux dans toutes les combinaisons possibles. Les ohms secondaires et sédentaires du premier groupe ont été rattachés aux ohms primaires par des comparaisons directes mais effectuées suivant un schéma un peu plus simple (fig. 1). L'un des observateurs a utilisé le courant de 0,10 A (énergie dissipée : 0,01 watt), et l'autre de 0,14 A (énergie dissipée 0,02 watt); et chacun d'eux a effectué l'ensemble complet des comparaisons, c'est-à-dire un « aller » et un « retour » symétrique par rapport à une date centrale; cette date étant la même pour les deux observateurs : 15 février 1939.

Le rattachement des étalons du deuxième groupe n'a été effectué que par un seul observateur (R), et par rapport aux étalons secondaires seulement.

La conduite générale des comparaisons est restée inchangée depuis celles de 1936; mais le pont double a subi, au cours des années précédentes, une profonde modification due plus spécia-

(1) Les deux Laboratoires en question auront à substituer par la suite leurs propres étalons aux étalons ci-dessus.

lement à l'un de nous (Romanowski). Le schéma des connexions (fig. 2) diffère du précédent par les deux points principaux suivants :

a. Suppression du shunt sur l'ohm mesuré X et application de ce shunt S à l'ohm tare T. Ce dernier étant choisi parmi les modèles à prises de potentiel externes, on élimine toute erreur

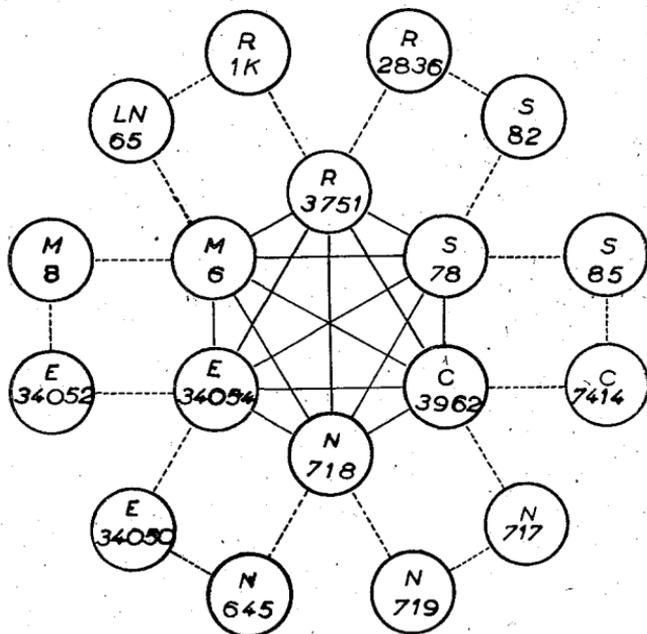


Fig. 1.

pouvant provenir, lorsqu'on shunte l'ohm mesuré lui-même, des résistances notables que présentent ses prises de potentiel.

b. Établissement d'un dispositif N permettant de mettre en court-circuit les extrémités des bras extérieurs du pont double et addition de deux ohms x et y en série avec les bras extérieurs. Lorsqu'on ferme le court-circuit N on peut, grâce à un shunt situé sur l'ohm x (du même côté que l'étalon mesuré), réaliser l'équilibre du pont simple de Wheatstone qui en résulte, et écrire ainsi une équation supplémentaire qui, combinée avec

celle du pont double, permet d'éliminer les résistances des dérivations de potentiel;

c. Un des bras extérieurs du pont a été rendu légèrement ajustable grâce au dispositif σ , de sorte qu'il était possible d'écrire une troisième équation résultant de l'équilibrage du nouveau pont simple obtenu en ouvrant les deux court-circuits N

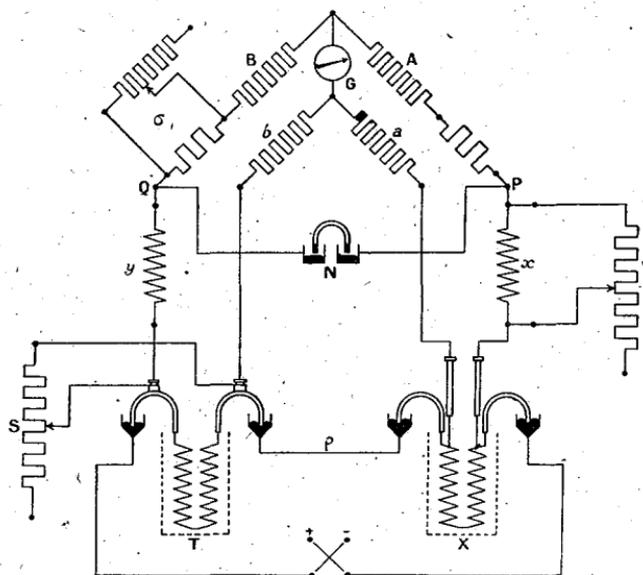


Fig. 2.

et ρ . Ce troisième équilibrage, dont l'importance est d'ailleurs très faible, n'était effectué qu'approximativement, de façon à convenir simultanément aux deux étalons qui allaient être comparés entre eux.

La boîte à fiches, qui servait autrefois de shunt principal, a été remplacée par une boîte de précision, à manettes, établie par la Cambridge Instrument Co. On a déterminé, immédiatement avant le commencement des comparaisons, les valeurs de la boîte-shunt et de l'ohm servant de tare, de sorte que l'on pouvait appliquer aux lectures les corrections nécessaires et éliminer ainsi toute inexactitude pouvant provenir des calculs.

L'examen des résultats obtenus semble montrer que ces modifications n'ont pas été effectuées en vain; les erreurs résiduelles sont deux fois plus faibles qu'en 1935. Sauf dans une seule mesure (sur tout l'ensemble du travail), elles sont nettement inférieures à un dixième de microhm. Si dans ces conditions, et à titre exclusivement documentaire, on effectuait le calcul des erreurs probables, on trouverait pour chaque comparaison individuelle une erreur de quelques centièmes de microhm, et pour chaque résultat final compensé une erreur de l'ordre du centième de microhm à peine, précision évidemment illusoire.

Résultats.

Le Tableau I ci-dessous montre la concordance des résultats obtenus individuellement par chaque observateur. Sur le

TABLEAU I.

Écart des étalons nationaux du premier groupe par rapport à A₆.

$$A_6 = \frac{1}{6} [R(3751) + S(78) + C(3962) + N(718) + E(34054) + M(6)].$$

Étalons.	Pérard ($i=0,10$ A).	Romanowski ($i=0,14$ A).	Moyenne.
<i>Primaires.</i>			
R (3751).....	+170,77 $\mu\Omega$	+170,85 $\mu\Omega$	+170,81 $\mu\Omega$
S (78).....	-347,10	-347,26	-347,18
C (3962).....	+200,33	+200,39	+200,36
N (718).....	-333,63	-333,60	-333,62
E (34054)....	+218,72	+218,72	+218,72
M (6).....	+ 90,92	+ 90,90	+ 90,91

Secondaires.

R (1K).....	+174,10	+174,13	+174,12
S (82).....	-317,39	-317,37	-317,38
C (7414).....	+162,65	+162,54	+162,60
N (719).....	-329,15	-329,07	-329,11
E (34050)....	+237,89	+237,58	+237,74
M (8).....	+ 83,13	+ 83,11	+ 83,12

Tableau II figurent les valeurs des étalons exprimées dans l'unité de leur laboratoire respectif, mesurées avant et après les comparaisons, ainsi que les valeurs interpolées au 15 février 1939.

TABLEAU II.

*Valeurs des étalons nationaux interpolées
à la date du 15 février 1939 (1).*

	(1 ^{er}) déc. 1938.	(1 ^{er}) avril 1939.	15 février 1939.
R (3751).....	1,000 028 4 Ω_A	1,000 033 6	1,000 031 71 Ω_A
	(15) nov. 1938.	(15) mars 1939.	
S (78).....	0,999 526 0 Ω_E	0,999 526 0	0,999 526 00 Ω_E
S (82).....	0,999 556 0	0,999 556 0	0,999 556 00
	3 janvier 1939.	21 avril 1939.	
C (3962).....	1,000 070 7 Ω_F	1,000 070 3	1,000 070 54 Ω_F
C (7414).....	1,000 027 0	1,000 022 0	1,000 025 01
	(15) déc. 1938.	(15) mars 1939.	
N (718).....	0,999 542 0 Ω_G	0,999 543 0	0,999 542 69 Ω_G
N (719).....	0,999 547 0	0,999 548 0	0,999 547 69
	2 nov. 1938.	(25) mai 1939.	
E (34054)....	1,000 104 0 Ω_J	1,000 101 0	1,000 102 46 Ω_J
E (34050)....	1,000 124 0	1,000 122 0	1,000 122 97
	8 déc. 1938.	3 mai 1939.	
M (6).....	0,999 960 6 Ω_U	0,999 959 5	0,999 960 08 Ω_U
M (8).....	0,999 952 8	0,999 952 2	0,999 952 52

Les écarts des unités nationales ont d'abord été calculés par rapport à leur moyenne actuelle Ω_n^0 et ensuite rapportés à l'ohm moyen Ω_M , tel qu'il est défini par le Comité consultatif d'Électricité de 1935. Ces résultats sont présentés dans les dernières colonnes du Tableau III.

(1) Entre parenthèses figurent les dates admises par nous, faute d'indication plus précise sur les mesures des Laboratoires nationaux.

TABLEAU III.

*Valeurs successives des unités nationales de résistance électrique
(en fonction de la moyenne Ω_M définie en 1935).*

	Nov. 1933 3 ^e comparaison. Ω_M	Mars 1935 4 ^e comparaison. Ω_M	Déc. 1936 5 ^e comparaison. Ω_M	Février 1939 6 ^e comparaison. Ω_M
Allemagne Ω_A	+10,6.10 ⁻⁶	+ 9,8.10 ⁻⁶	+ 6,6.10 ⁻⁶	+ 9,1.10 ⁻⁶
États-Unis Ω_E	- 6,4	- 5,5	- 3,7	- 3,2
France } Ω_F	+73,0	+69,5	-	-
} Ω_F modifié..	-	0,0	+ 0,9	+ 3,7
Grande Bretagne Ω_G ..	- 5,2	- 3,6	- 3,9	- 6,5
Japon Ω_J	- 8,3	-11,2	-10,0	-14,4
U.R.S.S. } Ω_U	+ 9,5	+10,6	-	-
} Ω_U modifié.	-	0,0	- 0,4	+ 0,8

*Valeurs des étalons exprimées en Ω_M
à la date du 15 février 1939.*

(Pour la répartition voir tableau page E 63).

P. T. R.	R(3751) = 1,000 0409	N. B. S.	S(78) = 0,999 5229
	R(1 K) = 1,000 0442		S(82) = 0,999 5527
	R(2836) = 1,000 1720		S(85) = 0,999 5241
	R(111) = 1,000 2255		S(86) = 0,999 5251
			S(87) = 0,999 5153
			S(84) = 0,999 5286
L. C. E.	C(3962) = 1,000 070	4N. P. L.	N(718) = 0,999 5364
	C(7414) = 1,000 0326		N(719) = 0,999 5409
	*		N(645) = 1,000 0063
			N(643) = 0,999 9551
			N(717)* = 1,000 0124
			N(720) = 0,999 5190
E. T. L.	E(34054) = 1,000 0888	I. M.	M(6) = 0,999 9610
	E(34050) = 1,000 1078		M(8) = 0,999 9532
	E(34052) = 0,999 5864		*
	B. N. M.	P(269970) = 0,999 9641	
		P(7301) = 0,999 9959	
	B. I. P. M.	LN(269965)* = 0,999 9775	

(*) Voir page E 63.

ANNEXE E 9.

Bureau international des Poids et Mesures.

RAPPORT

SUR LES

COMPARAISONS DES ÉTALONS NATIONAUX

DE FORCE ÉLECTROMOTRICE

(janvier-février 1939)

Par MM. M. ROMANOWSKI et M. ROUX.

1. A la comparaison effectuée en janvier-février 1939 ont pris part les groupes « voyageurs » représentant les unités des Laboratoires nationaux, ainsi que les groupes « sédentaires » de ces Laboratoires en dépôt permanent au Pavillon de Breteuil. Ont en outre été rattachés aux groupes voyageurs, trois groupes appartenant au Bureau international. Le transport des éléments voyageurs a été assuré soit à la main par les physiciens (M. von Steinwehr et M. Bonheure pour la Physikalisch-Technische Reichsanstalt, M. Vigoureux et M. Roux pour le National Physical Laboratory et M. Picard pour le Laboratoire central d'Électricité), soit par des Attachés d'Ambassade pour le National Bureau of Standards et l'Institut de Métrologie de l'U. R. S. S. qui ont bien voulu se charger de cette délicate mission. Les éléments du Laboratoire Électrotechnique de Tokio ont été transportés par courrier diplomatique dans leur emballage spécial muni d'une suspension à la Cardan. Le Bureau national des Mesures de Varsovie, qui possède également un groupe sédentaire au Bureau international, a été représenté, dans le but de rattacher ses étalons à ceux des six Laboratoires principaux, par un groupe voyageur transporté par les soins du courrier diplomatique de l'Ambassade de Pologne à Paris.

3.

TABLEAU I.

Composition des groupes voyageurs.

Laboratoire.	Symbole du groupe.	Numéros des éléments.									
Allemagne (P. T. R.).....	R _V	352	3306	3307	3806						
États-Unis (N. B. S.).....	S _V	785	787	789	790	825	828	882	895	914	969
France (L. C. E.).....	C _V	2907	2908	2909	2910	2911					
Grande-Bretagne (N. P. L.).....	N _V	3710	3711	3712	3713	3714	3715				
Japon (E. T. L.).....	E _V	A 41	A 46	A 51	385	456	461				
U. R. S. S. (I. M.).....	M _V	2705	2709	2715	2716	2743	2744	2749			

2. Le dispositif potentiométrique est resté sans changement notable depuis les comparaisons de 1937, sauf une modification qui a été apportée dans la composition du circuit galvanométrique (*Procès-Verbaux*, 1937, p. 202) et qui a permis d'augmenter la sensibilité des mesures. Le potentiomètre a été soigneusement étalonné par l'un de nous (Rx) avant les comparaisons. Des corrections compensant les écarts d'ajustage des bobines peuvent ainsi être appliquées aux lectures; ces corrections ne dépassent d'ailleurs pas quelques centièmes de microvolt, et peuvent, presque partout, être considérées comme pratiquement négligeables.

TABLEAU II.

Valeurs communiquées par chaque Laboratoire.

Symbole		Valeurs		
du groupe.	de l'unité.	Avant.	Après.	admisés au B. I. P. M.
R _V	V _A	1,018 307 8 V _A	1,018 305 2 V _A	1,018 306 5 V _A
S _V	V _E	1,018 261 5 V _E	1,018 262 3 V _E	1,018 261 9 V _E
C _V	V _F	1,018 230 8 V _F	1,018 231 0 V _F	1,018 230 9 V _F
N _V	V _G	1,018 237 5 V _G	1,018 237 2 V _G	1,018 237 4 V _G
E _V	V _J	1,018 304 3 V _J	1,018 305 0 V _J	1,018 304 6 V _J
M _V	V _U	1,018 317 6 V _U	1,018 314 6 V _U	1,018 316 1 V _U

4. Les six groupes voyageurs principaux ont été comparés deux à deux dans toutes les combinaisons possibles par chacun des observateurs. Les résultats sont donnés dans le Tableau III ci-dessous.

TABLEAU III.

Écarts des groupes voyageurs par rapport à leur moyenne B₆.

$$B_6 = \frac{1}{6} (R_V + S_V + C_V + N_V + E_V + M_V).$$

R _V (Allemagne).....	+ 26,9
S _V (États-Unis).....	— 23,5
C _V (France).....	— 24,1
N _V (Grande-Bretagne).....	— 29,9
E _V (Japon).....	+ 32,0
M _V (U. R. S. S.).....	+ 18,6

5. En tenant compte, d'une part, des valeurs communiquées par les Laboratoires dans leurs unités respectives (colonne : « Valeurs admises au B. I. P. M. »), et, d'autre part, des résultats indiqués dans le Tableau III, on peut déduire, à l'époque de nos comparaisons, les valeurs des unités nationales en fonction de leur moyenne actuelle V_m^6 . Ces valeurs sont ensuite rapportées à V_M , tel qu'il a été défini par le Comité consultatif d'Électricité de 1935 (*Procès-Verbaux*, 1935, p. 300 et 1937, p. 205).

TABLEAU IV.
Valeurs des unités nationales.

		Déc. 1934.	Janv. 1937.	Fév. 1939.
Allemagne.....	V_A	$V_M - 4^{\mu V}$	$-7,3^{\mu V}$	$-5,5^{\mu V}$
États-Unis.....	V_E	-12	-9,5	-11,2
France.....	$\left\{ \begin{array}{l} V_F \\ V_F \text{ modifié} \end{array} \right.$	-76		
Grande-Bretagne...	V_G	+ 5	+7,6	+ 6,5
Japon.....	V_J	- 2	+0,7	+ 1,3
U. R. S. S.....	$\left\{ \begin{array}{l} V_U \\ V_U \text{ modifié} \end{array} \right.$	+13		
		0	-5,5	-23,1

Tous les autres groupes nationaux présents, en particulier les groupes de Pologne P_V et P , ainsi que les groupes du Bureau international ont été rattachés par comparaisons avec les groupes voyageurs.

Voici les compositions des groupes du Tableau ci-dessous, autres que les groupes voyageurs du Tableau I.

R.....	315	317	3128	3131	3132	
S_2	820	822	823	824	826	827
S.....	719	720	730	732		
C_1	315	316	318	341	342	
N.....	3210	3211	3212	3213	3214	3215
E.....	315	336	337	388	391	
M_1	2295	2297	2298	2300	2316	2318
M_2	2319	2464	2467	2475	2476	2477
M'	1145	1146	1148	1420		
P.....	206	207	208			
P_V	219	220	233	57374		

TABLEAU V.

*Valeurs des groupes
exprimées en fonction de V_M en février 1939.*

Groupes voyageurs.	Groupes sédentaires.	
	Principaux.	Secondaires.
$R_V = 1,018\ 300\ 9$	$R = 1,018\ 366\ 2$	
$S_V = 1,018\ 250\ 5$	$S_2 = 1,018\ 274\ 4$	$S = 1,018\ 272\ 2$
$C_V = 1,018\ 249\ 9$	$C_1 = 1,018\ 256\ 8$	
$N_V = 1,018\ 244\ 1$	$N = 1,018\ 234\ 5$	
$E_V = 1,018\ 306\ 0$	$E = 1,018\ 296\ 2$	
$M_V = 1,018\ 292\ 6$	$M_1 = 1,018\ 254\ 6$	$M_2 = 1,018\ 283\ 3$
		$M' = 1,018\ 118\ 7$
		$P = 1,018\ 276\ 1$
$P_V = 1,018\ 255\ 4$	Groupes du B. I. P. M.	
	$I_1 = 1,018\ 250\ 6$	
	$I_A = 1,018\ 234\ 8$	
	$I_B = 1,018\ 240\ 1$	

Tout groupe voyageur, quelle que soit sa composition, est représenté par le symbole de son Laboratoire d'origine affecté d'un indice V. D'une comparaison à l'autre les symboles tels que S_V , R_V , etc., désignent donc des groupes différents. Chaque groupe sédentaire possède par contre un indice (ou éventuellement un exposant) propre, qui est changé chaque fois que le groupe subit un remaniement, si restreint soit-il.



ANNEXE E 10.

Laboratoire Électrotechnique, Tokio.

PROPOSITIONS

DU

LABORATOIRE ÉLECTROTECHNIQUE

Proposition 1. — Sur la mesure absolue de l'ohm, le Laboratoire Électrotechnique a fait, depuis le Comité dernier, des recherches qui ont confirmé qu'il n'est pas nécessaire de modifier la valeur remise au Comité consultatif d'électricité de 1937, soit :

1 ohm international E. T. L. = 1,000455 ohm absolu ⁽¹⁾.

Par conséquent, le Laboratoire Électrotechnique demande que la nouvelle valeur de l'unité de résistance soit fixée par la moyenne des déterminations des Laboratoires nationaux, en donnant au résultat obtenu ici, un poids égal à celui accordé aux résultats trouvés dans les autres Laboratoires.

Pour l'ampère, après la première expérience dont nous avons remis le rapport au Comité consultatif d'Électricité de 1937, le Laboratoire Électrotechnique a fabriqué deux bobines mobiles constituées de rubans en aluminium; et nous sommes maintenant en train de faire des expériences avec ces bobines en combinaison avec les anciennes bobines fixes. Le résultat définitif de ces mesures n'est pas encore connu ⁽²⁾ et, par conséquent, le

(1) R. YONEDA, *Proc. Verb. Com. int.*, 1937, p. 178-184.

(2) Voir Annexe E 7, p. E 59.

Laboratoire Électrotechnique remet la valeur suivante déjà présentée au Comité consultatif d'Électricité de 1937 :

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

Proposition 2. — Le Laboratoire Électrotechnique a déjà remis le rapport (2) concernant la haute stabilité de l'élément étalon Weston acide saturé, contenant de l'électrolyte acidifié en proportion de 0,05 N. Comme cet élément étalon Weston est très supérieur en stabilité comparé à l'élément étalon Weston contenant de l'électrolyte neutre, le Laboratoire Électrotechnique propose que l'élément Weston acide soit employé, dans l'avenir, comme étalon international de force électromotrice, en vue de servir au maintien de la nouvelle unité.

Proposition 3. — A. Pour assurer la conservation de la nouvelle unité qui sera déterminée au Comité de 1939, il n'y aurait pas d'autre moyen que d'employer l'étalon de résistance à fil d'alliage bobiné et l'étalon Weston.

Le Laboratoire Électrotechnique propose, afin que les groupes des étalons de résistance et de force électromotrice conservés au Bureau international des Poids et Mesures et dans les Laboratoires nationaux soient maintenus dans des conditions aussi identiques que possible, et, de plus, que la charge du Bureau international des Poids et Mesures soit diminuée, que le nouveau moyen suivant soit pris, savoir : le Bureau international des Poids et Mesures et les six Laboratoires nationaux fabriqueront, en même temps, 8 étalons de résistance de même matière et de mêmes caractéristiques, en employant des fils de résistance considérés comme les meilleurs; et ces étalons seront rassemblés au Bureau international des Poids et Mesures. Le Bureau international des Poids et Mesures conservera lui-même un groupe de 14 étalons formé de deux étalons provenant de chaque Laboratoire. D'autre part, il distribuera 6 groupes de 7 étalons (un étalon provenant de chaque Laboratoire) aux six Laboratoires nationaux, par tirage, afin que les étalons de résistance puissent être distribués impartialement. Dans ce cas, il est plausible d'admettre que la valeur

(1) *Proc. Verb. du Com. int. Poids et Mesures*, t. 18, 1937, p. 185-190.

(2) Y. ISHIBASHI et T. ISHIZAKI, *Researches of the Electrotechnical Laboratory*, n° 318, 1931.

moyenne de chaque groupe variera de la même façon, parce que chaque groupe sera constitué d'étalons de même origine.

Pour l'élément étalon Weston, il sera nécessaire de distribuer un nombre d'étalons double de celui prévu pour les étalons de résistance. Le nombre indiqué plus haut des étalons de résistance et de force électromotrice est considéré comme suffisant pour maintenir l'unité, pourvu que ces étalons soient conservés avec beaucoup de soins.

B. Le Laboratoire Électrotechnique demande qu'il soit entendu, comme l'a décidé le Comité international des Poids et Mesures de 1935, que la valeur de la nouvelle unité électrique sera déterminée en considérant les nouvelles mesures absolues faites dans chaque Laboratoire national et que, si cela était nécessaire, la valeur pourrait être modifiée, après examen de la Conférence générale, tous les six ans à partir du jour où une nouvelle unité serait mise en vigueur.

Proposition 4. — Le laboratoire Électrotechnique rappelle la demande, déjà formulée souvent dans le passé, que le texte de base recommandé pour modifier les lois, dans les pays où l'unité électrique est définie légalement, soit établi par le Comité consultatif d'Électricité de 1939, et sanctionné par la Neuvième Conférence générale des Poids et Mesures. Le Laboratoire Électrotechnique demande que le Président du Comité international des Poids et Mesures veuille bien communiquer le plus rapidement possible aux pays intéressés le texte qui aura été adopté par la Conférence générale.

Pour la recommandation fondamentale en question, le Laboratoire Électrotechnique désire que les articles à partir du n° 3 des Résolutions établies à la Conférence de Londres en 1908 soient modifiés, et qu'il soit déclaré que l'unité électrique sera représentée par les étalons conservés au Bureau international des Poids et Mesures, dont la valeur sera déterminée en considérant les résultats des mesures absolues faites dans les Laboratoires nationaux.

Proposition 5. — Le Laboratoire Électrotechnique pense que le Comité consultatif d'Électricité doit continuer d'exister, même après la détermination de la nouvelle unité électrique. Sa prochaine réunion devrait avoir lieu en 1941, pour unifier encore

mieux l'unité électrique, et aussi, pour discuter des problèmes concernant l'étalon électrique, par exemple, la réalisation de l'étalon prototype parfait.

Proposition 6. — Le Laboratoire Électrotechnique estime nécessaire, si l'unification de la valeur de la nouvelle unité électrique est réalisée, que la comparaison internationale des étalons de l'unité d'inductance et de l'unité de capacité soit aussi faite dans un but d'unification.

ANNEXE E 11.

National Physical Laboratory.

I.

LETTRE ET PROJET DE RÉSOLUTION

CONCERNANT LES

UNITÉS ÉLECTRIQUES PRATIQUES ABSOLUES.

(Extrait de la lettre d'envoi de M. J. E. SEARS
au Directeur du Bureau international des Poids et Mesures.)

Teddington, le 2 mai 1939.

... Il me paraît tout à fait indispensable que le Comité international rédige cette année une résolution en bonne forme définissant clairement la situation et l'organisation nouvelles qu'il va falloir créer en ce qui concerne les unités électriques et photométriques, résolution qui puisse servir de guide pour les textes de lois qui vont devenir nécessaires dans divers pays. Vous vous rappelez que le délégué japonais, en particulier, a expressément demandé la rédaction d'une « loi type ».

Dans cet esprit, j'ai préparé, en collaboration avec mes collègues, les deux projets de résolution ci-joints ⁽¹⁾, et je serais heureux que vous les traduisiez et les distribuiez aux membres du Comité consultatif. Ils pourront servir de base à des discussions qui permettraient de soumettre au Comité international des propositions définitives.

Au sujet de la résolution sur les unités électriques, j'ai essayé de la formuler de façon à y introduire tout ce qui est nécessaire pour un exposé explicite du système, qui puisse être pris au

(1). Voir, aux *Procès-Verbaux du Comité Consultatif de Photométrie*, le projet concernant les unités photométriques.

besoin comme base pour des décisions législatives, et aussi tout ce qui est nécessaire pour définir le rôle du Bureau international, dans la coordination des résultats des mesures faites dans les divers Laboratoires nationaux et dans l'établissement et la conservation des étalons de référence de l'ohm et du volt, tout en évitant strictement les aspects du sujet qui restent controversés. L'incorporation de la série de définitions que j'ai proposée et qui a été accueillie favorablement par le Comité de 1933 permet, je crois, que ceci soit fait avec succès.

Nous nous proposons de préparer, au sujet des divers types d'étalons utilisés dans notre Laboratoire, des spécifications qui seront soumises à l'examen du Comité; les représentants des autres Laboratoires nationaux devraient être invités à faire de même. Il serait très désirable que le Comité puisse se mettre d'accord sur les caractéristiques les mieux appropriées pour les étalons de chaque espèce (bobines de résistance et éléments Weston), et recommande pour chacun d'eux une spécification unique comprenant toutes ces caractéristiques. Cependant, s'il est prouvé que cela est impossible, il n'y a pas de raison pour que l'on ne puisse pas recommander plusieurs types. Ces recommandations ne seront en aucun cas obligatoires.

En distribuant la résolution, vous pourriez peut-être communiquer également cette brève explication.

II.

PROJET DE RÉOLUTION

CONCERNANT LES

UNITÉS ÉLECTRIQUES PRATIQUES ABSOLUES.

(Proposé en vue de son adoption
par le Comité international des Poids et Mesures.)

1. Substitution définitive des unités électriques absolues au Système international. — Conformément à la compétence et aux pouvoirs qui lui ont été conférés par la Conférence Générale

des Poids et Mesures en 1933, le Comité international des Poids et Mesures a déjà annoncé sa décision par laquelle la substitution du système des unités électriques pratiques absolues au système international doit entrer en vigueur à partir du 1^{er} janvier 1940.

2. **Continuité historique des systèmes.** — La définition première du système pratique absolu d'unités électriques adopté par le Comité a été énoncée par la Conférence de Londres de 1908 de la façon suivante :

« 1. La Conférence estime que, comme précédemment, les
« grandeurs des unités fondamentales électriques seront déter-
« minées par le système des mesures électromagnétiques en se
« référant au centimètre comme unité de longueur, au gramme
« comme unité de masse et à la seconde comme unité de temps.

« Ces unités fondamentales sont l'Ohm, unité de résistance
« qui a la valeur de 100000000 par rapport à l'unité absolue;
« l'Ampère, unité de courant électrique qui a la valeur de un
« dixième (0,1) de l'unité absolue; le Volt, unité de force
« électromotrice qui a la valeur de 10000000 par rapport à
« l'unité absolue; le Watt, unité de puissance qui a la valeur de
« de 1000000 par rapport à l'unité absolue. »

3. **Considérations générales.** — Les définitions des unités électriques et magnétiques absolues s'appuient finalement sur les lois électromagnétiques généralement admises, qui conduisent à un système de relations interdépendantes entre les différentes entités qui doivent être mesurées. Les unités peuvent être définies par conséquent de plusieurs manières, selon le point de départ choisi.

Pour formuler les décisions législatives qui concernent uniquement la *grandeur* des unités, et non pas les procédés effectifs employés pour leur réalisation à partir de la théorie qui leur sert de base, il convient d'avoir une série de lois, suffisantes pour le but envisagé, exprimées autant qu'il est possible en un langage simple et aisément compréhensible.

Pour satisfaire à des demandes qui lui ont été adressées concernant un texte destiné à servir de guide pour les rédactions législatives, le Comité recommande par conséquent l'adoption de la suite de définitions donnée dans le paragraphe 4. Les grandeurs des unités : ohm, ampère, volt et watt, ainsi définies,

sont identiques à celles qui ont été adoptées par la Conférence de Londres de 1908.

La procédure à suivre pour l'établissement et la conservation des étalons de référence indispensables de certaines unités choisies est indiquée dans les paragraphes 6 à 9, qui ont également pour but de servir de guide à la législation.

4. Grandeurs théoriques des unités. — A. DÉFINITIONS PRÉLIMINAIRES : UNITÉS MÉCANIQUES. — Le Comité admet en premier lieu les grandeurs de certaines unités mécaniques, définies comme suit

I. *Unité de force.* — L'unité de force [dans le système M.K.S.⁽¹⁾] est la force qui communique à une masse de 1 kilogramme une accélération de 1 mètre par seconde, par seconde.

II. *Le joule (unité d'énergie ou de travail).* — Le joule est le travail effectué lorsque le point d'application de 1 unité M. K. S. de force se déplace d'une distance égale à 1 mètre dans la direction de la force.

III. *Le watt (unité de puissance).* — Le watt est la puissance qui donne lieu à une production d'énergie à raison de 1 joule par seconde.

B. DÉFINITION DES UNITÉS ÉLECTRIQUES. — Le Comité admet les propositions suivantes comme définissant la grandeur théorique des unités électriques.

IV. *L'ampère (unité d'intensité de courant électrique).* — L'ampère est l'intensité d'un courant constant qui, maintenu dans deux conducteurs parallèles, rectilignes, de longueur infinie, de diamètre négligeable, et placés à une distance de 1 mètre l'un de l'autre dans le vide, produirait entre ces conducteurs une force égale à $2 \cdot 10^{-7}$ unité M. K. S. de force par mètre de longueur.

V. *Le volt (unité de force électromotrice).* — Le volt est la différence de potentiel électrique entre deux points d'un fil conducteur transportant un courant constant de 1 ampère, lorsque la puissance dissipée entre ces points est égale à 1 watt.

(¹) Il a été proposé de donner le nom de « Newton » à l'unité de force M. K. S.

VI. *L'ohm (unité de résistance électrique)*. — *L'ohm* est la résistance électrique entre deux points d'un conducteur lorsqu'une différence de potentiel constante de 1 volt appliquée entre ces deux points, produit, dans ce conducteur, un courant de 1 ampère, ce conducteur n'étant le siège d'aucune force électromotrice.

VII. *Le coulomb (unité de quantité d'électricité)*. — *Le coulomb* est la quantité d'électricité transportée en 1 seconde par un courant de 1 ampère.

VIII. *Le farad (unité de capacité électrique)*. — *Le farad* est la capacité d'un condensateur électrique entre les armatures duquel apparaît une différence de potentiel électrique de 1 volt lorsqu'il est chargé d'une quantité d'électricité égale à 1 coulomb.

IX. *L'henry (unité d'inductance électrique)*. — *L'henry* est l'inductance électrique d'un circuit fermé dans lequel une force électromotrice de 1 volt est produite lorsque le courant électrique qui parcourt le circuit varie uniformément à raison de 1 ampère par seconde.

5. **Objet de ces définitions.** — Les définitions données dans le paragraphe 4 ont pour unique objet de fixer la grandeur des unités et non les méthodes à suivre pour leur réalisation pratique. Cette réalisation s'effectue en accord avec les lois bien connues de l'électromagnétisme. Par exemple la définition de l'ampère représente uniquement un cas particulier de la formule générale exprimant les forces qui s'exercent entre des conducteurs parcourus par des courants électriques, choisi pour la simplicité de son expression verbale. Elle sert à fixer la constante dans la formule générale qui doit être utilisée pour la réalisation de l'unité.

6. **Étalons matériels.** — Pour les comparaisons pratiques, les unités électriques sont représentées par des étalons matériels de l'ohm et du volt auxquels on attribue des valeurs appropriées exprimées en unités absolues. Les étalons de l'ohm se présentent sous la forme de bobines de résistance, et ceux du volt sous la forme d'éléments voltaïques (éléments Weston par exemple).

7. **Étalons de référence internationaux.** — Les valeurs qui doivent être attribuées aux étalons de référence conservés au Bureau international des Poids et Mesures seront fixées de temps

en temps par le Comité international, sur l'avis du Comité consultatif d'Électricité, en accord avec les résultats des comparaisons effectuées entre eux et les étalons nationaux dont les valeurs auront été déterminées directement par des mesures absolues.

8. Étalons de référence nationaux. — Les valeurs à attribuer aux étalons de référence nationaux seront déterminées conformément aux résultats des comparaisons faites avec les étalons de référence du Bureau international.

9. Rapport entre les Unités absolues et les Unités internationales. — Les rapports des unités absolues aux unités internationales moyennes déduites des unités conservées jusqu'à présent par les principaux Laboratoires nationaux sont les suivants

(à donner à une unité du 5^e ordre près)

Les valeurs de ces rapports sont données uniquement à titre d'indication. Chaque pays devrait tenir compte des valeurs individuelles et des variations de ses propres étalons de référence. En vue des décisions législatives, les paragraphes ci-dessus 1, 4, 7 et 8 suffisent pour donner les définitions essentielles du système des unités électriques absolues qui a été adopté par le Comité, et ne devraient être accompagnés d'aucune valeur numérique.

10. Spécifications recommandées pour les étalons de l'ohm et du volt. — Les spécifications recommandées pour les étalons de référence de l'ohm et du volt sont données dans les Annexes. Ces spécifications ne sont cependant pas obligatoires.



ANNEXE E 12.

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

SUR LA DÉFINITION

DES

UNITÉS ÉLECTRIQUES ET MAGNÉTIQUES

DANS

LE SYSTÈME ÉLECTROMAGNÉTIQUE ABSOLU M. K. S. μ .

Par M. M. F. MALIKOV.

(Cette Note a paru intégralement dans les publications de l'Institut de Métrologie [1939]. L'essentiel en est résumé dans les propositions suivantes, présentées par la Commission des Unités de l'Académie des Sciences de l'U. R. S. S.)

1. Adopter un système d'unités où les unités fondamentales sont celles de longueur, de masse, de temps et de perméabilité magnétique.

2. Prendre pour les trois premières unités le mètre, le kilogramme et la seconde, déterminés à l'aide de leurs étalons par des méthodes arrêtées.

Déterminer la quatrième unité comme le $10^7/4\pi$ -ième de la perméabilité de l'espace vide.

3. Attribuer une dénomination spéciale à l'unité de perméabilité magnétique égale au $10^7/4\pi$ -ième de la perméabilité de l'espace vide.

ANNEXE E 13.

NOTE

SUR

LE PROJET DE RÉSOLUTION

PRÉSENTÉ

PAR LE NATIONAL PHYSICAL LABORATORY

Par M. C. BUDEANU,

Professeur à l'École Polytechnique de Bucarest.

(31 mai 1939.)

Une résolution, au sujet des unités mécaniques et électriques pratiques, serait très utile.

Cela contribuera, sans doute, à la précision et à la normalisation générale dont nous avons encore tellement besoin dans ce domaine.

Les définitions des unités seront données dans le système pratique Giorgi.

Étant donné ces considérations, je suis d'accord avec le projet de résolution du National Physical Laboratory.

Cependant je me permets d'attirer l'attention sur les points suivants que je propose de soumettre en même temps à la discussion du Comité.

A. *Unités mécaniques.* —

B. *Unités électriques et magnétiques.* — Pour mieux préciser nos unités dans le cadre du système pratique adopté, je considère qu'il serait avantageux de donner, dès à présent, les

définitions exactes des unités pratiques de champ électrique, de flux magnétique ainsi que d'induction magnétique. Ce sont des unités qui ne risquent pas d'être modifiées par l'opération éventuelle de « rationalisation » encore en cours de discussion.

En ce qui concerne la définition de l'ampère je me permets de signaler la variante suivante :

L'ampère est le courant constant maintenu dans une bobine infinie à n spires par mètre de longueur, ainsi que dans une spire située dans le plan du champ d'induction de cette bobine dans le vide et qui imprime à la spire mobile un couple égal à $4\pi n 10^{-7}$ joule par mètre carré de sa section (1).

J'indique cette variante seulement à titre de renseignement. Les deux définitions sont identiques. Je reconnais que la définition du National Physical Laboratory est plus simple et rend mieux l'idée théorique, tandis que la variante se rapproche plus des conditions de réalisation.

Étant donné qu'il s'agit seulement des définitions destinées à fixer la grandeur des unités et non les méthodes de réalisation, je crois qu'il est préférable de retenir la définition de l'ampère telle qu'elle a été proposée par le National Physical Laboratory.

Projet de résolution. — Étant donné les considérations plus haut indiquées, je me permets de présenter le texte suivant à ajouter éventuellement au projet de résolution mis en discussion :

a. Définition du « Poids ». — Le poids, d'un corps est la force qu'imprime à ce corps l'accélération de la pesanteur.

b. Utilisation du nom « gramme » avec ses multiples et sous-multiples (kilogramme, tonne, etc.). — Le nom « gramme » avec ses multiples et sous-multiples (kilogramme, tonne, etc.) sera réservé exclusivement aux unités de masse.

c. Unité pratique de champ électrique. — L'unité de champ électrique est le champ uniforme qui dans sa direction correspond à une différence de potentiel de 1 volt par mètre de longueur.

(1) Cette définition reproduit avec une faible modification un texte que j'ai publié l'année dernière.

d. Unité pratique de flux magnétique (Weber). — Le weber est le flux magnétique qui induit dans une spire qu'il traverse une force électromotrice d'un volt, lorsque le flux tombe uniformément à zéro en 1 seconde ⁽¹⁾.

e. Unité pratique d'induction magnétique. — L'unité d'induction magnétique est l'induction uniforme dont le flux est égal à un weber, lorsqu'il traverse une surface de 1 mètre carré perpendiculaire à la direction du flux.

⁽¹⁾ Une définition pareille a été donnée par le National Physical Laboratory.

ANNEXE E 14.

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

SUR L'ÉTABLISSEMENT
DES
ÉTALONS DES UNITÉS MAGNÉTIQUES

Par M. E. G. CHRAMKOV.

(Cette Note a paru intégralement dans les publications de l'Institut de Métrologie [1939]. La conclusion en est résumée dans les propositions suivantes) :

1. Parmi les problèmes discutés par le Comité consultatif d'Électricité devraient se trouver les questions relatives à l'établissement des étalons des unités magnétiques.
 2. Les étalons doivent être réalisés, en premier lieu, pour l'unité de l'intensité de champ magnétique et pour l'unité de flux magnétique. La réalisation de l'étalon de l'unité de moment magnétique serait aussi très rationnelle.
 3. Le Comité consultatif devrait proposer aux Laboratoires métrologiques nationaux d'entreprendre des travaux sur la réalisation des étalons des unités magnétiques.
-

ANNEXE E 15.

NOTE SUR LE RAPPORT
DE L'INSTITUT DE MÉTROLOGIE DE L'U.R.S.S.
SUR L'ÉTABLISSEMENT
DES
ÉTALONS DES UNITÉS MAGNÉTIQUES

Par M. C. BUDEANU,
Professeur à l'École Polytechnique de Bucarest.

(31 mai 1939).

L'idéal serait évidemment d'avoir à notre disposition des étalons pour toutes les unités électriques et magnétiques.

Mais si ces étalons ne remplissent pas rigoureusement les conditions qu'ils doivent satisfaire, le procédé d'un *très grand nombre d'étalons* serait susceptible de ne pas conduire aux résultats que nous espérons.

Maintenant il y a deux faits nouveaux qui sont intervenus, à savoir, la décision de substituer définitivement les unités absolues au système international et l'adoption du nouveau système pratique. C'est une précision et une normalisation dont nous devons tenir compte, aussi bien lorsqu'il s'agit des étalons que de la définition des unités.

Dans ces conditions, un problème de principe qui se pose préalablement, à mon avis, serait *d'établir le nombre d'étalons strictement nécessaire à l'établissement des unités pratiques de toutes les grandeurs électriques et magnétiques.*

On tiendra compte, sans doute, de l'état actuel du problème, ainsi que des possibilités que la technique métrologique met à notre disposition.

Avec les étalons dont nous disposons déjà, ou qui sont en cours d'adoption, pour les unités de longueur, masse, temps, perméabilité magnétique (perméabilité du vide), résistance, courant, différence de potentiel, nous sommes en état de préciser toutes les unités.

Parallèlement à l'examen de ce premier point, évidemment il serait intéressant de poursuivre en même temps les études concernant la réalisation de tout autre étalon, en nous réservant de prendre ultérieurement une décision en ce qui concerne leur éventuelle adoption.

Dans ce sens, l'examen de la possibilité de réaliser des étalons magnétiques serait utile, si l'on aboutissait à des étalons qui fussent concordants avec les étalons déjà consacrés.



ANNEXE E 16.

National Physical Laboratory.

SPÉCIFICATIONS PROPOSÉES

POUR

LES ÉTALONS DE RÉSISTANCE D'UN OHM.

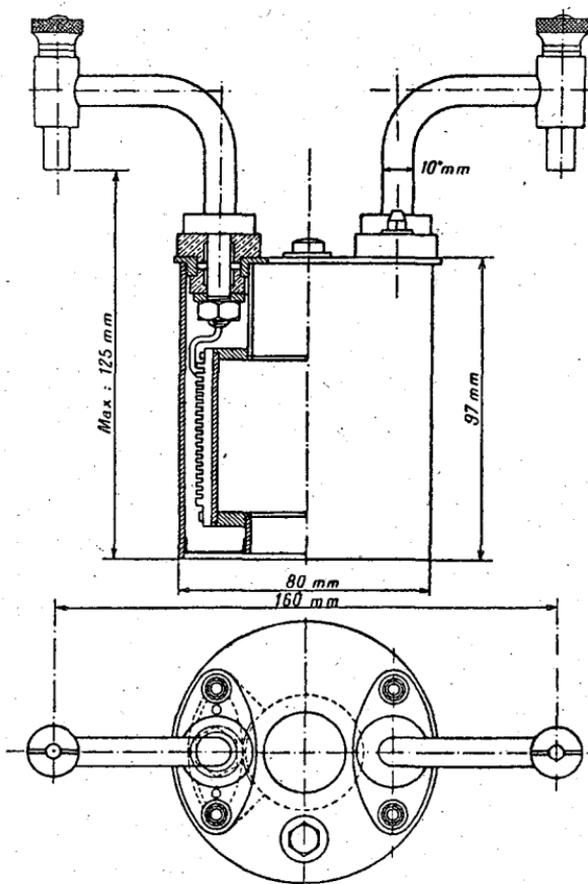
1. *Construction générale.* — La résistance affecte la forme d'une bobine de fil de l'alliage appelé manganine, placée dans un récipient cylindrique rempli d'huile. La bobine se trouve enroulée, sans subir aucune contrainte, sur une « forme » suspendue au couvercle du récipient, et se termine par des conducteurs de cuivre massif, qui sont également fixés au couvercle. Toutes les surfaces externes, excepté les faces extrêmes des bornes terminales, sont nickelées.

Les dimensions principales sont indiquées sur le schéma, p. E 92.

2. *Le couvercle.* — Celui-ci constitue le support principal pour l'ensemble du montage. Il est en laiton, et le système central tubulaire qui porte les guides recevant la bobine est soudé à sa face inférieure. Deux trous de dégagement, munis de bouchons isolants au-dessus et au-dessous, permettent le passage des conducteurs terminaux au travers du couvercle. Le bouchon isolant supérieur est fixé à sa place par deux vis de laiton qui traversent le couvercle, et dont la tête est soudée dans des fraises pratiquées sur la face inférieure. Le bouchon isolant inférieur est empêché de tourner par des ailettes qui s'appuient sur le cylindre central.

Les surfaces planes séparant le métal et la substance isolante doivent être étanches à l'huile; elles doivent être dépolies et recouvertes de gomme laque; elles peuvent de plus comporter

des rainures circulaires peu profondes, centrées sur les évidements, ce qui facilite l'adhérence du vernis. On remarquera que les dimensions des évidements ont été prévues de façon à obtenir



(Les dessins de construction au complet ont été donnés sur un dépliant encarté à la fin du tirage à part de ce Comité consultatif.)

une surface d'isolement très étendue entre les conducteurs et le couvercle.

Un autre trou est foré près du bord du couvercle, pour qu'après montage on puisse remplir le récipient avec de l'huile. Finalement ce trou est bouché avec une vis à tête plate.

3. *Les tiges-supports des bornes (électrodes).* — Celles-ci sont formées de cuivre à haute conductivité, de 10 mm. de diamètre. Des collerettes en laiton leur sont soudées, au point où elles rencontrent les bouchons isolants à la partie supérieure du couvercle. De petits ergots, fixés sur ces collerettes, ajustés dans des trous percés dans les bouchons isolants supérieurs, les empêchent de tourner. La partie de l'électrode située immédiatement au-dessous du bouchon isolant inférieur est filetée. Un joint épais ovale l'entoure au-dessus de cette partie; deux ergots qui pénètrent dans des trous du côté inférieur du bouchon l'empêchent de tourner. L'électrode est assujettie au couvercle au moyen d'un écrou au-dessous de ce joint. L'écrou, la vis et le joint doivent être traités à la gomme laque, pendant et après l'assemblage, afin d'éviter toute fuite d'huile.

La partie supérieure de la tige électrode est coudee horizontalement vers l'extérieur; la borne de potentiel est soudée sur la branche horizontale. A la partie inférieure de l'électrode, au-dessous de l'écrou interne et de son joint, est soudée une certaine longueur de fil de cuivre, de 2 mm. de diamètre, qui formera par la suite le raccord à la bobine résistante.

4. *Le support de la bobine.* — Le dispositif cylindrique central fixé au couvercle comprend plusieurs parties de diamètres différents. Le haut est étroit afin de permettre la fixation des bornes. La partie médiane est plus large afin d'offrir un diamètre convenable pour le montage de la bobine et aussi dans le but de réduire la quantité d'huile nécessaire pour emplir le récipient, ce qui facilite l'égalisation de température avec le bain d'huile dans lequel est immergée la résistance lorsqu'on fait des mesures. La partie inférieure est plus petite, ce qui facilite la soudure de la jonction avec le récipient externe, et protège le fil contre l'échauffement au moment où la soudure est exécutée.

5. *Le récipient.* — Le haut de celui-ci, où se fixe le couvercle, est fileté intérieurement.

Le fond est en métal plus mince afin de permettre aux bords de « tourner » (to be « spun »). Le bord extérieur du fond est soudé au cylindre externe. La dimension du trou est suffisante pour permettre au cylindre central de passer librement, et on soude lorsque la résistance est achevée.

Le cylindre externe forme une saillie de 2 mm. en dessous du

fond et du tube central afin de les protéger et de diminuer le risqué de contact avec du mercure. Une fois terminé, le fond est verni extérieurement.

6. *La bobine résistante.* — La bobine est en fil de manganine dont la composition est approximativement la suivante : Mn 11 %, Ni 4 %, Cu 85 %.

Le diamètre du fil doit être d'environ 1,2 mm., ce qui entraîne une longueur d'environ 3 mètres pour une résistance de 1 ohm. Le fil doit être nettoyé au moyen d'abrasif fin, et examiné au microscope, afin de déceler les défauts mécaniques. Si un défaut quelconque est décelé, le fil doit être rejeté.

Si le fil est très raide, un recuit préliminaire peut être désirable avant le bobinage.

Le fil est enroulé une première fois en spirale simple non inductive sur une forme, et il est recuit par élévation lente de température jusqu'à 550° en atmosphère inerte, par exemple dans l'azote ou dans le vide, puis on le laisse refroidir. Le fil est alors soigneusement enlevé de la forme, et traité à l'acide (1), afin d'enlever toutes les parties altérées de la surface. Une réduction en poids de 5 à 10 p. 100 a été trouvée convenable. (Si l'on n'enlève qu'une quantité insuffisante de matière, la résistance augmentera plus qu'il ne faut avec la température.)

Le fil est lavé et brossé légèrement afin d'enlever les pellicules superficielles. On le rince dans l'eau distillée et on le sèche au papier filtre. On le trempe dans un vernis à la gomme laque très fin, et on le laisse sécher à la température ordinaire. Les extrémités du fil résistant sont soudées à l'argent dans des tubes de cuivre courts, de 3 mm. environ de diamètre extérieur, avec du borax comme fondant. Les autres extrémités des tubes sont ensuite soudées à l'étain sur les fils fixés aux extrémités des bornes.

7. *Cales d'espacement.* — Le fil est maintenu par des rainures taillées dans des cales isolantes. Les rainures sont distantes de 2,5 mm. et leur largeur excède le diamètre du fil d'environ

(1) Un acide convenable est :

Acide nitrique (poids spécifique 1,5).....	20 ml.
Eau distillée.....	100 ml.

0,2 mm. Les rainures sur chacune des cales seront disposées de façon à se prêter au montage de la bobine hélicoïdale.

Les cales isolantes peuvent être fixées (*a*) sur la section médiane du cylindre central au moyen de petites vis s'ajustant dans des trous percés sur le bord des *disques annulaires* (qui ont trois millimètres d'épaisseur), ou (*b*) sur un cylindre supplémentaire qui glisse facilement sur le cylindre central.

Ce cylindre supplémentaire est ensuite fixé, lorsque la bobine est entièrement assemblée, au moyen d'une ou plusieurs petites vis s'adaptant dans des trous percés sur le bord du disque.

8. *Assemblage.* — On doit prendre soin de ne soumettre la bobine à aucune contrainte pendant l'assemblage. Ayant placé horizontalement l'axe de la bobine, on peut d'abord mettre les quatre cales côte à côte à la partie inférieure de la bobine et faire glisser l'ensemble sur le support de la bobine. Les cales sont ensuite amenées par un mouvement de rotation à la position qu'elles doivent occuper finalement, et fixées à leur place. Une petite pince isolante sur l'extrémité inférieure de la dernière cale maintient l'extrémité de la bobine en position à l'endroit où le sens d'enroulement se renverse.

Les fils de cuivre de 2 mm., fixés aux tiges porte-bornes, sont alors coupés à une longueur convenable, et soudés à l'étain à l'intérieur de l'extrémité des tubes de cuivre placés aux extrémités libres de la bobine. On doit veiller à ce que tous les joints soudés forment un ensemble métallique hermétique, sans aucune fissure entre les surfaces, et sans qu'aucune trace de fondant ne subsiste.

9. *Ajustage final.* — La résistance à ce moment doit être d'une valeur légèrement trop faible. On l'ajuste par un grattage très doux du fil jusqu'à ce qu'on obtienne la valeur désirée; on recouvre alors à nouveau la partie abrasée d'une couche mince de gomme laque.

Nota. — S'il y a erreur d'ajustage, il faut de préférence qu'elle conduise à une valeur un peu forte plutôt qu'un peu faible. On peut, si on le juge utile, compenser une valeur élevée en utilisant en parallèle une forte résistance extérieure. Par un ajustage convenable de cette résistance, on peut donner à l'ensemble la valeur de 1 ohm avec une exactitude élevée. La valeur de la résistance shunt n'a pas besoin, en général, d'être très précise.

10. *Emplissage et bouchage.* — Lorsque l'ajustage est terminé, l'enveloppe extérieure est vissée à sa place, le filetage étant couvert de vernis à la gomme laque. Le rebord du trou au fond du récipient est soudé au tube central.

Le récipient est rempli presque entièrement d'huile de paraffine pure par le trou taraudé qui se trouve au sommet de l'enveloppe, après quoi la vis reçoit une couche mince de gomme laque et est mise en place. La vis a une tête de large diamètre afin d'être mieux étanche à l'huile, et un joint de papier peut être utilisé si on le trouve bon.

On doit s'assurer avec grand soin que tous les joints soudés et vernis sont étanches à l'huile. L'expérience montre qu'il est bon de les mettre à l'épreuve, dans toute la mesure possible, avant l'assemblage final.

11. *Étalonnage.* — Il est désirable que la résistance de la bobine soit comparée, aussi tôt qu'on peut le faire après sa construction, avec d'autres bobines de valeur connue, et comparée de nouveau à intervalles fréquents pendant les quelques premiers mois; car l'expérience montre que la stabilité initiale de la résistance est une bonne indication d'une construction satisfaisante et d'une stabilité probable pour une longue période.



ANNEXE E 17.

National Physical Laboratory.

SPECIFICATIONS PROPOSÉES

POUR

LA PILE ÉTALON WESTON

TYPE N. P. L.

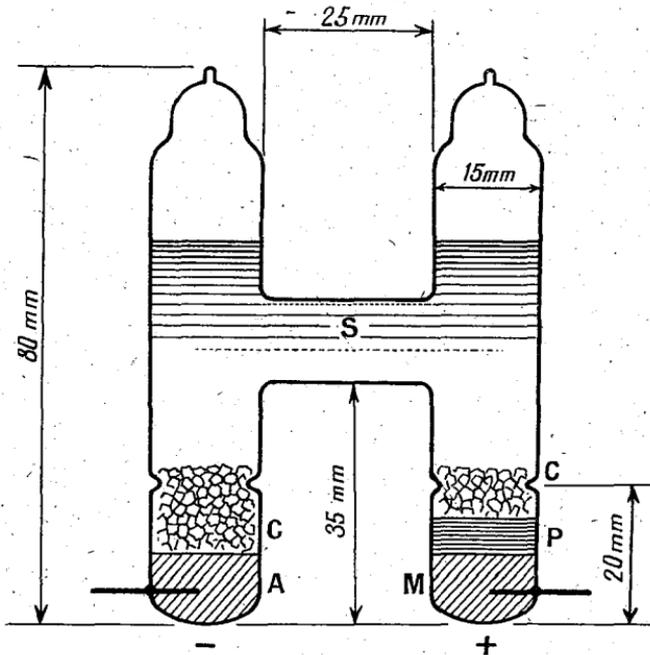
1. La pile étalon Weston est un élément voltaïque dont l'électrolyte est une solution aqueuse saturée de sulfate de cadmium ($\text{Cd SO}_4 \cdot \frac{8}{3} \text{H}_2\text{O}$). L'électrolyte peut être soit neutre, soit acidulé par l'acide sulfurique, la concentration d'acide n'excédant pas, de préférence, celle qu'on obtient en dissolvant des cristaux de sulfate de cadmium pur dans une solution décimale d'acide sulfurique.

1 a. Le sulfate de cadmium du commerce peut être purifié de la façon suivante : Dissoudre dans l'eau distillée, filtrer et évaporer au bain-marie presque à sec. Rincer et essorer le résidu avec de l'eau distillée et chauffer alors dans un creuset de platine jusqu'à une température d'environ 800° pendant environ 6 heures. Après refroidissement, dissoudre dans l'eau distillée, de façon à former une solution saturée, filtrer et laisser complètement cristalliser. Essorer les cristaux et les laver à l'eau distillée.

On prépare l'électrolyte en dissolvant ces cristaux jusqu'à saturation soit dans l'eau distillée, soit dans l'acide sulfurique de concentration convenable (par exemple décimale). Afin d'assurer la saturation, la pile doit également contenir du sulfate de cadmium solide. Une certaine quantité de cristaux purifiés devra être finement pulvérisée et réservée à cet emploi.

On étale le dépolarisant au-dessus du mercure, et l'on introduit une couche de cristaux de sulfate de cadmium dans chaque branche. On emplit complètement la pile d'une solution saturée de sulfate de cadmium et on la scelle alors hermétiquement.

3 a. On devra amalgamer la partie des fils de platine intérieure à la pile en faisant circuler un courant électrique à partir d'une



anode de platine à travers une solution acide de nitrate mercureux jusqu'à chacun des fils pris comme cathode. Après quoi, le récipient sera lavé deux fois à l'acide nitrique dilué et plusieurs fois à l'eau distillée; il devra être séché dans une étuve. On fond l'amalgamé de cadmium, et l'on en introduit une quantité suffisante dans l'une des branches du récipient en H, de façon à recouvrir complètement l'un des fils amalgamés. Dans l'autre branche du récipient, on introduit du mercure en quantité suffisante pour recouvrir le fil amalgamé; on ajoute alors la pâte, les

cristaux finement divisés du sulfate de cadmium, et enfin la solution saturée de sulfate de cadmium dans l'ordre de leur énumération, au moyen de petites pipettes possédant de larges orifices. Dans la branche contenant l'amalgame de cadmium, on ajoute des cristaux de sulfate de cadmium et de l'électrolyte. Si, en emplissant la pile, il advient que des matières viennent au contact de la partie du verre qui doit être chauffée pour la fermeture, on nettoie en essuyant d'abord avec un papier filtre légèrement humecté d'eau distillée, puis avec du papier sec.

Quand on construit des piles à électrolyte acide, il est bon, après avoir préparé une solution saturée de sulfate de cadmium dans de l'acide sulfurique décinormal, d'ajouter à cette solution tous les cristaux de sulfate de cadmium qu'on se propose d'utiliser sous forme solide. Les cristaux devront être finement pulvérisés. Le volume formé par la solution et quelques cristaux de sulfate de cadmium (environ un tiers du volume de sulfate mercureux) devra être ajouté au sulfate mercureux lavé, et le tout sera agité pour assurer à l'acide une distribution uniforme. Après repos, le liquide devra être décanté et filtré, abandonnant le mélange de sulfates solides sous la forme d'une pâte épaisse propre à être introduite dans la pile. Le filtrat est additionné au résidu de cristaux de sulfate de cadmium, et le tout est introduit dans la pile de la manière déjà indiquée.



COMITÉ CONSULTATIF DE PHOToméTRIE

SESSION DE 1939.

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES,

RAPPORT ET ANNEXES.



PRÉSIDENT

du Comité international des Poids et Mesures :

M. LE SÉNATEUR V. VOLTERRA :

LISTE DES MEMBRES

DU

COMITÉ CONSULTATIF DE PHOTOMETRIE.

Président :

M. CHARLES FABRY, Membre de l'Institut de France,
Directeur général de l'Institut d'Optique théorique
et appliquée, *Paris*.

Membres :

Pour la Physikalisch-Technische Reichsanstalt, *Berlin* :
M. KORTE, Directeur du Laboratoire de Photométrie
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*. *Observateur* : M. I. HAYASHI, Ingénieur au Bureau du Ministère des Communications du Japon à Paris.

Pour l'Institut de Métrologie, *Léningrad* : M. P. TIKHODEEV, Directeur du Laboratoire de Photométrie de l'Institut de Métrologie de l'U. R. S. S.

M. le Prof. U. BORDONI, 10, Viale Parioli, *Rome*.
(Excusé.)

M. le Prof. M. PIRANI, 24, Montpelier Rise, *Wembley*,
Middlesex. (Excusé.)

M. le Prof. C. ZWIKKER, Julianalaan, 14, *Delft*.

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

Délégués adjoints des Laboratoires :

M. le Prof. HOFFMANN, Chef du Laboratoire de Pyrométrie optique de la Physikalisch-Technische Reichsanstalt, *Berlin*.

M. J. W. T. WALSH, Membre du National Physical Laboratory, *Teddington*.

Invités :

MM. CH. VOLET et A. BONHOURS, Adjointes du Bureau international des Poids et Mesures, *Sèvres*.

MM. J. TERRIEN, H. MOREAU et N. CABRERA, Assistants du Bureau international des Poids et Mesures, *Sèvres*.

COMITÉ CONSULTATIF DE PHOTOMÉTRIE.

SESSION DE 1939.

PROCÈS-VERBAL

DE LA SÉANCE

TENUE AU PAVILLON DE BRETEUIL

le jeudi 8 juin 1939.

PRÉSIDENCE DE M. CH. FABRY.

Sont présents : M. B. CABRERA, Secrétaire du Comité international des Poids et Mesures;

MM. CRITTENDEN, HAYASHI, JOUAUST, KORTE, PÉRARD, SEARS, TIKHODEEV, ZWIKKER, membres du Comité consultatif;

MM. HOFFMANN, WALSH, adjoints;

MM. VOLET, TERRIEN, MOREAU, N. CABRERA, invités.

Sont excusés : MM. BORDONI, PIRANI, BONHOURE.

Le quorum étant atteint, la séance est ouverte à 15^h15^m.

M. CABRERA expose que M. VOLTERRA, empêché par la maladie d'assister à cette séance, a adressé au Comité consultatif un télégramme de cordiales salutations et de vœux; déjà, le Comité consultatif d'Électricité a décidé d'envoyer à M. VOLTERRA un télégramme lui exprimant ses vœux de prompt rétablissement. M. CABRERA espère que

le Comité consultatif de Photométrie voudra bien s'associer à cette démarche.

M. le PRÉSIDENT remercie M. CABRERA de sa communication et répond que le Comité consultatif de Photométrie est unanime à souhaiter à M. VOLTERRA une guérison complète et très prochaine.

M. le PRÉSIDENT adresse ses souhaits de bienvenue à tous les membres présents, et en particulier à MM. HAYASHI, HOFFMANN, KORTE et TIKHODEEV, qui participent pour la première fois aux travaux du Comité consultatif.

M. le PRÉSIDENT signale que MM. BORDONI et PIRANI lui ont fait part de leurs regrets de ne pouvoir assister à cette séance.

Sur la proposition de M. le PRÉSIDENT, M. VOLET est désigné pour remplir les fonctions de Secrétaire du Comité consultatif.

M. WALSH accepte les fonctions de Rapporteur.

M. PÉRARD signale au Comité consultatif que la plupart des rapports qui vont lui être soumis sont arrivés au Bureau international dans les tout derniers jours qui ont précédé la session, de sorte qu'il a été très difficile d'en assurer la reproduction en un temps aussi court, et que, chose plus grave, on n'a pu en prendre qu'une connaissance trop rapide. M. PÉRARD demande que, à l'avenir, ces rapports parviennent au Bureau international au plus tard quinze jours avant l'ouverture de la session.

M. le PRÉSIDENT appuie l'observation de M. PÉRARD et remercie le personnel du Bureau international de l'effort qu'il a dû s'imposer pour assurer la reproduction des rapports en un temps très court.

EXAMEN DES NOUVELLES COMPARAISONS FAITES
PAR LES LABORATOIRES ENTRE LEURS ÉTALONS NATIONAUX
ET LA BRILLANCE DU CORPS NOIR,
A LA TEMPÉRATURE DE SOLIDIFICATION DU PLATINE.

M. HOFFMANN rend compte des observations qui ont été faites à la Physikalisch-Technische Reichsanstalt avec un groupe de 6 lampes (*Voir Annexe P 1, p. P 36*). Il expose que des expériences sont encore en cours, dont les résultats ne pourront pas être connus avant la fin de cette année. Puis il attire l'attention sur le fait que la concordance actuelle des mesures est peut-être plus apparente que réelle. Il signale des causes d'erreurs systématiques qu'il y aurait lieu d'étudier, en particulier : la pureté du platine, la profondeur du tube de visée dans le bain de platine, l'épaisseur des parois du creuset, etc. M. HOFFMANN a trouvé des différences de température de 1 à 1,5 degré, suivant les conditions de l'expérience.

A une question de M. le Président, M. HOFFMANN répond que l'on observe des écarts atteignant 0,7 pour 100 avec les lampes à basse température et 0,8 pour 100 avec les lampes à température plus élevée.

M. PÉRARD lit la conclusion du travail effectué par le Laboratoire Électrotechnique (*Annexe P 2, p. P 41*), qui fait ressortir la bonne concordance des déterminations faites au Japon (1) et au National Bureau of Standards.

M. le PRÉSIDENT constate que, dans l'ensemble, les résultats obtenus sont satisfaisants.

(1) *Voir* aussi les travaux du Laboratoire Électrotechnique relatés aux Annexes P 3 (p. P 44) et P 12 (p. P 82).

EXAMEN DES COMPARAISONS
FAITES AU NATIONAL PHYSICAL LABORATORY
ENTRE LES ÉTALONS ENVOYÉS PAR LES DIVERS LABORATOIRES
ET FONCTIONNANT A LA TEMPÉRATURE DE COULEUR
DU CORPS NOIR AU POINT DE SOLIDIFICATION DU PLATINE.

M. WALSH commente quelques points du rapport présenté par le National Physical Laboratory (*Voir Annexe P 5, p. P 49*). Il signale que les comparaisons internationales de lampes seraient plus faciles et plus précises si un seul type de lampe était adopté.

M. PÉRARD insiste sur la nécessité d'effectuer ces comparaisons avec plus de symétrie dans le temps, en soumettant les étalons voyageurs à une nouvelle étude lors de leur retour dans leurs laboratoires respectifs.

M. CRITTENDEN exprime le même avis. Les lampes envoyées par le National Bureau of Standards n'ont pas toutes montré une bonne stabilité. Avec un nouveau type de lampe, que M. CRITTENDEN présente au Comité, le National Bureau of Standards espère obtenir de meilleurs résultats. Il pense que les écarts révélés entre le National Bureau of Standards et le National Physical Laboratory sont peut-être dus à de petites différences entre les procédés d'examen ou à des accidents.

M. le PRÉSIDENT demande s'il est possible actuellement de recommander un type de lampe qui soit supérieur aux autres, ainsi que le désire M. WALSH.

M. HOFFMANN pense que les études sur les lampes étalons ne sont pas assez avancées pour qu'on puisse dès maintenant préconiser un type rationnel. Il est nécessaire de poursuivre encore des recherches sur l'influence de

plusieurs causes perturbatrices, avant d'effectuer cette unification, qui actuellement n'est pas désirable.

M. PÉRARD suggère que chaque Laboratoire reçoive un modèle de lampe de tous les autres Laboratoires.

M. ZWIKKER demande si les lampes qui ont été envoyées au National Physical Laboratory sont les mêmes que celles qui ont servi précédemment aux comparaisons avec le corps noir, et si les écarts actuellement constatés entre les Laboratoires correspondent à ceux que l'on avait alors observés.

M. JOUAST répond que, pour le Laboratoire central d'Électricité, les deux groupes de lampes étaient différents.

M. CRITTENDEN, tout en reconnaissant l'intérêt de la deuxième question posée par M. ZWIKKER, ne pense pas qu'il soit possible d'y répondre d'une façon catégorique, eu égard au manque de précision des expériences.

EXAMEN DES COMPARAISONS
FAITES AU NATIONAL PHYSICAL LABORATORY
ENTRE LES ÉTALONS DES DIVERS LABORATOIRES,
FONCTIONNANT A LA TEMPÉRATURE DE COULEUR DE 2360° K
VALEURS EN FONCTION DE LA NOUVELLE UNITÉ.

M. le PRÉSIDENT demande s'il est possible dès maintenant d'attribuer des valeurs aux étalons fonctionnant à la température de solidification du platine et à 2360° K.

M. WALSH dit que cela est possible avec une approximation de 0,5 pour 100. Puis il insiste sur l'intérêt qu'il y aurait à entreprendre dès maintenant des comparaisons

de lampes fonctionnant à une température de 2800°K, qui sont les plus intéressantes pour l'industrie

M. PÉRARD constate que si l'on adopte la valeur de l'unité moyenne, il sera bien facile au Bureau international de donner aux Laboratoires la valeur de leurs lampes en fonction de cette unité.

M. le PRÉSIDENT appuie cette procédure, et précise que les nombres donnés représenteront, jusqu'à plus ample informé, la valeur moyenne des groupes de lampes, en bougies nouvelles.

M. SEARS estime qu'il vaudrait mieux ne rien changer pour le moment; car les divergences qui existent encore entre les diverses réalisations du corps noir pourraient dans un avenir prochain nous conduire à effectuer un autre changement, ce qui serait déplorable. Mieux vaudrait attendre d'être en mesure de faire ces changements ensemble.

M. JOUAUST signale que les industriels français insistent avec la plus grande énergie pour qu'on arrive à une unification rapide de la bougie.

M. le PRÉSIDENT souligne l'intérêt que cela présenterait pour tout le monde.

M. KORTE est certainement de cet avis, mais à la condition que l'unification soit faite à toutes les températures.

M. PÉRARD, reconnaissant la difficulté qu'il y aurait pour l'Allemagne à changer son unité d'environ 10 pour 100 à la date qui avait primitivement été fixée, propose que l'on conserve cette date du 1^{er} janvier 1940 pour la promulgation de la loi, en spécifiant que celle-ci n'entrerait en vigueur que le 1^{er} janvier 1941.

M. CRITTENDEN partage l'opinion qu'il n'est pas possible d'introduire l'unité nouvelle, tant qu'elle n'aura pas été fixée aux températures plus élevées. Il signale qu'un groupe de 30 lampes Philips fonctionnant à 2800° K ont montré une stabilité supérieure à 0,5 pour 100, sauf trois d'entre elles. Il pense qu'il conviendrait d'organiser à cette température des intercomparaisons, de préférence avec un type unique de lampe. On arriverait probablement dans ces conditions à un résultat satisfaisant dans le cours de l'année prochaine.

M. JOUAUST pense qu'on pourrait se limiter pour le moment aux lampes à 2360° K, celles à 2800° K étant encore exceptionnelles. Il n'a jamais eu à en déterminer dans son laboratoire.

M. le PRÉSIDENT craint, si l'on n'adopte pas la bougie nouvelle pour la raison que les études sur la lampe à 2800° K ne sont pas assez avancées, que l'on puisse objecter à ce moment-là que les lampes à températures encore plus hautes ne sont pas suffisamment connues. Il estime, dans l'incertitude actuelle, où des unités différentes portent le même nom, que ce serait déjà un résultat très important que de faire adopter effectivement la bougie nouvelle.

M. HOFFMANN signale qu'il y a déjà des lampes fonctionnant à une température de couleur supérieure à 2800° K.

Il remarque qu'il serait vain d'établir une unité sans envisager aussi la possibilité de l'utiliser dans la pratique.

M. HOFFMANN pense qu'en remettant au 1^{er} janvier 1941 la mise en usage de la bougie nouvelle, cela donnerait suffisamment de temps pour permettre d'obtenir des résultats plus concluants.

Après un échange de vues entre les membres du

Comité, M. PÉRARD dit avoir le sentiment que l'accord est unanime, et que c'est l'expression de la pensée qui diffère. Même en France, l'application au 1^{er} janvier 1940 serait à peu près impossible, et pourtant la France adoptera la bougie nouvelle. L'Angleterre l'adoptera également, parce que, pour elle la différence est très petite. Mais il n'en est pas de même pour l'Allemagne; pourquoi, dès lors, ne pas laisser à ce pays le soin de faire la loi le plus tôt possible, pour application au 1^{er} janvier 1941?

M. HOFFMANN se déclare d'accord avec cette manière de voir.

M. KORTE assure que son laboratoire pourrait, dès le 1^{er} janvier 1940, mesurer en bougies nouvelles des lampes fonctionnant à la température de couleur de 2046° K et à celle de 2360° K. Mais il lui sera impossible de mesurer des lampes fonctionnant à une température de couleur plus élevée; il ne suffit pas, en effet, d'appliquer aux étalons actuels le facteur de conversion résultant des comparaisons qui viennent d'être faites sur des lampes fonctionnant à une température plus basse; les divers laboratoires ne procèdent pas de la même manière pour le passage aux étalons à température élevée, et ces lampes, vérifiées dans divers laboratoires, recevraient des valeurs différentes.

M. CRITTENDEN souligne que les différences atteignent 5 pour 100.

M. le PRÉSIDENT observe que les différences sont actuellement de 15 pour 100. Même si les 5 pour 100 dont parle M. CRITTENDEN subsistent, il y aura un acheminement de 10 pour 100 vers l'unification. La situation ne serait, en aucun cas, aggravée.

M. PÉRARD est du même avis, et insiste sur la nécessité de faire quelque chose.

M. KORTE admet qu'il est souhaitable de changer l'unité, mais avec mise en application le 1^{er} janvier 1941.

M. HOFFMANN estime que la question devrait être traitée en vue de donner satisfaction à l'industrie.

M. SEARS pense que, lorsque la nouvelle unité aura été adoptée, les industriels auront la pensée que tous les Laboratoires sont d'accord; si on leur dit qu'il y a des points de vue différents pour les lampes à haute température, ils auront une déception.

M. SEARS comprend bien que la situation ne serait pas plus mauvaise qu'aujourd'hui; mais il pourrait y avoir, chez les industriels, une méprise qu'il convient d'éviter.

M. le PRÉSIDENT constate que cette opinion est celle de la plupart des membres du Comité et demande à M. HOFFMANN de faire une proposition.

M. HOFFMANN propose, conformément à l'opinion exprimée par M. PÉRARD, d'établir l'unité nouvelle, pour mise en application le 1^{er} janvier 1941.

M. KORTE dit que des lampes pourront être échangées avant cette date.

M. PÉRARD propose au Comité consultatif une résolution ainsi conçue :

« Le Comité consultatif de Photométrie estime désirable que
« les différents pays introduisent la bougie nouvelle dans leur
« législation, à partir du 1^{er} janvier 1940, et que la mise en
« application de la loi soit reportée au 1^{er} janvier 1941 ».

M. HOFFMANN demande d'ajouter à ce texte une référence à ce qui a été décidé précédemment.

M. PÉRARD propose d'ajouter, au début, les mots :
« Conformément à la décision du Comité international des
« Poids et Mesures ».

M. le PRÉSIDENT consulte le Comité sur le texte
ci-dessous, qui est adopté à l'unanimité.

RÉSOLUTION 1.

Conformément à la résolution votée par le Comité international dans sa session de 1937 (Procès-Verbaux du Comité international, 1937, pp. 236 et 64), le Comité consultatif de Photométrie estime désirable que les différents pays introduisent la « bougie nouvelle » dans leur législation à partir du 1^{er} janvier 1940, et que la mise en application de la loi soit reportée au 1^{er} janvier 1941 (1).

EXAMEN DES COMPARAISONS FAITES AU NATIONAL PHYSICAL LABORATORY ENTRE LES LAMPES DES DIVERS LABORATOIRES POUR LESQUELLES A ÉTÉ DÉTERMINÉ LE RAPPORT ENTRE L'INTENSITÉ DANS UNE DIRECTION DONNÉE ET L'INTENSITÉ MOYENNE SPHÉRIQUE.

M. WALSH expose que le National Physical Laboratory a reçu des groupes de lampes de quatre Laboratoires. Les résultats de ces comparaisons (*Voir Annexe P 6, p. P 64*) eussent été plus satisfaisants si les températures de cou-

(1) Dans une lettre en date du 1^{er} janvier 1940 adressée aux Gouvernements des Hautes Parties Contractantes et aux Laboratoires intéressés, le bureau du Comité international a exprimé l'opinion qu'en raison de la situation internationale actuelle, aucun changement d'unités ne devrait être accompli dès maintenant; il conviendrait d'attendre un nouvel avis, que ne manquera pas d'émettre au moment opportun l'organisme international qualifié.

leur des lampes avaient été plus uniformes, au lieu de présenter des écarts atteignant, comme on l'a observé, 50 degrés. Néanmoins, la concordance obtenue, de l'ordre de 0,5 pour 100, doit être considérée comme assez satisfaisante.

M. KORTE indique que les mesures de la Physikalisch-Technische Reichsanstalt ont été faites en tournant progressivement les lampes de 2 en 2 degrés.

M. le PRÉSIDENT constate que le résultat est assez bon ; mais il s'étonne de la discordance de certaines déterminations exécutées dans des Laboratoires différents. On est d'accord, dit-il, sur l'intensité lumineuse et sur le facteur de passage de l'intensité au flux. Comment n'est-on pas d'accord sur le produit ?

M. CRITTENDEN répond que la discordance est due à la différence de couleur.

M. HOFFMANN informe le Comité que des expériences sont projetées à la Physikalisch-Technische Reichsanstalt, au moyen d'un four au tungstène dans lequel on peut tenir une température à 1 degré près jusqu'à 2165°, et grâce auquel il sera possible d'établir prochainement une échelle de température de couleur jusqu'à cette température élevée.

M. CRITTENDEN dit que, de son côté, le National Bureau of Standards a fait des essais à la température de fusion de l'iridium (2727° K).

M. TIKHODEEV signale que les expériences faites à l'Institut de Métrologie ont montré que le flux est plus grand lorsque la lampe tourne que lorsqu'elle est immobile.

M. WALSH dit qu'il n'a pas observé un tel phénomène.

M. TIKHODEEV précise que ses observations ont été faites sur des lampes de provenances diverses, que la vitesse de rotation était de 120 tours à la minute, et que les variations de flux dues à cette rotation ont été environ de 1 à 1,5 pour 100 pour les lampes à vide et de 1,3 à 2 pour 100 pour les lampes à atmosphère gazeuse.

Il résulte de la discussion qui suit, que la cause de cette variation n'est pas connue avec certitude (1).

INSTALLATIONS EN VOIE D'ACHÈVEMENT
AU BUREAU INTERNATIONAL, POUR LA COMPARAISON
DES ÉTALONS D'INTENSITÉ LUMINEUSE.

M. PÉRARD rappelle que, dans sa dernière session, en 1937, le Comité consultatif avait chargé le Bureau international d'installer un laboratoire de photométrie, qui aurait pour mission de faire la comparaison entre les étalons des divers États. Cette installation a été faite, et M. TERRIEN, qui en a été chargé, va présenter au Comité consultatif un rapport sur ce travail.

M. PÉRARD signale que l'expérience acquise dans d'autres laboratoires a été mise à profit à Sèvres. Il adresse des remerciements particuliers à M. JOUAUST, qui a associé M. TERRIEN à ses propres mesures, au laboratoire de M. RIBAUD, au National Physical Laboratory, spécialement à M. WALSH, qui a bien voulu faire l'instruction de M. TERRIEN, et à tous les laboratoires qui ont été mis ainsi à contribution.

M. TERRIEN donne lecture du rapport, publié en Annexe P 7 (voir page P 70).

M. le PRÉSIDENT remercie M. PÉRARD et M. TERRIEN des

(1) Voir aussi l'Annexe P 4 (p. P 47) du Laboratoire Électrotechnique.

indications qu'ils viennent de fournir au Comité consultatif.

M. PÉRARD ajoute que, dans quelques jours, le nouveau laboratoire sera en mesure de faire des comparaisons d'intensité lumineuse. Des Laboratoires ont déjà envoyé des lampes, ce dont M. PÉRARD les remercie. Les autres Laboratoires sont priés de vouloir bien en envoyer également.

M. le PRÉSIDENT constate que le Bureau international remplit ainsi tout à fait son rôle de coordination et d'unification.

ÉCHANGE DE VUES AU SUJET DE LA COORDINATION DES UNITÉS
DES DIVERS PAYS DANS L'AVENIR.

M. PÉRARD indique que le Comité se trouve en présence de deux propositions, qui sont d'ailleurs très semblables : celle du Laboratoire Électrotechnique (p. P 75) et celle du National Physical Laboratory (p. P 72).

La première proposition, plus précise que la seconde, demande que des comparaisons soient faites tous les deux ans, et que tous les six ans il y ait une détermination par le corps noir.

M. PÉRARD déclare que cela n'a pas encore été envisagé par le Bureau international, mais qu'il serait prêt à le faire, si le Comité consultatif le lui demandait.

M. le PRÉSIDENT dit que l'accord est unanime sur le principe des comparaisons périodiques; mais il demande aux membres du Comité quelle est leur opinion sur la période envisagée de deux ans.

M. ZWIKKER pense que cet intervalle est trop court.

M. SEARS estime qu'il n'est pas nécessaire de préciser dès maintenant cette période, et que les expériences pourront être faites quand le besoin s'en fera sentir.

M. PÉRARD précise que les comparaisons pourraient avoir lieu à la diligence du Bureau international, après consultation des différents Laboratoires.

Quant à la référence au corps noir, le Bureau n'aurait à prendre aucune initiative, le travail étant effectué par les Laboratoires.

M. le PRÉSIDENT constate que tous les membres du Comité consultatif acceptent cette proposition.

M. le PRÉSIDENT ayant évoqué à nouveau l'établissement d'étalons à 2800° K, M. KORTE mentionne qu'il utilise les verres bleus; pour les lampes fluorescentes, la méthode de papillotement est appliquée dans son laboratoire.

M. CRITTENDEN est d'avis que les trois méthodes qui font appel, soit aux verres bleus, soit à un photomètre physique fondé sur la courbe de visibilité, soit à un corps noir à température élevée, donnent des résultats concordants.

M. KORTE estime que les différences ne sont pas négligeables.

M. le PRÉSIDENT donne ensuite lecture d'une lettre du Professeur BORDONI (Annexe P 11, p. P 80), et le Comité s'associe aux désirs qu'elle exprime.

M. PÉRARD rappelle alors que trois Laboratoires : le National Physical Laboratory, le Laboratoire Électrotechnique, et l'Institut de Métrologie (Annexes P 8, P 9 et P 10, pp. P 72, P 75 et P 78) ont proposé des textes

susceptibles d'être incorporés dans la législation ou la réglementation des pays qui en désireraient.

Dans le texte qu'il a présenté, l'Institut de Métrologie considère l'unité de flux comme fondamentale. Lors de la session de 1937, ce même Institut avait déjà soumis un rapport très intéressant, exprimant la même idée, et qui fut longuement considéré par le Comité. Ce dernier, en l'absence de délégué de l'U. R. S. S., s'était pourtant décidé, pour des motifs d'importance peut-être secondaire, en faveur de l'intensité lumineuse comme grandeur fondamentale, la grandeur même des unités étant d'ailleurs la même que voulait le texte proposé par cet Institut. Le Comité pourrait difficilement revenir sur cette décision.

M. CRITTENDEN déclare qu'il ne méconnaît pas l'importance des arguments invoqués par l'Institut de Métrologie, mais qu'il est obligé de tenir compte des traditions qui ont fait de l'unité d'intensité l'unité fondamentale.

M. PÉRARD : Les rapports du Laboratoire Électrotechnique et du National Physical Laboratory sont très semblables; ce dernier rapport pourrait être pris comme base de discussion.

M. HAYASHI accepte.

M. PÉRARD pense que, si personne n'a d'objection grave à faire à ce texte, il y aurait lieu de tenir compte simplement de la remarque faite par l'Institut de Métrologie, qui constate qu'on se réfère, pour définir l'unité d'intensité, à la brillance sans l'avoir préalablement définie. Il propose d'adjoindre au texte en discussion la définition de la brillance donnée en 1924 par la Commission internationale de l'Éclairage.

Après un échange de vues, au cours duquel M. TIKHODEEV maintient son opinion et déclare qu'il s'abstiendra, les

autres délégués ne voient pas d'objection à garder le texte du National Physical Laboratory.

M. le PRÉSIDENT rappelle qu'il ne s'agit que de donner des indications aux législateurs.

M. SEARS demande d'apporter au projet de résolution concernant les unités photométriques présenté par le National Physical Laboratory, deux modifications de rédaction. Dans le paragraphe 3, deuxième phrase, les mots « consiste à utiliser un filtre coloré », sont remplacés par « consiste à utiliser un procédé tenant compte « de la courbe des facteurs de visibilité (luminosité) « adoptée par ce Comité; on emploiera par exemple un « filtre coloré... ».

De même, dans le paragraphe 4, la définition de la bougie nouvelle est ainsi modifiée : « La grandeur de la « bougie nouvelle est telle que la brillance du radiateur « intégral... ».

Ces légères modifications étant acceptées, le Comité adopte l'ensemble de la Résolution 3 (!).

M. ZWIKKER demande comment les constructeurs des pays ne possédant pas de laboratoire national pourront obtenir les valeurs de leurs étalons en fonction de l'unité nouvelle.

M. PÉRARD répond que ce sera le rôle du Bureau international, qui, dans peu de temps, sera susceptible de vérifier des lampes dans les mêmes conditions qu'il vérifie déjà des étalons d'autres grandeurs.

M. SEARS demande que le Comité prenne une résolution chargeant le Bureau international d'organiser des

(¹) Le texte de cette résolution est donné dans le Rapport (p. P 32).

intercomparaisons de lampes fonctionnant à 2800° K entre les divers Laboratoires nationaux.

M. PÉRARD rédige le texte suivant, qui est adopté :

RÉSOLUTION 2.

Le Comité consultatif de Photométrie propose que le Bureau international organise entre les Laboratoires nationaux des échanges de lampes fonctionnant à une température de couleur voisine de 2800° K, en attendant que lui-même soit outillé pour exécuter de semblables comparaisons.

PROCHAINE SESSION.

M. PÉRARD fait observer que la date de la prochaine session est subordonnée à diverses considérations. Le Japon et les États-Unis d'Amérique demandent que les divers Comités consultatifs aient lieu à peu près dans la même période. En outre, ils doivent précéder le Comité international, de façon que les conseils donnés puissent être mis tout de suite en discussion.

M. PÉRARD demande si le Comité consultatif envisage de se réunir en 1941 ou s'il laisse à son Président le soin de prendre une décision à cet égard, en consultant les divers Laboratoires.

M. HOFFMANN ne fait pas d'objection à cette dernière formule; mais il pense qu'une réunion en 1941 sera certainement très utile, parce que les Laboratoires auront défini à cette époque des valeurs nouvelles.

M. le PRÉSIDENT constate l'accord du Comité sur la formule proposée par M. PÉRARD.

L'ordre du jour étant épuisé, M. le PRÉSIDENT, remercie ses collègues de la bonne volonté qu'ils ont apportée aux discussions qui viennent de se dérouler; il se félicite de ce que les questions envisagées ont fait un pas assez sérieux. Il exprime le vœu que les Laboratoires travaillent et arrivent à résoudre même les questions les plus difficiles. Il espère que des résultats nouveaux et importants auront été atteints en 1941.

Il demande aux membres du Comité s'il acceptent, pour la simplification du travail, que le Procès-verbal soit approuvé par le Président, après consultation du Rapporteur et des Laboratoires qui exprimeraient le désir d'en prendre connaissance au préalable.

Cette procédure est adoptée.

M. SEARS, au nom de tous ses collègues, remercie M. le Président FABRY de l'amabilité et du tact qu'il a su apporter à la conduite des débats.

La séance est levée à 17^h 50^m.

DEUXIÈME RAPPORT
DU
COMITÉ CONSULTATIF DE PHOTOMÉTRIE
AU
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES.

Par M. J. W. T. WALSH, rapporteur.

Le Comité consultatif de Photométrie a tenu sa seconde session au Pavillon de Breteuil à Sèvres, le jeudi 8 juin 1939, sous la présidence de M. le Professeur Ch. Fabry, membre du Comité international des Poids et Mesures.

Les membres présents étaient : MM. Crittenden, Hayashi, Jouaust, Korte, Pérard, Sears, Tikhodcev, Zwikker.

Assistaient à la séance, les délégués adjoints des Laboratoires, MM. Hoffmann et Walsh, ainsi que les invités, MM. Volet, Terrien, Moreau et N. Cabrera.

Le Professeur B. Cabrera, Secrétaire du Comité international des Poids et Mesures prit également part à la séance.

MM. Bordoni et Pirani, membres du Comité consultatif, ainsi que M. Bonhoure, invité, s'étaient excusés.

M. V. Volterra, Président du Comité international des Poids et Mesures, malheureusement retenu à Rome par son état de santé, envoya au Comité consultatif un message de bienvenue et ses bons vœux de réussite. Le Comité s'est joint au Comité consultatif d'Electricité pour

envoyer à M. Volterra un message regrettant son absence et exprimant l'espoir d'une convalescence rapide.

M. le Président souhaita la bienvenue aux membres du Comité, avec une attention spéciale pour ceux d'entre eux qui siégeaient pour la première fois, MM. Hayashi, Hoffmann, Korte et Tikhodeev. Sur sa proposition, M. Volet fut nommé secrétaire et M. Walsh rapporteur.

M. Pérard, en énumérant les documents remis aux membres du Comité, indiqua que plusieurs rapports étaient arrivés trop tard pour être suffisamment étudiés. Il souligna la nécessité de réunir les rapports en temps utile et demanda qu'à l'avenir les documents fussent tous parvenus au Bureau international aussitôt que possible, et, en tout cas, au moins 15 jours avant la session.

Les questions en instance à cette réunion étaient de deux catégories. C'était d'abord l'examen des rapports sur les travaux exécutés à propos de l'institution des unités photométriques nouvelles et la confirmation de la résolution, prise en 1937, d'adopter la bougie nouvelle au 1^{er} janvier 1940. En second lieu il convenait de considérer le travail futur du Comité et, en particulier, de prévoir les étapes de la mise en application des unités nouvelles.

A. EXAMEN DES RAPPORTS.

1. *Travaux nouveaux sur l'étalon primaire.* — M. le Président demanda si certains Laboratoires nationaux avaient récemment comparé leurs étalons à l'étalon primaire.

M. Hoffmann déclara qu'à la Physikalisch-Technische Reichsanstalt, six lampes avaient été étalonnées par comparaison avec le corps noir et huit autres lampes seraient aussi étalonnées prochainement. Il insista sur la nécessité de rechercher si les différences qui pourraient se pré-

senter étaient systématiques ou accidentelles, et il mentionna, parmi les causes possibles d'erreurs systématiques, le degré de pureté du platine, la profondeur d'immersion du tube de platine, l'épaisseur des parois, etc.

M. Pérard résuma les travaux qui avaient été exécutés au Laboratoire Électrotechnique de Tokio et qui sont décrits dans le rapport annexé (Annexes P 2, P 3 et P 4, pp. P 41, P 44 et P 47).

Aucun autre travail sur l'étalon primaire n'avait été fait dans les autres Laboratoires.

2. *Comparaison des lampes mesurées dans les divers Laboratoires nationaux en fonction de la bougie nouvelle.* — Sur la demande de M. le Président, M. Walsh présenta deux rapports du National Physical Laboratory (voir Annexes P 5 et P 6, pp. P 49 et P 64). Conformément à la décision prise à la session de 1937 (*Procès-Verbaux du Comité international des Poids et Mesures*, 1937, p. 239), les Laboratoires nationaux avaient envoyé à Teddington des groupes de six lampes fonctionnant respectivement à la température de couleur de l'étalon primaire et à une température de couleur d'environ 2360° K. Les groupes de lampes de chacune de ces températures de couleur ont été comparés au National Physical Laboratory, et les résultats obtenus ont été donnés en détail dans ces deux rapports.

M. Pérard fit remarquer qu'il y avait, dans certains cas, des différences assez considérables entre les résultats individuels obtenus sur des lampes prises dans un même groupe et il fit allusion aux lampes de la température de couleur la plus basse provenant du Bureau of Standards. M. Crittenden déclara que ces lampes avaient été réexpédiées en Amérique et avaient été mesurées à nouveau. Une lampe avait varié d'environ 0,5 pour 100. On était en train de rechercher les causes possibles de ces diffé-

rences. Il se pourrait que celles-ci résident dans la méthode de mesure ou dans des variations accidentelles.

M. Pérard exprima l'opinion que dans toutes les comparaisons de ce genre, les lampes devraient être renvoyées aux Laboratoires d'origine pour être remesurées. Il déclara que ceci avait été jugé nécessaire dans le cas d'autres étalons; et l'on fut généralement d'accord pour que cette manière de faire fut respectée dans l'avenir.

En ce qui concerne la possibilité de recommander un type particulier de construction pour les lampes employées dans de telles comparaisons, on convint que dans l'état actuel de nos connaissances sur les causes probables de légères variations, il n'était pas possible de faire de pareilles spécifications.

M. Zwikker demanda si les différences constatées entre les divers Laboratoires ne présentaient pas une analogie avec les différences trouvées par eux sur la valeur de l'étalon primaire; mais M. Sears précisa que les valeurs en question étaient exprimées en fonction de l'ancienne unité, et qu'ainsi elles ne fournissaient pas de base de comparaison.

A la demande de M. le Président, le Comité examina alors la possibilité d'assigner des valeurs aux divers groupes d'étalons fonctionnant aux deux températures de couleur.

On fit la remarque que pour les applications commerciales on avait surtout besoin d'un accord sur l'unité de flux lumineux à une température de couleur d'environ 2800°K . Certains membres du Comité pensèrent qu'il vaudrait mieux différer toute tentative de sanctionner des valeurs pour les étalons nationaux, jusqu'à ce qu'on ait terminé la comparaison des étalons de flux fonctionnant à cette température de couleur. M. Jouaust fit quelques objections à cette proposition; car celle-ci laisserait,

pendant un délai supplémentaire, la question dans son état défectueux actuel.

M. Korte remarqua que pour rendre effective l'adoption de l'unité nouvelle, les Laboratoires nationaux devraient être en possession d'étalons fonctionnant dans la totalité du domaine pratique des températures de couleur; cette opinion fut partagée par les représentants des autres Laboratoires nationaux.

Le Président insista sur l'importance qu'il y aurait à mettre en usage, aussitôt que possible, une seule unité universelle, et M. Pérard proposa, tout en maintenant le 1^{er} janvier 1940 comme date d'introduction de l'unité nouvelle dans les législations, de reporter sa mise en vigueur dans tous les pays jusqu'au 1^{er} janvier 1941.

Faisant allusion à la comparaison à une température de couleur de 2800°K, M. Crittenden déclara que le National Bureau of Standards possédait 30 lampes d'un modèle spécial, à ampoule opale, fabriquées par Philips à Eindhoven. Ces lampes se sont montrées très stables, à moins de 0,5 pour 100 près dans tous les cas, et sont généralement bien meilleures encore. Il suggéra que des lampes de ce modèle fussent commandées et réparties dans tous les Laboratoires en vue de la comparaison présentement envisagée.

Il y eut alors une discussion générale sur les avantages relatifs des deux procédures proposées, savoir : 1° introduire la bougie nouvelle au 1^{er} janvier 1940 sans attendre l'intercomparaison à la température de couleur de 2800°K; 2° différer l'application de l'unité nouvelle jusqu'au 1^{er} janvier 1941, de façon à donner du temps pour cette intercomparaison et à permettre aux Laboratoires nationaux de s'organiser pour mesurer des lampes à toutes les températures de couleur, jusqu'à 2800°K, en fonction de la bougie nouvelle.

En conclusion il apparut que la seconde façon de procéder était jugée préférable par la majorité des membres; et, sur la proposition de M. Hoffmann, on accepta à l'unanimité la résolution suivante.

RÉSOLUTION 1.

Conformément à la résolution votée par le Comité international dans sa session de 1937 (Procès-Verbaux du Comité international, 1937, pp. 236 et 64), le Comité consultatif de Photométrie estime désirable que les différents pays introduisent la « bougie nouvelle », dans leur législation à partir « du 1^{er} janvier 1940, et que la mise en application de la loi soit reportée au 1^{er} janvier 1941 (1).

3. *Comparaison des mesures du rapport de l'intensité moyenne sphérique, à l'intensité dans une direction spécifiée.* — Conformément à la décision prise à la session de 1937 (*Procès-Verbaux du Comité international des Poids et Mesures*, 1937, p. 240), les Laboratoires nationaux avaient envoyé au National Physical Laboratory à Teddington, des groupes de trois lampes, pour lesquelles ils avaient mesuré le rapport de l'intensité moyenne sphérique à l'intensité lumineuse dans une direction spécifiée. La concordance entre les résultats obtenus par les différents Laboratoires dans le passage de l'intensité dans une direction à l'intensité moyenne sphérique a été déterminée, et les résultats ont été donnés dans un rapport (Annexe P 6, p. P 64) qui a été présenté par M. Walsh. Ce dernier mentionna que les groupes de

(1) Voir Note au bas de la page P 14.

lampes envoyés étaient loin d'avoir la même température de couleur, les différences atteignant 50 degrés.

M. Korte fit remarquer que, pour les lampes provenant de la Physikalisch-Technische Reichsanstalt, l'intensité moyenne horizontale avait été déterminée, la lampe étant immobile, en faisant la moyenne des valeurs obtenues après des rotations successives de 2 en 2 degrés.

M. Tikhodeev déclara qu'à l'Institut de Métrologie de l'U. R. S. S. on avait trouvé que l'intensité lumineuse d'une lampe était modifiée quand on la mettait en rotation. A une vitesse de 120 tours par minute, la variation du flux lumineux était de 1 à 1,5 pour 100 pour les lampes à vide, et de 1,3 à 2 pour 100 pour les lampes remplies de gaz. D'autres membres déclarèrent qu'ils n'avaient trouvé aucune variation dans le cas des lampes à vide.

4. *Dispositions prises au Bureau international des Poids et Mesures pour la comparaison des étalons d'intensité lumineuse.* — M. Pérard rappela qu'en 1937 le Comité consultatif avait demandé au Bureau international des Poids et Mesures d'établir un laboratoire de photométrie pour la comparaison des étalons nationaux. Il déclara que ce travail était la tâche de M. Terrien, et il exprima ses remerciements à ceux qui l'avaient aidé en lui communiquant avec empressement des renseignements sur les méthodes et l'outillage en usage dans les principaux laboratoires photométriques existants.

M. Terrien présenta alors son rapport, reproduit en annexe (Annexe P⁷, p. P 70).

M. Pérard déclara que le nouveau laboratoire serait très prochainement en état de faire des comparaisons d'intensité lumineuse. Certains Laboratoires avaient déjà envoyé des lampes étalons, et il espérait que d'autres en feraient autant.

B. TRAVAUX FUTURS.

En vue de maintenir la concordance entre les étalons nationaux d'intensité lumineuse, deux propositions avaient été faites au Comité émanant l'une du National Physical Laboratory (Annexe P 8, p. P 72) et l'autre du Laboratoire Électrotechnique de Tokio (Annexe P 9, p. P 75). Cette dernière préconisait l'intercomparaison de lampes tous les deux ans et la redétermination par rapport à l'étalon primaire, tous les six ans. La proposition du National Physical Laboratory ne précisait aucune périodicité pour ces déterminations.

Après discussion, on convint que, puisqu'un délai de deux ans était probablement trop bref, il n'était pas nécessaire d'imposer une périodicité définie. On a donc laissé au Bureau international des Poids et Mesures le soin d'organiser des intercomparaisons après consultation des divers Laboratoires.

M. le Président revint alors sur la question de l'établissement d'étalons à la température de couleur de 2800°K , et M. Korte déclara qu'à la Physikalisch-Technische Reichsanstalt, le passage de 2360°K à cette température de couleur serait effectué au moyen des filtres internationaux en verre bleu.

M. Crittenden ajouta que le National Bureau of Standards employait trois méthodes utilisant respectivement : 1° un filtre en verre bleu; 2° un corps noir à température fixe plus élevée; 3° un photomètre physique conçu en vue de donner des résultats en accord avec la courbe de visibilité. Les résultats obtenus par ces trois méthodes ont été trouvés en bonne concordance.

M. Zwikker demanda si les pays ne possédant pas de laboratoire national auraient la possibilité de se procurer

des étalons; à quoi M. Pérard répondit qu'un travail de ce genre serait l'une des fonctions du Bureau international des Poids et Mesures, comme c'est le cas pour d'autres catégories d'étalons.

Finalement la résolution suivante fut adoptée à l'unanimité.

RÉSOLUTION 2.

Le Comité consultatif de Photométrie propose que le Bureau international des Poids et Mesures organise, entre les Laboratoires nationaux, un échange de lampes étalons fonctionnant à une température de couleur voisine de 2800°K, en attendant que lui-même soit outillé pour exécuter de semblables comparaisons.

M. le Président lut alors une lettre de M. Bordoni (Annexe P 11, p. P 80), soulignant l'importance qu'il y aurait à s'accorder sur une méthode de photométrie hétérochrome, en vue, particulièrement, de la mesure des lampes à décharge.

A propos de la législation nécessaire dans certains pays pour préparer l'introduction des unités nouvelles, M. Pérard déclara que trois Laboratoires (National Physical Laboratory de Grande-Bretagne, Laboratoire Électrotechnique du Japon et Institut de Métrologie de l'U. R. S. S.) avaient soumis des projets de textes à incorporer dans les dispositions législatives qui pourraient être nécessaires. Dans le texte de l'Institut de Métrologie (Annexe P 10, p. P 78), l'unité de flux lumineux avait été placée au rang d'unité fondamentale, en conformité avec une proposition qui avait été reçue d'U. R. S. S. en 1937. A cette époque, le Comité, après examen attentif, avait décidé de conserver l'unité d'intensité lumineuse comme unité fondamentale.

Après discussion, on s'accorda pour maintenir cette

décision; M. Tikhodeev s'étant abstenu dans le vote, le texte soumis par le National Physical Laboratory (Annexe P 8, p. P 72) fut approuvé avec les modifications suivantes :

Dans la seconde phrase du paragraphe 3, les mots « consiste à utiliser un filtre coloré » doivent être remplacés par « consiste à utiliser un procédé tenant compte de la courbe des facteurs de visibilité (luminosité) adoptée par ce Comité; on emploiera par exemple un filtre coloré... ».

Dans le paragraphe 4, on a modifié la définition de la bougie nouvelle comme suit : « La grandeur de la bougie nouvelle est telle que la brillance du radiateur intégral... ».

Le texte ainsi amendé est adopté sous la forme suivante.

RÉSOLUTION 3

CONCERNANT LES UNITÉS PHOTOMÉTRIQUES

(en vue de son adoption par le Comité international des Poids et Mesures).

1. LA SITUATION ACTUELLE. — *A l'heure actuelle, les unités d'intensité lumineuse en usage dans les différents pays sont fondées sur des étalons à flamme, ou sur les valeurs assignées à certaines lampes électriques à filament incandescent, conservées dans les Laboratoires nationaux. La France, la Grande-Bretagne et les États-Unis d'Amérique se sont mis d'accord en 1909 pour adopter une unité commune, qui fut par la suite adoptée dans certains autres pays. Bien des projets ont été proposés en vue d'établir une unité qui serait fondée sur une source-étalon primaire, c'est-à-dire reproductible au moyen de certaines spécifications. Cependant, ce n'est que dans ces dernières*

années, qu'un tel étalon s'est montré pratiquement réalisable.

2. L'ÉTALON PRIMAIRE. — Cet étalon, adopté en principe par le Comité international des Poids et Mesures en 1930 et en 1933, est un radiateur de Planck (corps noir), à la température de solidification du platine, et la valeur de l'unité d'intensité lumineuse (adoptée en 1937) est telle que la brillance de l'étalon soit de 60 unités par centimètre carré. La forme, sous laquelle cet étalon est réalisé actuellement est, dans ses traits essentiels, celle qui a été conçue par le National Bureau of Standards, à Washington, et qui se trouve décrite dans les Procès-Verbaux du Comité international des Poids et Mesures de 1931 (p. 249). La couleur de la lumière fournie par l'étalon ne diffère pas sensiblement de celle qui est émise par les étalons à flamme et les lampes à filament dont il est question au paragraphe 1.

3. MESURE DES SOURCES LUMINEUSES AYANT UNE TEMPÉRATURE DE COULEUR AUTRE QUE CELLE DE L'ÉTALON PRIMAIRE. — Les sources lumineuses modernes (même si l'on met à part celles qui présentent une coloration marquée) ont une température de couleur beaucoup plus élevée que l'étalon primaire, et il est par conséquent nécessaire de définir le procédé suivant lequel ces sources doivent être évaluées. La méthode approuvée par le Comité international des Poids et Mesures, en 1937, consiste à utiliser un procédé tenant compte de la courbe des facteurs de visibilité (luminosité) adoptée par ce Comité; on emploiera par exemple un filtre coloré, qui, intercalé entre l'étalon primaire et le photomètre, donne une couleur comparable à celle de la lumière à mesurer. Le facteur de transmission de ce

filtre est déterminé à partir de sa courbe de transmission spectrale, au moyen des facteurs de luminosité adoptés en 1933 par le Comité international des Poids et Mesures (Procès-Verbaux, 1933, p. 62).

4. DÉFINITION DES UNITÉS. — *Les unités photométriques peuvent être définies comme suit :*

I. LA BOUGIE NOUVELLE (unité d'intensité lumineuse). — *La grandeur de la bougie nouvelle est telle que la brillance du radiateur intégral à la température de solidification du platine, soit de 60 bougies nouvelles par centimètre carré.*

II. LE LUMEN NOUVEAU (unité de flux lumineux). — *Le lumen nouveau est le flux lumineux émis dans l'angle solide unité (stéradian), par une source ponctuelle uniforme ayant une intensité lumineuse de 1 bougie nouvelle.*

5. RÉALISATION PRATIQUE DES UNITÉS. — *Bien qu'il soit possible de réaliser l'étalon primaire à tout instant et dans tout laboratoire possédant l'appareillage nécessaire, pour la plupart des buts pratiques les étalons de référence seront des lampes étalons secondaires à filament de carbone ou de tungstène, lampes dont les valeurs auront été déterminées par rapport à l'étalon primaire. La précision des comparaisons de ces lampes entre elles est plus élevée que la précision avec laquelle on peut reproduire actuellement l'étalon primaire.*

Des lampes étalons secondaires de ce type seront conservées dans les divers Laboratoires nationaux et au Bureau international des Poids et Mesures. Les valeurs attribuées à ces étalons secondaires seront déterminées par rapport à l'étalon primaire, soit par comparaison directe dans un ou plusieurs des princi-

paux Laboratoires nationaux, soit indirectement par intercomparaison avec d'autres lampes similaires dont les valeurs auront été déterminées de cette façon. Ainsi, les valeurs assignées aux étalons secondaires conservés au Bureau international et dans chacun des Laboratoires nationaux, seront exprimées au moyen de l'unité moyenne, telle qu'elle aura été déterminée dans tous les Laboratoires où l'étalon primaire aura été réalisé.

On procédera d'une façon analogue dans le cas des lampes fonctionnant à une température de couleur plus élevée que l'étalon primaire, ainsi que pour la réalisation du lumen à partir de la bougie.

A propos de la réunion future du Comité, on a laissé au Président le soin d'en décider l'époque après consultation des divers Laboratoires ; cependant, il a été reconnu qu'une session serait probablement nécessaire en 1941.



ANNEXE P 1.

Physikalisch-Technische Reichsanstalt.

LES TRAVAUX PRÉPARATOIRES

POUR

LA NOUVELLE UNITÉ DE LUMIÈRE

Par M. H. WILLENBERG.

(Résumé du Mémoire original qui a paru dans *Phys. Zeits.*, 40, 1939, p. 391-394.)

Pour l'établissement et la conservation de la nouvelle unité de lumière, on a installé à la Physikalisch-Technische Reichsanstalt, un montage photométrique tout à fait semblable dans ses traits essentiels à ceux des Laboratoires nationaux des autres pays, et qui ont déjà été décrits. Sur certains points, il y a quelques différences que nous allons rapporter ici brièvement.

1. *Le corps noir.* — La figure 1 représente, en coupe, le radiateur creux qui a été utilisé. La disposition est celle qui a été adoptée par Hoffmann et Tingwaldt ⁽¹⁾ pour le rattachement du point de solidification du platine au point de solidification de l'or.

Le tube en oxyde de thorium servant de radiateur creux est ajusté à force dans le couvercle du creuset. Il plonge de 2^{mm} dans le bain de platine; il ne va pas jusqu'au fond du creuset, et son extrémité inférieure fermée est entourée de métal de tous côtés. Le diamètre intérieur du tube est de 2^{mm}, et l'épaisseur des parois de 0^{mm},6 environ. Pour le point de solidification du

(¹) *Physikalische Zeitschrift*, 35, 1934, p. 434.

platine utilisé, on a trouvé, peu de temps avant les mesures photométriques, et par rattachement pyrométrique au point de solidification de l'or, la valeur 2047°K ; cette valeur est en bon accord avec celle qui avait été déterminée auparavant par Hoffmann et Tingwaldt.

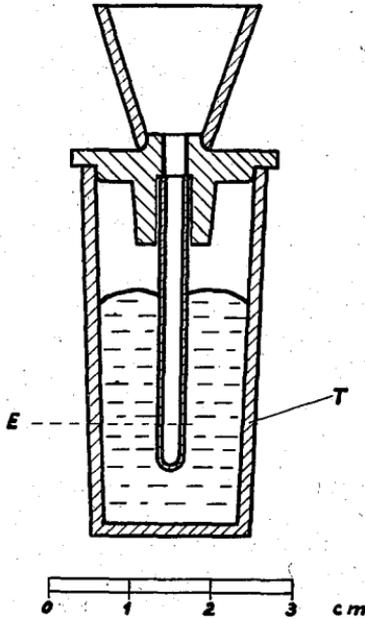


Fig. 1.

2. *Le dispositif optique.* — Pour dévier le faisceau lumineux, et former l'image du radiateur creux sur l'écran récepteur du photomètre, on utilise généralement un prisme à réflexion totale auquel est fixée, au moyen d'un mastic, une lentille achromatique. Pour rendre aussi petit que possible le nombre des surfaces réfléchissantes, la P. T. R. (d'après les indications de M. Dziobek) utilise, au lieu de ce système double, un prisme à réflexion totale dont l'une des faces de l'angle droit est taillée en surface convexe de sorte que ce système possède les propriétés d'une lentille (distance focale 45cm). L'image de la partie interne du radiateur, grossie environ 10 fois, se forme à travers ce « prisme-lentille ».

sur l'écran récepteur du photomètre. Par suite de la distance focale assez élevée du prisme-lentille, la distance du radiateur au prisme-lentille est d'environ 50^{cm}. De cette façon il se forme, en plus de l'image du fond du tube, une image assez nette de son ouverture, de sorte que l'on peut toujours, pendant les mesures, se rendre bien compte si l'image circulaire de cette ouverture reste invariablement et exactement centrée sur l'écran de plâtre. Pour les mesures photométriques, on n'utilise qu'une petite plage d'environ 5^{mm} de diamètre au centre de cette image. Cette région de l'écran n'est éclairée que par les radiations émises par la partie située au-dessous du plan E représenté sur la figure 1. La partie de la surface du radiateur, qui intervient au point de vue photométrique, se trouve donc bien au fond du bain de platine, tandis que l'image de la partie moyenne, et *a fortiori* de la partie supérieure du tube qui émerge du bain de platine, se forme en dehors de la zone utile de l'écran de plâtre. On arrive ainsi à éviter que la partie la plus froide du radiateur, située devant, n'influence sensiblement le rayonnement utilisé photométriquement. (Pour réaliser cet avantage, il faut adopter des distances optiques, objet et image, assez considérables, et disposer d'une grande longueur de banc.)

3. *Les lampes photométriques.* — Après des recherches préliminaires prolongées avec des lampes photométriques de différents types, on a utilisé pour les mesures un type spécial. Afin d'éviter les réflexions parasites, l'ampoule conique de ces lampes est partiellement noircie, et inclinée par rapport à l'axe de la douille. Les lampes présentent la construction intérieure bien connue, avec fil de tungstène replié en zigzag dans un seul plan et un culot à vis du type Edison normal. Elles sont alimentées à intensité constante, et de plus on contrôle la tension.

4. *Les mesures.* — Conformément à la résolution adoptée par le Comité consultatif de Photométrie de 1937, deux groupes de six lampes photométriques ont été rattachés au corps noir. Avant le commencement des mesures, le montage a été réglé géométriquement en renversant le sens de propagation de la lumière. A la fin des mesures, on a toujours vérifié que le réglage s'était bien maintenu. Pour les mesures, on a utilisé un photomètre universel de la Maison Schmidt et Haensch, de Berlin, avec un cube de Lummer-Brodhun, une lampe témoin fixe, et un dispo-

sitif de mesure à secteur (faisceau lumineux tournant et secteur réglable muni d'une échelle à 100 divisions). L'écran récepteur était une plaquette de plâtre fixée rigidement au photomètre et protégée contre la lumière parasite par des écrans. Les mesures photométriques ont été exécutées par deux observateurs (M. Schmidt et H. Willenberg). Avec le montage ainsi conçu, elles consistaient donc à réaliser une égalité d'éclairement des plages en agissant sur le secteur réglable. Les pointés étaient relevés par un collaborateur, au moyen d'une lunette. La transparence du prisme-lentille a été déterminée au moyen d'une source auxiliaire. Celle-ci se compose d'une boîte entièrement tapissée à l'intérieur de papier blanc et munie d'une fenêtre en verre opale, qui est éclairée très uniformément par la lumière indirecte d'une petite lampe à incandescence installée dans la boîte; l'intensité du courant dans la lampe est réglée de façon que la lumière émise par la fenêtre en verre opale possède la même température de couleur que le radiateur creux. Pour la détermination de la transparence, on a mesuré la brillance de cette fenêtre, d'abord directement, puis après introduction du prisme-lentille. Le rapport des deux valeurs de brillance ainsi obtenues fournit le facteur de transmission D du prisme-lentille. Cette méthode est semblable à celle qui est utilisée au National Bureau of Standards, sous le nom de « box-method ». Grâce à l'utilisation de distances appropriées entre le photomètre, le prisme-lentille et la fenêtre en verre opale (chacune d'environ $1^m,50$), on a pu obtenir que, dans les deux cas, le rayonnement provienne de la même partie de la surface de la fenêtre, ainsi qu'on a pu s'en rendre compte en renversant le sens de propagation de la lumière. Comme valeur moyenne de 40 mesures différentes, on a obtenu, pour le facteur de transmission, la valeur $D = 0,9060$; il n'y a pas lieu, à cause de la simplicité du dispositif optique, de chercher à corriger cette valeur mesurée directement pour tenir compte des réflexions multiples sur le prisme-lentille. Le plus fort reflet existant est dû à une image très petite du corps noir (dans la mesure du facteur de transmission il s'agit de l'image de la fenêtre), image qui se trouve à une distance assez faible du prisme-lentille. Cette réflexion introduit, pendant la mesure du corps noir, une erreur de $+ 3 \cdot 10^{-7}$ et, pendant la mesure du facteur de transmission, une erreur de $+ 9 \cdot 10^{-5}$. Le prisme-lentille est très bien protégé contre la poussière par une boîte, de sorte que les mesures souvent

répétées du facteur de transmission ont toujours donné, au cours d'un laps de temps d'une demi-année, des valeurs très concordantes; elles n'ont montré aucune progression bien que, intentionnellement, le prisme-lentille n'ait manifestement jamais été nettoyé pendant ce temps. Après la fin des mesures, les deux groupes de lampes ont été envoyés au National Physical Laboratory, pour exécution des comparaisons selon le programme prévu.

ANNEXE P 2.

Laboratoire électrotechnique, Tokio.

SUR LA MESURE
DE
LA BRILLANCE DU CORPS NOIR
A LA TEMPÉRATURE DE SOLIDIFICATION DU PLATINE

Par MM. ZIRO YAMAUTI et Tosio IIZUKA.

Nous avons réalisé, au Laboratoire Electrotechnique, l'étalon primaire d'intensité lumineuse, conformément à la spécification du corps noir à la température de solidification du platine pur présentée par le National-Bureau of Standards, et nous en avons fait la mesure de la brillance. Ce rapport indique sommairement les résultats des mesures faites.

1. *Appareillage.* — Pour le four du corps noir, des creusets en thorine fondue et des tubes de visée tout à fait semblables à ceux offerts aimablement par le National Bureau of Standards ont été faits au Laboratoire Électrotechnique. La fusion et la solidification du platine pur ont été effectuées dans un four à induction à haute fréquence.

Le platine utilisé dans nos mesures a été purifié à la Section de chimie du Laboratoire Électrotechnique.

Le photomètre utilisé était un photomètre à contraste de Lummer-Brodhun, et nous avons fait la mesure en diminuant le champ visuel du photomètre afin qu'il soit identique à l'image du corps noir.

Les quatre lampes au tungstène dans le vide, utilisées dans nos mesures comme lampes-étalons, étaient bien sélectionnées, et les valeurs de ces lampes ont été déterminées d'après la lampe-étalon d'intensité lumineuse conservée au Laboratoire Électro-technique. L'image du tube de visée était formée sur l'écran du photomètre, au moyen d'un prisme et d'une lentille masquée par un diaphragme dont l'aire était connue.

Le nombre des lingots préparés pour les mesures était de deux; chacun était formé d'environ 180^{es} de platine.

La valeur obtenue comme facteur de transmission de la lentille et du prisme, en employant la méthode de la boîte et le pyromètre, a été 67,49%. L'aire du diaphragme était de 3^{em},4636; elle a été déterminée à l'Institut de Recherches Physiques et Chimiques.

2. *Résultat de la mesure de brillance.* — Le nombre des observateurs qui se sont occupés de faire la mesure a été de trois. La fusion et la solidification ont été répétées plus de 100 fois, et les valeurs déterminées finalement ont été obtenues après que chaque observateur eut répété plus de 10 fois les fusions et solidifications pour chaque lingot.

Les moyennes sont indiquées dans le tableau suivant :

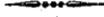
Observateurs.	Lingots.		Moyennes.
	N° 1.	N° 2.	
Y.I.....	59,64	59,74	59,69
T.I.....	59,64	59,58	59,61
S.K.....	59,52	59,51	59,51
Moyenne.....	59,60	59,61	59,60

La moyenne des deux valeurs est 59,60 bougies par centimètre carré, comme il est indiqué ci-dessus.

Le résultat des mesures déjà faites au National Physical Laboratory et au National Bureau of Standards est 58,91 bougies par centimètre carré. En conséquence, le rapport de notre valeur à celle de ces deux Laboratoires est $\frac{59,60}{58,91} = 1,012$.

Comme il est indiqué dans l'Annexe P 3, si l'on prend comme unité la valeur du National Physical Laboratory et du National

Bureau of Standards, la bougie du Laboratoire Électrotechnique est 1,009; par conséquent, nous pensons que la valeur de la brillance du corps noir du Laboratoire Electrotechnique (59,60) est en bonne concordance avec la moyenne (58,91) obtenue aux États-Unis d'Amérique et en Angleterre, en considération de l'exactitude des mesures photométriques.



ANNEXE P 3.

Laboratoire électrotechnique, Tokio.

SUR

L'UNITÉ D'INTENSITÉ LUMINEUSE

A LA TEMPÉRATURE DE COULEUR DE 2360°K

Par MM. Z. YAMAUTI, S. SAITO et S. YAMANAKA.

1. *Étalonnage en fonction de la bougie nouvelle.* — Pour déterminer l'intensité lumineuse de la lampe-étalon à la température de couleur de 2360°K par la lampe-étalon à la température de couleur de 2080°K, mesurée elle-même par rapport à l'étalon primaire d'intensité lumineuse, le photomètre à contraste de Lummer-Brodhun a été utilisé avec le verre bleu B817, sélectionné par le Laboratoire Électrotechnique.

Le nombre des observateurs qui se sont occupés de faire les mesures photométriques a été de trois.

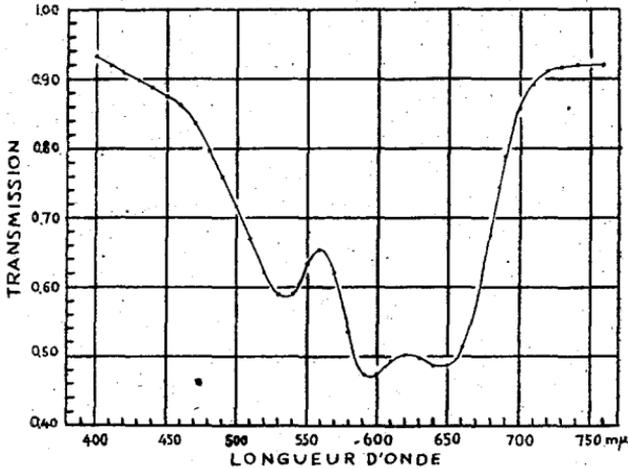
TABLEAU I.

Numéro des lampes.	Volts. (V).	Ampère. (A).	Intensité de lumière.		Rapport*.
			Bougie nouvelle.	Bougie ancienne.	
DS. 701....	97,735	0,37584	10,71 ₅	10,65	1,006
DS. 702....	97,188	0,37618	10,63	10,56	1,007
DS. 703....	97,168	0,37543	10,62	10,56	1,006
DS. 708....	98,646	0,37666	11,04	10,99	1,005

* Rapport $\frac{\text{bougie nouvelle}}{\text{bougie ancienne}}$

Nous avons mesuré le facteur de transmission spectrale du verre bleu B817 (voir *figure 1*) par un photomètre photoélectrique, et calculé le facteur de transmission totale pour la lumière à la

température de couleur de 2080°K. Le facteur de transmission totale est 56,04 pour 100.



2. *Comparaison internationale de 1932-1933.* — Les trois lampes-étalons (100V, 20b.) à filament de tungstène dans le vide du Laboratoire Électrotechnique ont été apportées, de l'automne 1932 au commencement de 1933, aux quatre Laboratoires nationaux, savoir L.C.E., N.P.L., P.T.R. et N.B.S., pour la comparaison internationale; les résultats obtenus sont inscrits dans le Tableau II. Cependant une de ces lampes, détruite au cours des transports, a été exclue.

TABLEAU II.

N° des lampes...	S. 4066 T.		S. 4074 T.		Rapport**.
	Intensité lumineuse (b).	Ampère (A).	Intensité lumineuse (b).	Ampère (A).	
E. T. L.	19,73	0,2482	18,70	0,2566	1,000
L. C. E.	19,8	0,2480	18,9	0,2562	1,008
N. P. L.	19,53	0,2481	18,53	0,2560	0,991
N. B. S.	19,46	0,2477	18,58	0,2560	0,991
P. T. R*	22,43	0,2476	21,29	0,2558	1,138
E. T. L.	19,63	0,2478	18,76	0,2560	1,000

* Les valeurs de la P. T. R. sont données en bougies Hefner.

** Rapport $\frac{\text{(moyenne des deux) valeurs de chaque Laboratoire}}{\text{E. T. L. moyenne des valeurs avant et après}}$

Si l'on prend la valeur moyenne du Laboratoire Électro-technique comme unité, la valeur du N.P.L. et du N.B.S. est 0,991; en conséquence, une bougie du Laboratoire Électro-technique est égale à 1,009 en bougie internationale.

TABLEAU III.

Comparaison internationale de flux lumineux total.

N° des lampes.....	D. S. 604.		D. S. 605.		D. S. 606.		Rapport**.
	Flux lumineux total (lm).	Ampère (A).	Flux lumineux total (lm).	Ampère (A).	Flux lumineux total (lm).	Ampère (A).	
Laboratoire.							
E. T. L.	1166	1,0183	1204	1,0098	1229	1,0159	0,996
L. C. E.	1180	1,019	1205	1,010	1255	1,016	1,007
N. P. L.	1201	1,0182	1225	1,0098	1251	1,0157	1,017
P. T. R*....	1400	1,0181	1430	1,0095	1450	1,0153	1,184
N. B. S.	1207	1,0179	1227	1,0095	1262	1,0153	1,023
E. T. L.	1186	1,0179	1209	1,0092	1234	1,0153	1,004

* Les valeurs de la P. T. R. sont données en lumen Hefner.
 valeur de chaque Laboratoire

** Rapport $\frac{\text{E. T. L. moyenne des valeurs avant et après}}{\text{E. T. L.}}$

Il est regrettable que les lampes utilisées dans les comparaisons internationales aient été si peu nombreuses. Néanmoins les résultats obtenus sont très intéressants; et nous profitons de cette occasion pour exprimer nos remerciements aux Laboratoires nationaux, savoir: L. C. E., N. P. L., N. B. S. et P. T. R., pour leur aimable coopération. D'ailleurs, nous avons fait, en même temps, des comparaisons internationales d'unités de flux lumineux par la lampe à atmosphère gazeuse (100 V, 100 W), et obtenu les résultats indiqués dans le Tableau III.

ANNEXE P 4.

Laboratoire électrotechnique, Tokio.

SUR

LA MÉTHODE DE DÉTERMINATION

DE

L'UNITÉ DE FLUX LUMINEUX

Par M. ZIRŌ YAMAUTI.

La méthode au moyen de laquelle le Laboratoire Électrotechnique détermine l'unité de flux lumineux total est la suivante :

1. *Détermination de la valeur de la lampe-étalon primaire de flux lumineux total.* — Nous allumons la lampe 100 V, 50 W à filament de tungstène cage d'écureuil, dans le vide, à la température de couleur d'environ 2400°K; et nous obtenons, en tournant la lampe au-dessus du photomètre horizontal, la moyenne des intensités lumineuses dans une direction définie par rapport à la verticale; nous obtenons ensuite la valeur du flux lumineux total par le calcul. Pour l'intégration approximative, nous appliquons la méthode de Gauss avec 10 ordonnées dans chaque hémisphère. Le Tableau ci-après indique la direction de mesure et les facteurs qui doivent multiplier les moyennes des intensités lumineuses dans la direction de mesure.

2. *Détermination de la valeur du flux lumineux total de la lampe-étalon secondaire de flux lumineux total.* — Au moyen d'un groupe de lampes-étalons primaires, telles qu'elles

sont indiquées plus haut, nous mesurons la valeur du flux lumineux total de la lampe au tungstène à atmosphère gazeuse, en utilisant un photomètre à sphère de 1^m,5 de diamètre.

Direction de mesure.		
Hémisphère inférieur.	Hémisphère supérieur.	Facteur de flux lumineux.
0	0	
1,2	178,8	0,00674
6,1	173,9	0,07801
14,4	165,6	0,2694
25,5	154,5	0,5720
38,3	141,7	0,9039
51,7	128,3	1,1447
64,5	115,5	1,1994
75,6	104,4	1,0471
83,9	96,1	0,7334
88,8	91,2	0,3289

ANNEXE P 5.

National Physical Laboratory.

INTERCOMPARAISON DES LAMPES

I.

ÉTALONS D'INTENSITÉ LUMINEUSE.

1. INTRODUCTION.

A la réunion du Comité consultatif de Photométrie tenue en juin 1937, la résolution suivante a été adoptée (Comité international des Poids et Mesures, *Procès-Verbaux*, 1937, p. 239).

« Il est demandé aux Laboratoires nationaux de préparer deux groupes de 6 lampes fonctionnant l'un à la température de couleur de solidification du platine, l'autre à la température de couleur de 2360°K, et dont les intensités lumineuses seront évaluées en fonction de la bougie nouvelle ».

« Il est demandé que ces lampes soient envoyées avant le 1^{er} avril 1938 au National Physical Laboratory, en vue des comparaisons à exécuter entre elles ».

Cette résolution a été ensuite approuvée par le Comité international des Poids et Mesures (*Procès-Verbaux*, 1937, p. 64), et conformément à celle-ci, deux groupes de 6 lampes ont été envoyés au National Physical Laboratory par le National Bureau of Standards et par la Physikalisch-Technische Reichsanstalt.

Les certificats reçus avec ces lampes sont reproduits dans les Appendices à la fin de ce rapport. Les lampes de chaque groupe ont été comparées aux lampes qui avaient été évaluées précédemment au National Physical Laboratory en fonction de la « bougie nouvelle » et le présent rapport rend compte du travail exécuté et des résultats obtenus dans cette comparaison.

2. DESCRIPTION DES LAMPES UTILISÉES POUR LA COMPARAISON
A LA TEMPÉRATURE DE COULEUR LA PLUS BASSE.

a. Lampes envoyées par la Physikalisch-Technische Reichsanstalt. — Les 6 lampes envoyées avaient des filaments de tungstène, montés dans un plan à l'intérieur d'une ampoule conique et étaient munies de culots à vis. L'axe du cône faisait un angle d'environ 15° avec le plan du filament et la surface extérieure de l'ampoule était recouverte de peinture noire, de telle sorte que les images du filament formées dans l'ampoule n'affectaient pas l'intensité lumineuse de la lampe lorsqu'on la mesurait dans une direction perpendiculaire au plan du filament.

Conformément aux instructions reçues, les lampes ont été mesurées avec le plan du filament vertical et le culot au-dessous du filament.

b. Lampes envoyées par le National Bureau of Standards. — Les 6 lampes envoyées étaient munies d'un filament unique de carbone en « U » monté dans une ampoule de verre clair en forme de poire avec culot à vis. La position de la lampe était déterminée par deux traits verticaux gravés, un de chaque côté de l'ampoule. Un cercle gravé sur l'un des traits indique le côté de la lampe qui doit être tourné du côté opposé au photomètre, et, conformément aux instructions, ces lampes ont été montées avec le filament vertical et le culot au-dessus du filament.

c. Lampes utilisées par le National Physical Laboratory. — C'était un jeu de 7 lampes à filament de tungstène, faisant partie d'un groupe plus nombreux utilisé dans notre Laboratoire pour la conservation de l'unité d'intensité lumineuse à une température de couleur de 2046°K . Les filaments étaient dans un même plan et montés dans des ampoules cylindriques. Les culots des lampes étaient soudés dans des montures de laiton, qui

s'adaptait dans une position bien définie sur le chariot du banc photométrique, de telle sorte que le plan du filament était perpendiculaire à la direction de mesure.

3. DESCRIPTION DES LAMPES UTILISÉES POUR LA COMPARAISON A LA TEMPÉRATURE DE COULEUR LA PLUS ÉLEVÉE.

d. Lampes envoyées par la Physikalisch-Technische Reichsanstalt. — Les 6 lampes envoyées étaient identiques par leur construction à celles qui sont décrites ci-dessus pour la température de couleur la plus basse, et elles étaient mises en place pour la mesure de la même manière.

e. Lampes envoyées par le National Bureau of Standards. — Les 6 lampes envoyées étaient munies d'un filament de tungstène, en forme de cage cylindrique. Pendant la mesure, on faisait tourner les lampes autour de leur axe vertical, la vitesse de rotation étant réglée au minimum requis pour éviter un papillotement nuisible dans le champ du photomètre. La distance utilisée pour calculer l'intensité moyenne horizontale était comptée du centre de rotation de la lampe à la surface blanche diffusante du photomètre.

f. Lampes utilisées par le National Physical Laboratory. — On a utilisé un jeu de 10 lampes à filament de tungstène, qui fait partie d'un groupe plus nombreux utilisé dans notre Laboratoire pour la conservation de l'unité d'intensité à une température de couleur d'environ 2360°K. Les filaments étaient dans un plan et le montage de la lampe était identique à celui qui est décrit ci-dessus (c). Les valeurs assignées à leur intensité horizontale étaient déduites de mesures utilisant le groupe plus nombreux de lampes fonctionnant à la température de couleur de 2046°K avec le filtre coloré en verre bleu R. 3.28 (1).

(1) Le facteur de transmission utilisé pour ce filtre coloré était celui qui a été adopté à la suite de comparaisons internationales (Comité international des Poids et Mesures, *Procès-Verbaux*, 1933, Annexes, p. 30r). On a fait les corrections qui tiennent compte des réflexions multiples et du changement de chemin optique résultant de l'utilisation du filtre.

4. MÉTHODE DE COMPARAISON.

On a utilisé dans tout le cours des comparaisons une méthode de substitution, et toutes les distances entre les filaments de lampe et la surface blanche diffusante du photomètre étaient telles que l'éclairement produit sur ce dernier fût de 10 lux. Pour les lampes à température de couleur plus élevée, reçues de la Physikalisch-Technische Reichsanstalt, la distance du photomètre était fixée à 2307^{mm},3 lorsque les lampes ont été mesurées en Allemagne. La distance utilisée pour la comparaison actuelle (c'est-à-dire la distance qui donne un éclairement de 10 lux) était comprise entre 1600 et 1890^{mm}, selon l'intensité lumineuse de chaque lampe individuelle.

On a utilisé un photomètre de Lummer-Brodhun à contraste dont le champ avait l'étendue normale (environ 10°), et six observateurs expérimentés ont pris part à l'ensemble des comparaisons.

La mise en place des lampes et les ajustages électriques ont été faits conformément aux instructions communiquées par le Laboratoire correspondant. Pour les lampes du National Bureau of Standards et du National Physical Laboratory, on maintenait entre les contacts des lampes un potentiel défini (*voir* colonne 2 des Tableaux I et III), et l'on procédait à des mesures de courant pendant la période occupée par les pointés photométriques. Dans le cas des lampes de la Reichsanstalt, on maintenait un courant défini (*voir* colonne 2 des Tableaux II et IV), et des mesures de potentiel aux contacts des lampes étaient faites périodiquement.

En effectuant les expériences de comparaison, on a mesuré quelques-unes des lampes du N. P. L. au commencement et d'autres au milieu et à la fin de la série complète, tandis que dans l'intervalle de ces périodes, des lampes de chacun des deux autres Laboratoires étaient mesurées alternativement. L'ordre dans lequel des lampes ont été mesurées a été changé à chaque reprise. Chaque lampe était en circuit pendant au moins 10 minutes, avant que son intensité ne fût mesurée.

Les valeurs de l'intensité lumineuse données dans le tableau pour les lampes individuelles envoyées par la P. T. R. et le N. B. S. ont exprimées en fonction de l'intensité *moyenne* du groupe du N. P. L. fonctionnant à la même température de couleur.

5. RÉSULTATS DES COMPARAISONS.

a. Température de couleur la plus basse.

TABLEAU I. — Six lampes à filament de carbone envoyées par le National Bureau of Standards.

Numéro de la lampe.	Volts (fixés).	Bougies nouvelles (dans la direction spécifiée).		Rapport des unités N. B. S. N. P. L.	Ampères.		Différence N. B. S. — N. P. L. (ampères %).
		N. B. S.	N. P. L.		N. B. S.	N. P. L.	
B. S. 5492.....	37,1	12,34	12,13	0,9830	1,5364	1,5372	—0,05
B. S. 5493.....	37,0	12,41	12,30	0,9911	1,5963	1,5974	—0,07
B. S. 5495.....	36,8*	12,71	12,71 ₅	1,0004	1,5394	1,5404	—0,06
B. S. 5496.....	37,15	12,62	12,64 ₅	1,0020	1,5793	1,5806	—0,08
B. S. 5497.....	37,8	12,52	12,55	1,0024	1,5506	1,5517	—0,07
B. S. 5499.....	36,3	12,40	12,47	1,0056	1,5288	1,5297	—0,06
				0,9974			—0,07

TABLEAU II.

Six lampes à filament de tungstène envoyées par la Physikalisch-Technische Reichsanstalt.

Numéro de la lampe.	Ampères (fixés).	Bougies nouvelles (dans la direction spécifiée).		Rapport des unités P. T. R. N. P. L.	Volts.		Différence P. T. R. — N. P. L. (volts %).
		P. T. R.	N. P. L.		P. T. R.	N. P. L.	
1.....	0,86282	6,95	6,92 ₅	0,9964	31,29	31,27	+0,06
2.....	0,86282	6,83	6,79 ₅	0,9949	31,22	31,18	+0,13
3.....	0,86282	6,94	6,92	0,9971	31,34	31,34	0,00
9.....	0,86282	6,99	6,95	0,9943	31,30	31,26	+0,13
14.....	0,86281	6,70	6,66	0,9940	31,20	31,18	+0,06
17.....	0,86281	6,80	6,74 ₅	0,9919	31,20	31,20	0,00
				0,9948			+0,06

6. RÉSULTATS DES COMPARAISONS (suite).

b. Température de couleur la plus élevée.

TABLEAU III.

Six lampes à filament de tungstène dans le vide envoyées par le National Bureau of Standards.

Numéro de la lampe.	Volts (fixés).	Bougies nouvelles (moyenne horizontale).		Rapport des unités	Ampères.		Différence N. B. S. — N. P. L. (ampères %).
		N. B. S.	N. P. L.	N. B. S. N. P. L.	N. B. S.	N. P. L.	
B. S. 4923.....	98,6	23,76	23,79	1,0013	0,3437	0,3440	—0,09
B. S. 4924.....	98,3	23,72	23,69	0,9987	0,3464	0,3467	—0,09
B. S. 4925.....	97,3	24,23	24,21	0,9992	0,3524	0,3529	—0,14
B. S. 4927.....	99,6	23,66	23,59	0,9970	0,3383	0,3387	—0,12
B. S. 4930.....	100,1	23,74	23,67	0,9971	0,3341	0,3345	—0,12
B. S. 4931.....	100,1	24,13	23,95	0,9925	0,3379	0,3381	—0,06
				0,9976			—0,10

TABLEAU IV.

Six lampes à filament de tungstène dans le vide envoyées par la Physikalisch-Technische Reichsanstalt.

Numéro de la lampe.	Ampères (fixés).	Bougies nouvelles (dans la direction spécifiée).		Rapport des unités	Volts.		Différence P. T. R. — N. P. L. (volts %).
		P. T. R.	N. P. L.	P. T. R. N. P. L.	P. T. R.	N. P. L.	
5.....	1,10813	33,31	33,20	0,9967	47,92	47,91	+0,02
6.....	1,08791	30,79	30,69	0,9968	46,21	46,22	—0,02
16.....	1,08635	30,15	29,75	0,9867	46,47	46,44	+0,06
20.....	1,08725	31,27	30,71	0,9821	46,42	46,41	+0,02
21.....	1,07300	29,07	28,83	0,9917	45,40	45,35	+0,11
22.....	1,07011	27,49	27,32	0,9938	45,48	45,41	+0,15
				0,9913			+0,06

7. RÉSUMÉ.

Voir le Résumé Général au paragraphe 12 (p. P 58).

RAPPORT SUPPLÉMENTAIRE

8. LAMPES ENVOYÉES

PAR LE LABORATOIRE CENTRAL D'ÉLECTRICITÉ.

Ces lampes formaient deux groupes, comportant chacun six lampes, dont le filament est placé dans un plan et monté dans des ampoules coniques munies d'un culot à vis. Pour les mesures, le plan du filament était placé verticalement, le culot étant situé au-dessous du filament. L'un des groupes de lampes, dont le filament était constitué par deux boucles de fil de carbone en épingle à cheveux, fonctionnait à la température de couleur de l'étalon primaire, tandis que l'autre groupe, dont le filament était en tungstène, fonctionnait à une température de couleur de 2360° K (approximativement).

9. MÉTHODE DE COMPARAISON.

Les lampes ont été comparées respectivement aux deux groupes de lampes qui avaient été préparés par le National Physical Laboratory, et utilisés pour les comparaisons des lampes envoyées par le National Bureau of Standards et la Physikalisch-Technische Reichsanstalt (voir pp. P 50 et P 51). La méthode de comparaison était celle qui a été décrite au paragraphe 4 du Rapport principal (p. P 52). Pendant les mesures, on maintenait entre les contacts des lampes un potentiel défini (voir colonne 2. des Tableaux VI et VII), et l'on procédait à des mesures de courant, pendant la période occupée par les pointés photométriques. Les valeurs de l'intensité lumineuse données dans les Tableaux VI et VII pour les lampes individuelles sont exprimées en fonction de l'intensité *moyenne* du groupe du N. P. L. marchant à la même température de couleur.

10. RÉSULTATS DES COMPARAISONS (L. C. È.).

a. Température de couleur la plus basse.

TABLEAU VI.

Six lampes à filament de carbone envoyées par le Laboratoire Central d'Électricité.

Numéro de la lampe.	Volts (fixés).	Bougies nouvelles (dans la direction spécifiée).		Rapport des unités	Ampères		Différence L. C. E. — N. P. L. (ampères %).
		L. C. E.	N. P. L.	L. C. E. N. P. L.	L. C. E.	N. P. L.	
C. 87.....	97,10	16,1	16,13	1,0019	0,7526	0,7525	+0,01
C. 89.....	99,65	16,65	16,72	1,0042	0,7418	0,7416	+0,03
C. 96.....	98,66	15,8	15,96	1,0101	0,7415	0,7414	+0,01
C. 100.....	97,54	15,4	15,49	1,0058	0,7371	0,7369	+0,03
C. 101.....	96,06	15,7	15,70	1,0000	0,7435	0,7434	+0,01
C. 104.....	98,35	16,85	16,92	1,0042	0,7497	0,7496	+0,01
				1,0044			+0,02

— P. 286 —

11. RÉSULTATS DES COMPARAISONS (L. C. E.).

b. Température de couleur la plus élevée.

TABLEAU VII.

Six lampes à filament de tungstène envoyées par le Laboratoire Central d'Électricité.

Numéro de la lampe.	Volts (fixés).	Bougies nouvelles (dans la direction spécifiée).		Rapport des unités L. C. E. N. P. L.	Ampères		Différence L. C. E. — N. P. L. (ampères %).
		L. C. E.	N. P. L.		L. C. E.	N. P. L.	
W. J. 70.....	115,4	30,4	30,28	0,9961	0,3220	0,3222	—0,06
W. J. 75.....	115,0	29,95	29,74	0,9930	0,3215	0,3215	0,00
W. J. 76.....	114,8	29,95	29,86	0,9970	0,3228	0,3230	—0,06
W. J. 78.....	115,5	29,95	29,84	0,9963	0,3187	0,3189	—0,06
W. J. 81.....	114,5	29,95	29,83	0,9960	0,3209	0,3210	—0,03
W. J. 86.....	115,8	30,5	30,32	0,9941	0,3213	0,3217	—0,12
				<u>0,9954</u>			<u>—0,06</u>

Les valeurs de l'intensité lumineuse, du potentiel et de l'intensité de courant indiquées par le L. C. E. dans les colonnes 3, 2 et 6 respectivement des Tableaux VI et VII sont celles qui figurent sur les certificats reçus en même temps que les lampes et reproduits dans les Appendices à la fin de ce Rapport.

12. RÉSUMÉ GÉNÉRAL.

Le tableau suivant donne, pour chaque température de couleur, la valeur relative de la bougie nouvelle, telle qu'elle a été réalisée dans chacun des quatre Laboratoires, la moyenne des quatre valeurs étant prise comme unité dans chaque cas.

TABLEAU VIII.

Laboratoire.	Valeur relative de la bougie nouvelle.	
	Temp. de couleur la plus basse (2046° K).	Temp. de couleur la plus élevée (2360° K).
N. B. S.....	0,9982	1,0015
P. T. R.....	0,9956	0,9952
L. C. E.....	1,0053	0,9993
N. P. L.....	1,0009	1,0040

En considérant ces résultats, il est intéressant de noter que les valeurs de l'écart quadratique moyen, calculé séparément pour les lampes de chacun des huit groupes s'échelonnent de 0,0010 à 0,0078.

Appendices.

NATIONAL BUREAU OF STANDARDS.

CERTIFICAT

DE

SIX LAMPES A FILAMENT DE CARBONE

SOUMISES AU NATIONAL PHYSICAL LABORATORY
POUR COMPARAISON.

Ces lampes, lorsqu'elles sont alimentées au voltage spécifié, fonctionnent à une couleur identique à celle du corps noir au

platine. Les valeurs données ont été obtenues par la comparaison de ces lampes à un groupe de huit lampes qui ont été étalonnées directement par rapport au corps noir au platine.

Les lampes doivent être orientées de telle sorte que le plan passant par les deux traits gravés sur les côtés opposés de l'ampoule soit parallèle à l'axe du photomètre, le trait qui est accompagné d'un cercle gravé étant tourné du côté opposé à l'écran photométrique.

Lampe n°	Volts.	Ampères.	Bougies nouvelles (dans la direction spécifiée).
B. S. 5492.....	37,1	1,5364	12,34
B. S. 5493.....	37,0	1,5963	12,41
B. S. 5495.....	36,8	1,5394	12,71
B. S. 5496.....	37,15	1,5793	12,62
B. S. 5497.....	37,8	1,5506	12,52
B. S. 5499.....	36,3	1,5288	12,40

(12 mars 1938).

NATIONAL BUREAU OF STANDARDS.

CERTIFICAT

DE

SIX LAMPES A FILAMENT DE TUNGSTÈNE DANS LE VIDE

SOUMISES AU NATIONAL PHYSICAL LABORATORY
POUR COMPARAISON.

Ces lampes, lorsqu'elles sont alimentées au voltage spécifié, fonctionnent à une température de couleur de 2360°K. Les valeurs données ont été obtenues par la comparaison de ces lampes à un groupe de huit lampes qui ont été étalonnées directement par rapport au corps noir au platine.

Un filtre de verre bleu, désigné par 15130, a été utilisé pour obtenir l'égalisation de la sensation de couleur. Le verre 15130 avait été comparé aux quatre filtres de la série R-28, au cours du travail international sur ces filtres. Le facteur utilisé pour 15130 avait été obtenu dans ce travail, et est fondé sur la moyenne adoptée pour les quatre filtres R-28. On a fait des corrections

pour tenir compte des réflexions multiples et du changement de chemin optique qui résultent de l'usage du filtre.

Les lampes étaient mises en rotation pendant la mesure afin de fournir l'intensité horizontale moyenne.

Lampe n°	Volts.	Ampères.	Bougies nouvelles (moyenne horizontale).
B. S. 4923.....	98,6	0,3437	23,76
B. S. 4924.....	98,3	0,3464	23,72
B. S. 4925.....	97,3	0,3524	24,23
B. S. 4927.....	99,6	0,3383	23,66
B. S. 4930.....	100,1	0,3341	23,74
B. S. 4931.....	100,1	0,3379	24,13

(12 mars 1938).

PHYSIKALISCH-TECHNISCHE REICHSANSTALT.

SECTION III (Chaleur et Pression).

CERTIFICAT

DE

DEUX GROUPES DE LAMPES PHOTOMÉTRIQUES.

Rapport sur la détermination de deux groupes, comportant chacun six lampes photométriques à filament de tungstène dans le vide et à ampoule oblique sans réflexions, par rapport au rayonnement du corps noir au point de solidification du platine, constituant l'étalon primaire pour la nouvelle unité lumineuse.

(La méthode de mesure et le montage correspondent en substance à ceux qui ont été décrits déjà auparavant par les autres Laboratoires nationaux. Une communication détaillée sur le dispositif de mesure allemand est en préparation.)

1^{er} Groupe de lampes.

Le rayonnement de ces six lampes a, pour l'intensité de courant utilisée, à peu près la température de couleur de l'étalon primaire. Pendant la comparaison de ces lampes, existait donc pratiquement une égalité de couleur dans le champ photo-

métrique, sans interposition de filtre coloré. Les lampes ont été mesurées debout, la partie verticale de la paroi de l'ampoule étant tournée vers le photomètre. Le plan du filament incandescent était perpendiculaire à la ligne qui joint la lampe au photomètre. La distance du plan du filament au plan de l'écran récepteur du photomètre était de 383^{cm}. Les lampes ont été chauffées par leur courant d'alimentation normal pendant plusieurs minutes avant le commencement des mesures. L'intensité lumineuse a été évaluée à courant constant; simultanément on mesurait la chute de tension dans la lampe.

Résultats.

Numéro de la lampe.	Courant (ampères).	Tension (volts).	Intensité lumineuse (bougies nouvelles).
1.....	0,86282	31,29	6,95
2.....	0,86282	31,22	6,83
3.....	0,86282	31,34	6,94
9.....	0,86282	31,30	6,99
14.....	0,86281	31,20	6,70
17.....	0,86281	31,20	6,80

2^e Groupe de lampes.

Ces six lampes ont été mesurées à une température de couleur d'environ 2360°K. Pour rétablir l'égalité de couleur dans le champ photométrique, on a placé, devant la lampe tare photométrique et devant l'étalon primaire, un filtre bleu au cobalt. La distance du plan du filament au plan de l'écran récepteur du photomètre était de 230^{cm},73. Pour le reste on a opéré comme pour le 1^{er} groupe.

Résultats.

Numéro de la lampe.	Courant (ampères).	Tension (volts).	Intensité lumineuse (bougies nouvelles).
3.....	1,10813	47,92	33,31
6.....	1,08791	46,21	30,79
16.....	1,08635	46,47	30,15
20.....	1,08725	46,42	31,27
21.....	1,07300	45,40	29,07
22.....	1,07011	45,48	27,49

(31 octobre 1938).

LABORATOIRE CENTRAL D'ÉLECTRICITÉ.

CERTIFICAT

DE

LAMPES ÉTALONS SECONDAIRES
D'INTENSITÉ LUMINEUSE A FILAMENT DE CARBONE.

La différence de potentiel aux bornes de ces lampes a été déterminée de façon que la température de couleur fût de 2046 degrés absolus:

Désignation de la lampe.	Différence de potentiel (volts).	Intensité du courant (ampères).	Intensité lumineuse (bougies nouvelles).
C. 87.....	97,10	0,7526	16,1
C. 89.....	99,65	0,7418	16,65
C. 96.....	98,66	0,7415	15,8
C. 100.....	97,54	0,7371	15,4
C. 101.....	96,06	0,7435	15,7
C. 104.....	98,35	0,7497	16,85

La détermination de la bougie nouvelle a été effectuée en admettant que la brillance du corps noir à la température de solidification du platine est de 60 bougies nouvelles par centimètre carré et de 58,74 bougies internationales par centimètre carré, tel que cela résulte des mesures effectuées par le Laboratoire Central d'Électricité (*P.-V. du Com. int. des Poids et Mesures*, 1933, p. 270).

(1^{er} mars 1939).

LABORATOIRE CENTRAL D'ÉLECTRICITÉ.

CERTIFICAT

DE

**LAMPES ÉTALONS SECONDAIRES
D'INTENSITÉ LUMINEUSE A FILAMENT DE TUNGSTÈNE.**

La différence de potentiel aux bornes de ces lampes a été déterminée de façon que la température de couleur fût de 2360 degrés absolus.

L'intensité lumineuse a été déterminée en fonction de celle de lampes à filament de carbone, à la température de couleur de 2046 degrés absolus.

Cette détermination était effectuée au moyen du verre bleu étalon R2-28, en admettant un facteur de transmission total de 0,5240.

Désignation de la lampe.	Différence de potentiel (volts).	Intensité du courant (ampères).	Intensité lumineuse (bougies nouvelles).
W. J. 70.....	115,4	0,3220	30,4
W. J. 73.....	115,0	0,3215	29,95
W. J. 76.....	114,8	0,3228	29,95
W. J. 78.....	115,5	0,3187	29,95
W. J. 81.....	114,5	0,3209	29,95
W. J. 86.....	115,8	0,3213	30,5

(1^{er} mars 1939).

ANNEXE P 6.

National Physical Laboratory.

INTERCOMPARAISON DES LAMPES

II

RAPPORT DU FLUX LUMINEUX

A

L'INTENSITÉ LUMINEUSE.

1. INTRODUCTION.

A la réunion du Comité consultatif de Photométrie tenue en juin 1937, la résolution suivante a été adoptée (*Proc.-Verb., Com. int. Poids et Mesures*, 1937, p. 240) :

« Par une légère modification au troisième vœu voté par le Comité international dans sa session de 1933 (*Procès-Verbaux*, pp. 66 et 165), le Comité consultatif demande aux Laboratoires nationaux de déterminer, pour trois lampes au tungstène dans le vide, le rapport entre l'intensité lumineuse dans une direction spécifiée et l'intensité moyenne sphérique; et il les prie d'envoyer ces lampes au National Physical Laboratory avant le 1^{er} avril 1938 ».

Cette résolution a été ensuite approuvée par le Comité international des Poids et Mesures (*Procès-Verbaux*, 1937, p. 64), et, conformément à celle-ci, des groupes de 3 lampes ont été envoyés au National Physical Laboratory par le National Bureau of Standards, l'Electrotechnical Laboratory, Tokio, et la Physikalisch-Technische Reichsanstalt. Les certificats reçus avec les lampes sont reproduits dans les Appendices à la fin de ce Rapport.

2. DESCRIPTION DES LAMPES.

Toutes les lampes, y compris les trois lampes préparées par le National Physical Laboratory pour ce travail, étaient des lampes à filament de tungstène dans le vide, le filament étant dans chaque cas en forme de *cage d'écureuil*, l'axe de la cage d'écureuil étant en coïncidence approximative avec l'axe géométrique de la lampe. Il y avait une différence considérable (plus de 100° K), entre les températures de couleur auxquelles fonctionnaient les lampes des différents Laboratoires.

3. MÉTHODE DE COMPARAISON.

Les lampes reçues des divers Laboratoires ont été comparées les unes aux autres : (*a*) pour l'intensité lumineuse, et (*b*) pour le débit de flux lumineux.

Les comparaisons (*a*) ont été faites sur un banc photométrique avec un photomètre de Lummer-Brodhun du type usuel, dont le champ mesurait approximativement 10° en diamètre. L'éclaircissement de l'écran photométrique était d'environ 10 lux. Dans le cas des lampes du National Bureau of Standards et de l'Electrotechnical Laboratory, Tokio, chaque lampe était placée avec le culot en haut et était alignée au moyen de repères gravés sur l'ampoule. Dans le cas des lampes du National Physical Laboratory et de celles qui provenaient de la Physicalisch-Technische Reichsanstalt, chaque lampe était mise en rotation, le culot en haut, à la vitesse minimum nécessaire pour éviter un papillotement nuisible.

Les comparaisons (*b*) ont été faites dans une sphère d'Ulbricht, de 1 mètre de diamètre, les lampes étant placées au centre de la sphère avec le culot en haut. Ces comparaisons ont été faites par mesures photoélectriques.

Résultats. — Les résultats obtenus dans les deux groupes de comparaisons ont été utilisés pour montrer la valeur relative du lumen, déduite dans chaque Laboratoire, *en supposant que la bougie a la même valeur dans tous les Laboratoires.*

Dans le Tableau I, la colonne (5) donne l'intensité lumineuse relative des lampes, telle qu'elle résulte de la comparaison (*a*),

TABLEAU I.

Lampes (1).	Volts (fixés) (2).	Ampères		Intensité luminéuse relative (5).	Flux relatif		(7) (6) (8).	Moyenne relative (9).
		indiqués (3).	N. P. L. (4).		calculé (6).	mesuré (7).		
N. B. S.								
3218.....	100,0	0,4939	0,4937	39,75	400,0	402,5	1,006	
3219.....	100,0	0,4939	0,4939	41,98	403,0	404,1	1,003	1,001
3222.....	100,0	0,4898	0,4898	39,70	387,5	389,3	1,005	
P. T. R.								
2682 <i>a.</i>	110,0	0,3674	0,3674	37,79	384,3	389,6	1,014	
2682 <i>b.</i>	110,0	0,3674	0,3675	38,39	389,3	393,9	1,012	1,010
2682 <i>c.</i>	110,0	0,3669	0,3668	38,25	386,8	392,7	1,015	
E. T. L.								
3.....	93,0	0,4951	0,4950	31,83	307,1	307,6	1,002	
6.....	93,0	0,4948	0,4948	31,56	306,2	304,7	0,995	0,994
8.....	93,0	0,4954	0,4953	32,02	308,8	307,7	0,996	
N. P. L.								
106 H.....	218,0	-	0,2658	51,62	507,0	506,0	0,998	
106 Q.....	222,0	-	0,2676	53,27	525,4	523,7	0,997	0,994
106 Y.....	220,0	-	0,2678	52,82	521,2	520,3	0,998	

l'unité étant approximativement (mais non exactement) 1 bougie. Les nombres de la colonne (6) ont été déduits de ceux de la colonne (5) en multipliant chacun d'eux par le facteur de réduction sphérique approprié donné par le Laboratoire en question, et en multipliant le résultat par 4π . La colonne (7) donne la valeur relative du flux lumineux des lampes, trouvée au cours de la comparaison (b), l'unité étant *approximativement* 1 lumen.

On a obtenu les nombres de la colonne (8) en divisant les nombres de la colonne (7) par ceux de la colonne (6). La moyenne des nombres de la colonne (8) est 1,0034, et l'on a obtenu les nombres de la colonne (9) en prenant d'abord la moyenne des trois nombres qui figurent dans la colonne (8) pour les lampes provenant de chaque Laboratoire, et en divisant ensuite cette moyenne par 1,0034. Ainsi les nombres de la colonne (9) montrent la valeur relative de l'unité de flux lumineux, le lumen, des différents Laboratoires, fondée sur : 1° la même valeur de la bougie pour toutes les comparaisons, et 2° pour le lumen une valeur moyenne de l'unité telle qu'elle a été obtenue dans l'ensemble des Laboratoires.

Appendices.

NATIONAL BUREAU OF STANDARDS.

CERTIFICAT

DE

TROIS LAMPES A FILAMENT DE TUNGSTÈNE
DANS LE VIDE

SOUMISES AU NATIONAL PHYSICAL LABORATORY
POUR COMPARAISONS.

Pour ces lampes, on a déterminé le rapport entre l'intensité lumineuse dans une direction spécifiée et l'intensité moyenne sphérique. Ce travail a été divisé en deux parties : (A) détermination du rapport entre l'intensité moyenne sphérique et l'inten-

sité moyenne horizontale et (B) détermination du rapport entre l'intensité dans une direction et l'intensité moyenne horizontale. Le procédé habituel consiste à faire usage de la détermination A (en employant l'appareil photométrique destiné à la mesure de la distribution spatiale et en faisant tourner la lampe). Afin de permettre la comparaison du présent travail avec les travaux antérieurs, on a effectué la détermination des facteurs par les deux moyens; le facteur de réduction habituel relatif à l'intensité moyenne sphérique est, pour cette raison, donné en plus du rapport demandé par le Comité international des Poids et Mesures.

Pour obtenir les valeurs de l'intensité dans une direction, on oriente les lampes de telle sorte que le plan passant par les deux traits gravés sur deux côtés opposés de l'ampoule soit parallèle à l'axe du banc photométrique, le trait qui est accompagné d'un cercle gravé sur lui étant tourné du côté opposé à l'écran photométrique.

Lampe n°	Volts.	Ampères.	Facteur	Rapport
			de réduction I_d/I_h	I_d/I_s
B. S. 3218...	100,0	0,4939	0,7905	1,2487
B. S. 3219...	100,0	0,4939	0,7904	1,3090
B. S. 3222...	100,0	0,4898	0,7944	1,2874

(12 mars 1938).

PHYSIKALISCH-TECHNISCHE REICHSANSTALT.

(Extrait d'une lettre).

On a déterminé pour ces lampes le rapport $\frac{J_0}{J_h}$. J_0 désigne l'intensité lumineuse moyenne sphérique et J_h l'intensité moyenne perpendiculaire à l'axe de la lampe. Pendant les mesures photométriques, les lampes étaient suspendues (le culot en haut). Les valeurs obtenues sont rassemblées dans le tableau suivant :

Désignation de la lampe.	Tension en volts.	Intensité de courant en ampères.	$\frac{J_0}{J_h}$
P. T. R. 2682 a 1938...	110,00	0,3674	0,8092
P. T. R. 2682 b 1938...	110,00	0,3674	0,8070
P. T. R. 2682 c 1938...	110,00	0,3669	0,8048

(12 mars 1938).

ELECTROTECHNICAL LABORATORY
(Tokio).

Résultats d'étalonnage
de trois lampes à filament de tungstène dans le vide. Nos 3, 6 et 8.

N° de la lampe.	Voltage appliqué.	Courant.	Intensité lumineuse (bougies)		Rapport $\frac{(II)}{(I)}$
			dans la direction marquée (↑) (I).	moyenne sphérique (II).	
3....	93 V	0,4951	31,80	24,41	0,7677
6....	93	0,4948	31,43	24,27	0,7720
8....	93	0,4954	31,82	24,42	0,7674

(17 mai 1938).

ANNEXE P 7.

Bureau international des Poids et Mesures.

INSTALLATIONS PHOTOMÉTRIQUES
DU BUREAU INTERNATIONAL.

Par M. J. TERRIEN.

La mission immédiate du Bureau international des Poids et Mesures est de comparer les intensités lumineuses de lampes étalons fonctionnant à la même température de couleur; ses installations ont été conçues dans ce but. On a aménagé pour cela l'une des deux salles du sous-sol (ouvertures d'aération, chauffage au gaz, peinture noire, etc.).

Nous nous sommes documentés auprès des laboratoires spécialisés les plus proches, à Paris et à Teddington; et nous remercions tous ceux qui ont bien voulu nous faire bénéficier de leur expérience. De plus, à la suite d'une lettre que nous avons envoyée aux grands Laboratoires nationaux représentés au Comité consultatif de Photométrie, plusieurs d'entre eux ont répondu par des suggestions dont il a été tenu compte.

L'appareillage pour les mesures d'intensité est à peu près au complet. Sa description peut être très rapide; car on a simplement imité, avec des modifications de détail, les installations déjà réalisées dans les grands Laboratoires de Photométrie.

Alimentation électrique des lampes. — On dispose de deux batteries d'accumulateurs comprenant chacune 64 éléments au plomb ayant une capacité de 120 ampères-heure. Le courant est réglé au moyen de deux gros rhéostats, dont tous les contacts frottants sont très bons; ces contacts se produisent entre balais et plots; leur étude, qui a même en partie précédé la commande, a donné d'excellents résultats. Pour terminer le réglage, on agit sur des rhéostats à lames de graphite placés en série dans le circuit.

Mesures électriques. — Un potentiomètre de bonne qualité sert pour la mesure des grandeurs électriques suivantes :

1° La différence de potentiel aux bornes de chaque lampe; préalablement ramenée au centième de sa valeur au moyen d'un réducteur de tension.

2° L'intensité du courant qui traverse chaque lampe et également un ohm étalon inséré dans chaque circuit.

Les dessins des réducteurs de tension et du potentiomètre ont été établis en collaboration avec M. Romanowski; on a cherché surtout à rendre possible un étalonnage exact de ces appareils et un calcul facile des corrections à appliquer aux lectures.

Mesures des distances. — Les lampes et le photomètre sont montés sur des chariots qui roulent sur un banc de 4^m,50 de long; Les chemins de roulement sont des tubes en métal inoxydable ayant environ 8^{cm} de diamètre; ils sont donc très rigides, et cette qualité a été recherchée également pour tout le montage. L'alignement est obtenu d'abord au moyen des organes de réglage situés sur les quatre piliers en ciment qui supportent le banc, puis par des retouches locales des chemins de roulement. Les chariots portent tous les accessoires nécessaires pour la mise en place exacte des lampes. La position des chariots est repérée par un index qui se déplace devant une règle divisée; mais pour des raisons de commodité, et surtout afin d'éviter l'erreur de parallaxe, la lecture ne se fait pas directement : on observe une image réelle de l'index et de la règle sur un verre dépoli, avec un grossissement égal à deux.

Les précautions prises doivent rendre négligeables les erreurs des mesures électriques et géométriques. La précision doit être par conséquent limitée par la mesure photométrique elle-même ou par la nature des étalons.

Notons que le Bureau international a acquis un photomètre de Lummer et Brodhun, du type courant à grand champ, présentant deux plages en trapèze, avec un contraste normal de 8 %; la bonne qualité de cet instrument a été reconnue.

L'étude détaillée de tous ces appareils, de leurs défauts et des corrections ou améliorations possibles est en cours; mais des mesures d'essai ont montré que l'installation, dans son ensemble, donne dès maintenant des résultats corrects.



ANNEXE P 8.

National Physical Laboratory

PROPOSITION DE RÉSOLUTION

CONCERNANT

LES UNITÉS PHOTOMÉTRIQUES (1)

SUGGÉRÉE EN VUE DE SON ADOPTION

PAR LE COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES.

1° *La situation actuelle.* — A l'heure actuelle, les unités d'intensité lumineuse en usage dans les différents pays sont fondées sur des étalons à flamme ou sur les valeurs assignées à certaines lampes électriques à filament incandescent, conservées dans les Laboratoires nationaux. La France, la Grande-Bretagne et les États-Unis d'Amérique se sont mis d'accord en 1909 pour adopter une unité commune, qui fut par la suite, adoptée dans certains autres pays. Bien des projets ont été proposés, en vue d'établir une unité qui serait fondée sur une source-étalon primaire, c'est-à-dire reproductible au moyen de certaines spécifications. Cependant ce n'est que dans ces dernières années qu'un tel étalon s'est montré pratiquement réalisable.

2° *L'étalon primaire.* — Cet étalon, adopté en principe par le Comité international des Poids et Mesures en 1930 et en 1933, est un radiateur de Planck (corps noir) à la température de

(1) Ce document, accompagné d'une proposition analogue concernant les unités électriques, a été transmis avec une lettre d'envoi publiée en annexe des Procès-Verbaux du Comité consultatif d'Électricité (voir Annexe E 11).

solidification du platine, et la valeur de l'unité d'intensité lumineuse (adoptée en 1937) est telle que la brillance de l'étalon soit de 60 unités par centimètre carré. La forme sous laquelle cet étalon est réalisé actuellement, est dans ses traits essentiels, celle qui a été conçue par le National Bureau of Standards à Washington, et qui se trouve décrite dans les Procès-Verbaux du Comité international des Poids et Mesures de 1931 (p. 249). La couleur de la lumière fournie par l'étalon ne diffère pas sensiblement de celle qui est émise par les étalons à flamme et les lampes à filament dont il est question au paragraphe 1^o.

3^o *Mesure des sources lumineuses ayant une température de couleur autre que celle de l'étalon primaire.* — Les sources lumineuses modernes (même si l'on met à part celles qui présentent une coloration marquée) ont une température de couleur beaucoup plus élevée que l'étalon primaire, et il est par conséquent nécessaire de définir le procédé suivant lequel ces sources doivent être évaluées. La méthode approuvée par le Comité international des Poids et Mesures en 1937 consiste à utiliser un filtre coloré qui, intercalé entre l'étalon primaire et le photomètre, donne une couleur comparable à celle de la lumière à mesurer. Le facteur de transmission de ce filtre est déterminé à partir de sa courbe de transmission spectrale au moyen des facteurs de luminosité adoptés en 1933 par le Comité international des Poids et Mesures, et reproduits dans les Procès-Verbaux p. 62.

4^o *Définition des unités.* — Les unités photométriques peuvent être définies comme suit :

I. *La bougie nouvelle (unité d'intensité lumineuse).*

La bougie nouvelle est l'unité d'intensité lumineuse, et sa grandeur est telle que la brillance du radiateur intégral à la température de solidification du platine est de 60 bougies nouvelles par centimètre carré.

II. *Le lumen nouveau (unité de flux lumineux).*

Le lumen nouveau est le flux lumineux émis dans l'angle solide unité par une source ponctuelle uniforme ayant une intensité lumineuse d'une bougie nouvelle.

5° *Réalisation pratique des unités.* — Bien qu'il soit possible de réaliser l'étalon primaire à tout instant et dans tout laboratoire possédant l'appareillage nécessaire, pour la plupart des buts pratiques, les étalons de référence seront des lampes étalons secondaires à filament de carbone ou de tungstène, lampes dont les valeurs auront été déterminées par rapport à l'étalon primaire. La précision des comparaisons de ces lampes entre elles est plus élevée que la précision avec laquelle on peut reproduire actuellement l'étalon primaire.

Des lampes étalons secondaires de ce type seront conservées dans les divers Laboratoires nationaux et au Bureau international des Poids et Mesures. Les valeurs attribuées à ces étalons secondaires seront déterminées par rapport à l'étalon primaire, soit par comparaison directe dans un ou plusieurs des principaux Laboratoires nationaux, soit indirectement par intercomparaison avec d'autres lampes similaires dont les valeurs auront été déterminées de cette façon. Ainsi, les valeurs assignées aux étalons secondaires conservés au Bureau international et dans chacun des Laboratoires nationaux seront exprimées au moyen de l'unité moyenne, telle qu'elle aura été déterminée dans tous les Laboratoires où l'étalon primaire aura été réalisé.

On procédera d'une façon analogue dans le cas des lampes fonctionnant à une température de couleur plus élevée que l'étalon primaire, ainsi que pour la réalisation du lumen à partir de la bougie.



ANNEXE P 9.

Laboratoire électrotechnique, Tokio.

PROPOSITIONS

DU

LABORATOIRE ÉLECTROTECHNIQUE.

Proposition I. — A. Le Laboratoire Électrotechnique a déterminé la brillance du corps noir à la température de solidification du platine, et le résultat suivant a été obtenu (*voir Annexe P 2, p. P 41*)

59, 60 bougies du Laboratoire Électrotechnique
par centimètre carré.

La bougie du Laboratoire Électrotechnique est, comme il est indiqué dans l'annexe P 2, un peu plus petite que celles du National Physical Laboratory et du National Bureau of Standards d'environ 1 pour 100. Le résultat des expériences faites au Laboratoire Électrotechnique est donc voisin de ceux obtenus en Angleterre et aux États-Unis d'Amérique. Lors de ces expériences; nous avons constaté que l'étalon primaire d'intensité lumineuse défini par le corps noir possède une haute reproductibilité.

B. Les comparaisons internationales d'un groupe d'étalons fonctionnant à la température de couleur de solidification du platine et d'un groupe d'étalons fonctionnant à la température de 2360°K ont été faites au National Physical Laboratory d'Angleterre. Si nous admettons que l'unité d'intensité lumineuse d'un pays quelconque est 1, on peut obtenir, des résultats des comparaisons internationales mentionnées plus haut, les rapports des unités d'intensité lumineuse de tous les autres pays à l'unité de

ce pays supposée comme fondamentale et, ensuite, obtenir la moyenne de tous les rapports.

Pour unifier la bougie nouvelle, le Laboratoire Électrotechnique pense que chaque Laboratoire national devra modifier son unité d'intensité lumineuse d'une quantité égale à l'écart entre sa valeur et la moyenne indiquée plus haut. Pour l'unité de flux lumineux, la même procédure devrait être suivie.

Proposition II. — A. Dès que l'unité photométrique sera unifiée internationalement, le Laboratoire Électrotechnique pense que chaque Laboratoire national devra présenter au Bureau international, tous les deux ans, des lampes étalons photométriques calibrées par lui-même, afin de participer à des comparaisons internationales destinées à maintenir l'unité photométrique. Le type et le nombre des lampes étalons photométriques qui seraient employés dans ce but pourraient, provisoirement, être les mêmes que ceux prévus par la résolution 2 prise par le Comité consultatif de Photométrie de 1937.

B. Il doit être convenu que chaque Laboratoire national redétermine, tous les six ans, l'unité d'intensité lumineuse d'après la brillance du corps noir à la température de solidification du platine, et que, comme pour les unités électriques, chaque Laboratoire national puisse modifier son unité photométrique selon les décisions que pourrait prendre à ce sujet la Conférence générale qui se réunit précisément tous les six ans.

Proposition III. — Le Laboratoire Électrotechnique désire que les définitions fondamentales indiquées ci-dessous soient mises au point par le Comité consultatif de Photométrie, puis acceptées officiellement par la Neuvième Conférence générale des Poids et Mesures, afin que les lois et règlement concernant les unités photométriques puissent être modifiés en conséquence :

1. L'unité d'intensité lumineuse est la « bougie » et l'unité de flux lumineux est le « lumen ».

2. La « bougie » est telle que la brillance du corps noir à la température de solidification du platine est de 60 bougies par centimètre carré. La valeur d'intensité lumineuse de la source lumineuse ayant une autre couleur que la couleur de l'étalon primaire d'intensité lumineuse est déterminée par un procédé

qui prenne en considération la courbe des facteurs de visibilité choisie par le Comité international des Poids et Mesures.

3. Le « lumen » est égal au flux émis dans l'angle solide unité par une source ponctuelle uniforme de une « bougie ».

Proposition IV. — Le Laboratoire Électrotechnique désire que le Comité consultatif de Photométrie se réunisse, comme par le passé, en même temps que le Comité consultatif d'Électricité.

Proposition V. — A. Pour établir l'unité d'intensité lumineuse de la lampe au tungstène incandescent ayant une autre couleur que celle de l'étalon primaire, la sélection des verres bleus est très importante; et par conséquent, la comparaison internationale de ces verres doit être encore faite rigoureusement. Le Laboratoire Électrotechnique désire, de plus, que les dispositions nécessaires soient prises pour commencer l'unification internationale de l'unité d'intensité lumineuse à la température de couleur voisine de 2800°K .

B. Le Laboratoire Électrotechnique désire qu'un échange de vues ait lieu entre les Laboratoires qui se sont occupés de la photométrie hétérochrome des sources lumineuses non incandescentes telles que les lampes à décharge. Il demande, de plus, que les dispositions nécessaires soient prises pour commencer l'unification internationale des unités d'intensité lumineuse et de flux lumineux s'appliquant à de telles sources de lumière.



ANNEXE P 10

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

SUR LA DÉFINITION
DE
L'UNITÉ PHOTOMÉTRIQUE FONDAMENTALE
EN VUE
DE L'ADOPTION D'UN NOUVEL ÉTALON DE LUMIÈRE

Par M. P. M. TIKHODEEV.

(Cette Note, parue intégralement dans *les Publications de l'Institut de Métrologie*, 1939, est résumée ci-dessous.)

Les unités photométriques rendues obligatoires dans l'U. R. S. S. dès 1925 sont basées sur le flux lumineux considéré comme grandeur fondamentale. On a les définitions suivantes :

« *Lumen*, flux lumineux, dont la valeur exacte est déterminée
« d'après les lampes-étalons à filament incandescent, vérifiées et
« conservées à l'Institut de Métrologie ».

« *Bougie internationale*, intensité lumineuse d'une source
« ponctuelle dans les directions dans lesquelles elle émet un flux
« lumineux de 1 lumen réparti uniformément dans un angle solide
« de 1 stéradian. Cette unité a été adoptée par les conventions
« internationales ».

« *Stilb*, brillance d'une surface plane rayonnant uniformément
« en tous ses points dans une direction qui lui est perpendiculaire,
« cette surface ayant dans la même direction une intensité lumi-
« neuse de 1 bougie internationale par centimètre carré ».

La définition de la bougie nouvelle proposée par le Comité consultatif ne peut pas, dans sa rédaction actuelle, être adoptée pour la législation de l'U. R. S. S.

La relation entre les unités d'intensité lumineuse et de brillance devrait être indiquée d'une façon plus explicite, dans les décisions du Comité consultatif.

Il serait préférable de donner une dénomination tout à fait nouvelle à l'unité d'intensité lumineuse.

La définition la plus rationnelle de l'unité photométrique reliée au nouvel étalon de lumière, et appropriée aux besoins de la législation, est la définition suivante de l'unité de flux lumineux :

« L'unité de flux lumineux, *le lumen*, est le flux lumineux émis
« par un radiateur intégral, à la température de solidification du
« platine, d'une aire de $0\text{cm}^2,005305$ ».

ANNEXE P 11.

LETTRE

DU PROFESSEUR U. BORDONI

AU PRÉSIDENT DU COMITÉ CONSULTATIF DE PHOTOMÉTRIE.

(Extrait.)

Rome, le 6 juin 1939.

... J'ai lu la série des rapports très remarquables (et les annexes) compilés par le National Physical Laboratory, que vous avez eu l'amabilité de m'envoyer; et je pense qu'elle constitue une base bien satisfaisante pour les décisions du Comité consultatif de Photométrie, quoique l'accord entre les mesures à la température de couleur de 2360°K soit un peu moins bon que l'accord entre les mesures à 2046°K .

Je crois qu'il conviendra d'envisager, si telle est aussi l'opinion de nos collègues du Comité, l'opportunité de la répétition périodique (avec une fréquence raisonnable) des comparaisons entre l'étalon primaire et les étalons secondaires; car la possession d'un étalon primaire sûrement invariable dans le temps est d'une telle importance qu'il convient d'en tirer tous les avantages possibles au profit de ce que l'on peut attendre des mesures courantes; d'autre part, moyennant ces répétitions, l'on pourra aussi profiter (à l'égard des étalons fonctionnant à la température de couleur de 2360°K) des perfectionnements futurs éventuels de la technique des comparaisons entre sources lumineuses hétérochromes.

Ces perfectionnements, et les accords internationaux qui pourront en dériver, me paraissent d'autant plus souhaitables que la diffusion grandissante des lampes à électroluminescence permet

de prévoir que probablement, dans une époque prochaine, il faudra discuter le problème des comparaisons photométriques entre des sources lumineuses si hétérochromes et d'une composition spectrale si particulière, qu'il est très douteux que des méthodes du type soustractif, comme, par exemple, la méthode des filtres, puissent être encore employées avec avantage. Je laisse toutefois à vous, M. le Président, et à nos collègues du Comité, le soin de décider si ce problème paraît encore tout à fait prématuré



ANNEXE P 12.

Laboratoire électrotechnique, Tokio.

SUR

LA LAMPE-ÉTALON PHOTOMÉTRIQUE

Par M. ZIRO YAMAUTI.

Il va sans dire que les caractéristiques des lampes-étalons photométriques doivent être aussi constantes que possible.

Par conséquent, la lampe-étalon photométrique pour une direction spécifiée et la lampe-étalon de flux lumineux total maintenant employées par le Laboratoire Électrotechnique ont des caractéristiques spéciales, qui ont été réalisées par un manufacturier de lampes, d'après les indications que nous lui avons données.

Il est bien nécessaire de faire attention à la question du transport des lampes-étalons, parce qu'elles doivent souvent être transportées, pour obtenir l'unification internationale des unités photométriques. Nous exprimons nos opinions à ce sujet ainsi qu'il suit :

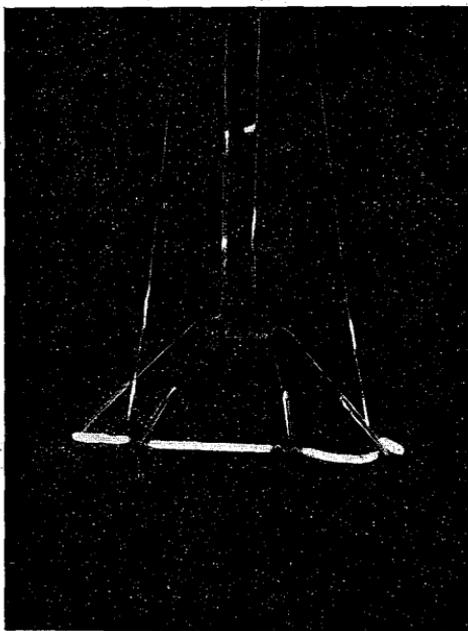
1. *Lampe-étalon pour une direction spécifiée.* — Pour la lampe-étalon dans une direction spécifiée, comme il a déjà été annoncé au Congrès international de l'Éclairage (1), tenu en 1931, le montage a été fait en forme rectangulaire afin que la répartition horizontale soit aussi uniforme que possible. C'était un grave défaut, en cas de transport, que la lourdeur du montage en verre; et en conséquence, nous employons maintenant un montage en alliage fer-nickel-cobalt.

(1) Z. YAMAUTI, *Proc. I. C. I.*, 1, 1931, p. 277.

De plus, le filament est soudé aux ancrés, pour que le contact des filaments avec les ancrés soit bien fixe.

Les résultats ainsi obtenus sont considérés comme excellents.

2. *Lampe-étalon de flux lumineux total.* — Pour que les caractéristiques de la lampe à filament de tungstène à atmosphère gazeuse soient constantes, nous avons soudé les bords



des petites spires de filament spécialement traitées aux ancrés voisines, comme il est indiqué dans la figure ci-dessus. Quand nous employons cette méthode, le filament reste toujours de même forme, et les résultats ainsi obtenus sont aussi excellents.





COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE

SESSION DE 1939.

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES,

RAPPORT ET ANNEXES.



PRÉSIDENT

du Comité international des Poids et Mesures :

M. LE SÉNATEUR V. VOLTERRA

LISTE DES MEMBRES

DU

COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE.

Président :

M. le Prof. D^r W. H. KEESOM, Directeur du Kamerlingh Onnes Laboratorium der Rijks-Universiteit, *Leiden*.

Membres et experts :

Pour la Physikalisch-Technische Reichsanstalt, *Berlin* :

M. le Prof. D^r F. HENNING, Directeur de l'Abteilung III 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. *Expert* :

M. J. A. HALL, Membre de ce Laboratoire.

Pour le Bureau des Longitudes, *Paris* : M. G. RIBAUD,
Professeur de Physique à la Sorbonne. *Expert* :
M. G. A. BOUTRY, Directeur du Laboratoire d'Essais
du Conservatoire National des Arts et Métiers.

Pour l'institution du Japon. *Observateur* : M. I. HAYASHI,
Ingénieur, Bureau du Ministère des Communi-
cations du Japon à Paris.

Pour l'Institut de Métrologie de l'U. R. S. S., *Leningrad* :
M. le Prof. G. KONDRATIEV, Chef du Laboratoire
thermométrique de l'Institut de Métrologie.

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

Invités :

M. H. ABRAHAM, Secrétaire de l'Union internationale de
Physique pure et appliquée, 45, rue d'Ulm, *Paris* (5°).

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

MM. M. ROUX, J. TERRIEN et N. CABRERA, Assistants du
Bureau international des Poids et Mesures.



COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE.

SESSION DE 1939.

PROCÈS-VERBAL

DE LA PREMIÈRE SÉANCE,

TENUE AU PAVILLON DE BRETEUIL,

le mardi 11 juillet 1939.

PRÉSIDENTE DE M. LE PROF. D^r W. H. KEESOM.

Sont présents : MM. B. CABRERA et FABRY, membres du Comité international des Poids et Mesures.

MM. CRITTENDEN, HAYASHI (observateur), HENNING, KONDRATIEV, PÉRARD, RIBAUD, SEARS, BOUTRY, HALL, membres du Comité consultatif et experts.

Assistent à la séance : MM. ABRAHAM, VOLET, ROUX, TERRIEN, N. CABRERA, invités.

La séance est ouverte à 15^h 10^m.

M. le PRÉSIDENT donne la parole à M. CABRERA qui fait part au Comité consultatif des vœux adressés par M. Volterra président du Comité international, malheureusement empêché par la maladie d'assister à cette session. Il souhaite la bienvenue aux membres du Comité consultatif de Thermométrie qui se réunit aujourd'hui pour la première fois; puis il rappelle l'origine de ce Comité et le but de ses travaux.

M. PÉRARD propose de nommer M. Volet comme secrétaire du Comité. Puis il montre l'intérêt qu'il y aurait à ce que les fonctions de rapporteur fussent remplies par un membre du Comité international des Poids et Mesures; il propose en conséquence de nommer M. Sears qui veut bien accepter. Ces nominations sont approuvées à l'unanimité.

M. PÉRARD rappelle que le règlement du Comité prévoit que celui-ci sera formé des représentants des six grands Laboratoires nationaux et de quatre spécialistes nommés par le Comité international après l'avis du Comité consultatif lui-même une fois constitué. Le Japon n'a pas d'organisme spécialisé dans la mesure des températures; son ambassade a délégué M. Hayashi pour assister aux séances en tant qu'observateur. Les quatre spécialistes n'ayant pas été jusqu'ici désignés, M. PÉRARD demande qu'une liste soit établie pour être proposée au Comité international. Il signale que parmi les pays non encore représentés, l'Italie tient la première place par le chiffre de sa population et que, dans ce pays, M. Pochettino est très vivement recommandé par MM. Bordoni et Lombardi. Comme spécialiste, M. Swietoslawski, qui est président de la Commission internationale des données physico-chimiques, de nationalité polonaise, peut aussi être proposé. En Belgique, M. Timmermans, secrétaire de la même Commission pourrait aussi apporter une contribution utile aux travaux du Comité. M. Pérard signale enfin que M. Nagaoka a recommandé M. Kinoshita comme spécialiste japonais.

M. le PRÉSIDENT propose, à la demande de M. Cabrera, la candidature de M. Palacios, physicien espagnol.

Après un échange de vues sur les titres des membres proposés et sur l'opportunité de leur nomination éventuelle, le Comité se range à l'avis de ne nommer que trois spécialistes.

Puis, sur une demande de M. PÉRARD, le Comité reconnaît que l'activité politique d'un savant ne saurait faire obstacle à sa nomination.

Il est finalement décidé, à l'unanimité, de proposer au Comité international, la nomination de MM. Pochettino, Swietoslowski et Timmermans.

THERMOMÉTRIE DES BASSES TEMPÉRATURES.

M. le PRÉSIDENT indique que le Comité de Thermométrie de l'Institut International du Froid s'est occupé, comme premier point de son programme, de la position du point de fusion de la glace dans l'échelle Kelvin. Le Comité a essayé de déterminer un nombre moyen, mais des difficultés provenaient de deux côtés : d'un côté il y avait des déterminations récentes d'origine japonaise dont on ne pouvait pas regarder la discussion comme définitive; d'un autre côté M. Beattie du Massachusetts Institute of Technology annonçait qu'il était sur le point de terminer une recherche très précise, dont le résultat provisoire indiquait un nombre sensiblement plus haut que les nombres dérivés des autres recherches qui viennent en considération.

Le Comité du Froid se propose de reprendre la question et de présenter à la prochaine session un rapport au Comité international des Poids et Mesures; mais le Président pense qu'il serait désirable de déterminer tout de suite une valeur à adopter provisoirement.

Il indique les nombres suivants comme susceptibles de fournir les bases de la discussion :

273,16.....	Berlin
273,144.....	Leyde
273,16.....	Roebuck
273,15.....	Kinoshita et Oishi
(273,16 à 273,17).....	Beattie

M. le PRÉSIDENT déclare avoir demandé à M. Beattie

s'il pouvait lui envoyer avant la présente séance un résultat définitif; par une lettre du 2 juin, M. Beattie a déclaré ne pouvoir encore donner un résultat précis. M. le Président propose donc d'adopter la valeur 273,15.

M. PÉRARD fait remarquer la discordance entre le résultat japonais tel qu'il est cité par M. Keesom et celui donné dans le Rapport du National Bureau of Standards.

M. le PRÉSIDENT cite une lettre de décembre 1938 de M. Kinoshita, où celui-ci déclare que ses dernières expériences lui donnent 273,15.

M. HALL demande si les travaux de Kinoshita sont terminés.

M. le PRÉSIDENT répond négativement; les seuls travaux vraiment terminés sont ceux de Leyde et de Berlin. Le travail de Roebuck n'est pas indépendant des précédents; car dans ses calculs à partir de l'effet Joule-Kelvin il a pris les coefficients d'expansion déterminés ailleurs.

M. HENNING remarque qu'il semble impossible d'atteindre le centième de degré, il ne pense pas, d'après les expériences faites à Berlin, qu'on puisse avoir mieux que deux ou trois centièmes; la moyenne des mesures de plusieurs années donne à Berlin 273,16; mais il est prêt à adopter 273,15, si tout le monde est d'accord.

M. le PRÉSIDENT propose la valeur

$$273,15 \pm 0,02;$$

mais estime que cette valeur doit être exacte à un centième de degré près.

M. CRITTENDEN pense comme M. Henning que 273,16 serait préférable; mais est d'accord pour adopter 273,15.

M. le PRÉSIDENT propose de prendre une résolution à porter comme amendement à la proposition du N. B. S.

M. PÉRARD lit le projet de résolution suivant :

« Le Comité consultatif de Thermométrie estime que, d'après les expériences actuellement terminées, la position la plus probable du point de fusion de la glace dans l'Échelle Kelvin est $273^{\circ},15$ avec une incertitude de $\pm 0,02$ degré.

« Au cas où l'on voudrait arrondir ce nombre, il conviendrait de prendre de préférence $273^{\circ},2$. »

M. KONDRATIEV objecte que la résolution donne la préférence du signe + et suggère de prendre alors $273,16$.

M. BOUTRY pense qu'il faut comprendre que la vraie valeur est entre $273,15$ et $273,16$.

M. FABRY ne voit pas la nécessité de recommander une valeur arrondie.

Le Comité est unanime à proposer la suppression de la deuxième phrase. La résolution est donc adoptée sous la forme suivante :

RÉSOLUTION I.

Le Comité consultatif de Thermométrie estime que, d'après les expériences actuellement terminées, la position la plus probable du point de fusion de la glace dans l'Échelle Kelvin est $273^{\circ},15$ avec une incertitude de $\pm 0,02$ degré.

APERÇU DE L'ÉTAT DE LA QUESTION DE L'ÉCHELLE THERMOMÉTRIQUE AU-DESSOUS DE -190° C.

M. le PRÉSIDENT rappelle que, dans le domaine des températures allant de -190 à -259° C, le thermomètre à résistance de platine a été l'objet d'examens très minutieux

à la Physikalisch-Technische Reichsanstalt et au Laboratoire Kamerlingh Onnes.

Une prescription comme celle qui définit l'échelle thermométrique internationale pour les températures plus hautes ne peut pas encore être proposée.

On a l'intention d'étudier le thermomètre en or, pour voir si la résistance de l'or ne serait pas, dans cette région, une fonction de la température moins compliquée que celle du platine.

La base de la thermométrie dans cette région de température est donc encore le thermomètre à hélium.

M. BOUTRY demande si l'on peut envisager l'utilisation de thermocouples pour les mesures des basses températures.

M. le PRÉSIDENT dit que l'on ne peut y songer pour constituer un thermomètre étalon.

PROPOSITION CONCERNANT LA DÉFINITION
DE L'ÉCHELLE THERMODYNAMIQUE ABSOLUE.

M. CRITTENDEN présente une proposition émanant du « Comité des Échelles des basses températures du National Research Council (États-Unis) », tendant à modifier la définition de l'échelle thermodynamique absolue, en fixant définitivement la température de fusion de la glace dans l'échelle Kelvin (Annexe T 1, p. T 55). Il précise que cette proposition n'est présentée que dans le but de provoquer une discussion préliminaire, et qu'elle est encore en étude au National Bureau of Standards; celui-ci se borne à la transmettre.

M. PÉRARD appelle l'attention sur l'inconvénient qu'il pourrait y avoir à créer une incertitude sur la température de définition des calibres et sur les coefficients de

dilatation des étalons de précision; en conséquence, le Bureau international des Poids et Mesures serait opposé à la modification de l'échelle thermodynamique actuelle.

M. le PRÉSIDENT serait d'accord sur le principe de la proposition, qui serait commode pour les mesures des basses températures, mais approuve M. Boutry qui l'estime prématurée, dans l'état actuel de la précision des mesures.

M. ABRAHAM demande au Comité s'il pense que l'on peut dépasser le centième de degré comme précision dans la mesure absolue de la température d'un thermostat parfait, cette température étant voisine, par exemple, de 50° C.

M. PÉRARD estime que si cette température est la température ambiante du laboratoire et si le corps dont on prend la température est un liquide, en particulier de l'eau, on peut espérer avoir 0,003 degré.

M. BOUTRY pense que l'erreur est comprise entre deux et trois millièmes, plus près de deux que de trois.

M. PÉRARD fait remarquer qu'une erreur de 0,02 degré sur la position du point de fusion de la glace dans l'échelle Kelvin ne se traduirait pas dans l'échelle centigrade par une erreur égale sur la température voisine de 50° C.

M. BOUTRY demande quelle est la précision actuelle des mesures de la température d'ébullition de l'eau.

M. HALL indique que les mesures concordent entre elles à trois ou quatre millièmes de degré près.

M. le PRÉSIDENT propose aux membres du Comité de réfléchir à la proposition du Comité américain pour pouvoir y revenir dans une prochaine session.

L'ÉCHELLE INTERNATIONALE DE TEMPÉRATURE.

M. le PRÉSIDENT signale avec éloge, parmi les documents reçus, le *Projet d'échelle internationale* (1939) établi par le National Bureau of Standards (*voir Annexe n° T 2 p. T 60*). Il propose de suivre pas à pas ce texte pour l'étude de cette question.

M. CRITTENDEN suggère de prendre de préférence pour base le texte de 1933 en raison du grand nombre de points de détail modifiés dans le rapport du Bureau of Standards.

M. le PRÉSIDENT estime que cela est inutile étant donné qu'il n'y a aucune objection fondamentale contre le rapport en question et propose de commencer la discussion par la deuxième partie.

Il demande s'il n'y aurait pas lieu d'établir une distinction entre les points 0° et 100° , et les autres points fixes; les premiers seraient appelés points fixes fondamentaux et les autres seraient les points fixes primaires.

M. PÉRARD propose de supprimer les zéros après 0° et 100° pour indiquer que ces nombres ne proviennent pas de mesures.

Ces modifications sont approuvées; et M. le PRÉSIDENT passe alors à la discussion des valeurs numériques des points fixes primaires; il suggère pour le point d'ébullition de l'oxygène, d'après les mesures faites à Leyde, la valeur —182,98 et demande si la Physikalisch-Technische Reichsanstalt pourrait être d'accord.

M. HENNING propose de garder la valeur actuelle.

M. le PRÉSIDENT retire sa proposition et M. Henning parle du point triple de l'eau comme point fondamental, celui-ci pouvant être physiquement mieux défini que le point de la glace.

M. PÉRARD signale qu'un de ses collaborateurs a été frappé, à Berlin, de la précision avec laquelle ce point triple pouvait être reproduit, et demande à M. Henning s'il propose au Comité de discuter l'adoption immédiate de sa proposition.

M. HENNING indique qu'il demande seulement que des études sur ce sujet soient faites dans les autres laboratoires.

M. BOUTRY remarque que l'eau utilisée pour la détermination du point zéro doit être saturée d'air; il demande à M. Henning si le fait d'avoir à utiliser de l'eau parfaitement pure n'introduirait pas une difficulté.

M. VOLET pense que l'emploi d'eau pure conduit à des conditions mieux définies. Dans les déterminations du point zéro on utilise de l'eau saturée d'air; mais l'eau de fusion de la glace est sans air et le mélange est mal défini.

M. le PRÉSIDENT met en discussion la valeur du point de fusion de l'argent $960^{\circ},7$, proposée dans le rapport.

M. CRITTENDEN indique que cette modification est liée au changement de la constante C_2 .

M. le PRÉSIDENT propose donc au Comité de se prononcer sur l'adoption des paragraphes 1, 2 et 3, en réservant ce point. Le Comité adopte cette partie du texte.

M. PÉRARD suggère de renvoyer la phrase du paragraphe 4 « entre les points de bifurcation formés par la soudure du conducteur de courant et du conducteur de potentiel », au paragraphe 6 de la troisième partie.

M. HALL voudrait voir mentionner uniquement dans la définition le platine, sans qu'il soit question d'appareil, celui-ci étant décrit au paragraphe 6.

M. CRITTENDEN objecte qu'il faut faire intervenir le mode de construction; on peut faire un mauvais thermomètre avec du bon platine.

M. HALL retire sa proposition et M. PÉRARD lit la rédaction suivante :

α. « Du point de fusion de la glace au point de solidification
« de l'antimoine la température t est définie par la formule

$$R_t = R_0(1 + A t + B t^2),$$

« dans laquelle R_t est la résistance à la température t d'un thermomètre étalon à résistance de platine. »

M. KONDRATIEV objecte que la grosseur du conducteur de platine peut intervenir.

M. BOUTRY ne trouve pas l'objection exacte, en ce sens que la grosseur du conducteur n'intervient que par des phénomènes secondaires (contraintes mécaniques pour les fils fins, non-uniformité du courant et de la température pour une barre), que l'on peut rendre aussi petits que l'on veut en prenant beaucoup de soins.

M. PÉRARD précise qu'il faut toujours se reporter aux spécifications, et propose que ce point soit entendu expressément une fois pour toutes.

M. le PRÉSIDENT est d'accord avec le Bureau of Standards sur la nécessité d'exigences plus sévères dans la définition du platine du thermomètre; mais il propose de les mettre sous la forme de limites à imposer au rapport $\frac{R_t}{R_0}$.

M. HENNING remarque que les nouvelles exigences s'appliquent à la formule de Callendar qui n'est pas celle proposée; ce qui conduit à une certaine incohérence.

M. le PRÉSIDENT pense qu'il n'y a là qu'une question de forme.

M. HALL estime que la condition imposée à $\frac{R_{100}}{R_0}$ est suffisante.

M. CRITTENDEN juge les nouvelles définitions nécessaires, si l'on veut conserver à la courbe des températures une courbure définie.

M. BOUTRY propose de conserver la simplicité d'utilisation du thermomètre en ne prenant que la condition portant sur $\frac{R_{100}}{R_0}$.

M. CRITTENDEN insiste sur le fait qu'il n'y a pas là une simple question de forme, qu'il ne suffit pas d'imposer à la courbe du thermomètre de passer par trois points pour qu'elle ait une forme définie.

M. PÉRARD lit alors le texte suivant :

« La pureté et les conditions physiques du platine avec lequel le thermomètre est construit doivent être telles que $\frac{R_t}{R_0}$ ne soit pas inférieur à 1,391 pour $t = 100^\circ$ et à 2,647 pour $t = 444^\circ,60$. »

Et au paragraphe *b*, il propose d'adopter la phrase suivante :

« En plus des exigences données au paragraphe *a*, le rapport $\frac{R_{-132,97}}{R_0}$ doit être inférieur à 0,247 pour les thermomètres étalons à résistance devant être utilisés au-dessous du point de fusion de la glace. »

M. HALL attire l'attention sur le fait qu'il faudrait fixer une tolérance pour l'interprétation de ces conditions.

MM. PÉRARD et BOUTRY pensent que chaque expérimentateur est juge de la rigueur à apporter dans cette question.

M. le PRÉSIDENT signale alors les écarts observés à Leyde entre l'Échelle internationale et l'Échelle Kelvin, écarts atteignant 0,04 degré à -80° et propose un tableau de correction.

M. CRITTENDEN se déclare peu favorable à l'adoption d'un tel tableau.

M. HALL demande quelle est la précision des mesures à -80° .

M. le PRÉSIDENT déclare que Berlin et Leyde sont d'accord à 0,01 degré près.

Mais M. HENNING cite des expériences récentes, faites à Berlin avec du platine spectroscopiquement pur, qui ont donné à -80° des écarts plus faibles, voisins de 0,02 degré au lieu de 0,04 degré.

M. le PRÉSIDENT remarque qu'il semble en résulter que l'incertitude de l'échelle au voisinage de -80° est de l'ordre de 0,02 degré, puisque les thermomètres satisfont tous aux conditions imposées par les spécifications.

Après adoption du paragraphe *b*, M. le PRÉSIDENT passe à la discussion du paragraphe *c*.

M. HALL remarque que si la pile thermoélectrique doit être abandonnée dans un proche avenir pour le thermomètre à résistance, il est inutile de vouloir apporter de petites modifications à l'échelle qu'elle définit.

M. SEARS approuve M. Hall ; il pense qu'il faut apporter le moins souvent possible des modifications aux définitions et éviter de faire des changements provisoires.

M. KONDRATIEV n'estime pas que la complication

apportée par la formule proposée soit utile au degré de précision des mesures actuelles.

M. RIBAUD demande qu'il soit précisé qu'au-dessus du point de fusion de l'antimoine les températures doivent être définies uniquement par le couple, sans qu'on ait le droit d'extrapoler les indications du thermomètre à résistance de platine.

M. CRITTENDEN rappelle que le but de la nouvelle rédaction est de faire raccorder les échelles sans discontinuité dans la dérivée.

M. HALL pense qu'on dépasse ici le degré de précision des mesures, et que la difficulté disparaîtrait d'elle-même avec la suppression du couple comme étalon.

M. PÉRARD remarque que la majorité du Comité semble souhaiter le *statu quo* et propose le texte de 1933 légèrement modifié comme suit :

« Du point de solidification de l'antimoine jusqu'au point de solidification de l'or, on déduit la température t de la force électromotrice \mathcal{E} d'un thermocouple étalon formé de platine et de platine-rhodium, dont une soudure reste à la température constante de 0° , tandis que l'autre est portée à la température t définie par la formule

$$\mathcal{E} = a + bt + ct^2.$$

« Les constantes a , b , c doivent être calculées. . . . »

Le paragraphe c ainsi amendé est adopté.

M. le PRÉSIDENT fait remarquer que, dans le paragraphe d , il faut changer $273^{\circ},16$ en $273^{\circ},15$.

M. HENNING demande si l'on ne pourrait pas prendre dans la formule de Planck la valeur arrondie $273^{\circ},2$.

Le Comité ne juge pas cette modification utile.

M. le PRÉSIDENT ouvre la discussion sur le changement de la constante C_2 .

M. HALL trouve que la valeur 1,436 est sans doute la meilleure; mais elle n'est pas encore assez sûre pour qu'il soit intéressant de proposer le changement.

M. BOUTRY est du même avis.

Cette modification est ajournée à une autre session.

Le paragraphe *d* est adopté, la seule modification étant le remplacement de $273^{\circ},16$ par $273^{\circ},15$ et de 1,436 par 1,432.

La prochaine séance est fixée au 12 juillet à 10^h au Laboratoire central d'Électricité.

La séance est levée à 17^h 20^m.



PROCÈS-VERBAL

DE LA DEUXIÈME SÉANCE,

TENUE AU LABORATOIRE CENTRAL D'ÉLECTRICITÉ,

le mercredi 12 juillet 1939.

PRÉSIDENCE DE M. LE PROF. D^r W. H. KEESOM.

Sont présents : M. B. CABRERA, secrétaire du Comité international des Poids et Mesures; MM. CRITTENDEN, HAYASHI (observateur), HENNING, KONDRATIEV, PÉRARD, RIBAUD, SEARS, BOUTRY, HALL, membres du Comité consultatif et experts:

Assistent à la séance : MM. ABRAHAM, VOLET, ROUX, TERRIEN, N. CABRERA, invités.

La séance est ouverte à 10^h 5^m.

M. le PRÉSIDENT donne la parole au Secrétaire pour la lecture du procès-verbal de la première séance. Après quelques modifications de détail demandées par MM. Boutry, Keesom et Pérard, le procès-verbal est adopté.

M. le PRÉSIDENT propose de continuer la discussion du projet d'échelle de température de 1939 par l'étude de la troisième partie; il attire l'attention sur le fait que ce chapitre a pour titre : « Modes opératoires recommandés », et n'implique donc pas une obligation. Il demande à la délégation française si elle peut préciser sa remarque

(Annexe T 8, p. T 101) concernant la précision de 0,001 degré indiquée dans le projet du Bureau of Standards, au sujet de la reproductibilité du point de fusion de la glace.

M. BOUTRY déclare avoir simplement pour désir d'obtenir de M. Crittenden des détails sur les méthodes employées.

M. CRITTENDEN répond que cette précision est facilement obtenue avec la méthode usuelle et en utilisant de la glace commerciale.

M. BOUTRY remarque que la glace commerciale n'a peut-être pas la même pureté dans tous les pays.

M. PÉRARD signale que l'on a fait au Bureau international des Poids et Mesures des mesures avec de la glace provenant d'eau distillée et avec de la glace commerciale, en prenant soin pour celle-ci, d'enlever la couche extérieure et le centre des blocs; les mesures de température effectuées ont donné exactement les mêmes résultats dans les deux cas.

M. BOUTRY, par contre, ayant utilisé pour congeler de l'eau des moules différents, l'un en acier inoxydable, l'autre en tôle galvanisée, a observé entre les températures de fusion de ces deux glaces des écarts de l'ordre du minimum mesurable, soit 0,001 degré; quoique la précaution d'enlever les parties extérieures et le centre du bloc ait été prise.

M. HALL signale qu'il a observé que la glace commerciale donnait presque toujours d'aussi bons résultats que celle provenant de l'eau distillée; il arrive cependant en moyenne deux ou trois fois par an que la glace commerciale donne des écarts de l'ordre de 0,01 degré;

mais on observe alors une nette variation de la conductibilité électrique de l'eau de fusion.

M. BOUTRY demande précisément que l'on spécifie ultérieurement la valeur admissible de la conductibilité de l'eau de fusion.

M. RIBAUD voudrait également que l'on spécifie ce que l'on entend par « eau saturée d'air » ; quoique, ajoute-t-il, les erreurs qui peuvent s'introduire de ce fait étant sans doute de l'ordre de 0,0001 degré, il ne soit peut-être pas la peine d'insister, d'autant plus que l'adoption éventuelle du point triple de l'eau comme point fixe fondamental supprimerait le problème.

M. PÉRARD pense que la spécification relative à l'air dissous est là pour indiquer simplement qu'il ne faut pas prendre de précautions spéciales pour avoir de l'eau parfaitement privée d'air.

Il attire ensuite l'attention sur la formule donnant l'influence de la pression et s'étonne de l'inégalité des coefficients de ses deux termes.

M. CRITTENDEN ne peut éclaircir ce point.

M. BOUTRY propose de conserver l'ancien texte, en réservant pour une session ultérieure l'établissement de nouvelles spécifications.

Le Comité partage cet avis et décide de garder provisoirement la rédaction admise en 1933.

M. le PRÉSIDENT passant à l'étude du paragraphe 3 demande à M. Crittenden de donner des précisions au sujet de l'hypsomètre mentionné dans le projet. M. Crittenden indique que cet appareil a été décrit par M. Beattie, mais qu'il n'est donné dans le projet qu'à titre d'indication.

M. HENNING demande qu'on spécifie que la température d'ébullition de l'eau doit être déterminée au voisinage de la pression atmosphérique normale, en employant au besoin une atmosphère artificielle; car la correction est incertaine dès que l'on s'écarte de cette pression.

M. KONDRATIEV propose de resserrer les limites données pour la validité de la formule de réduction à l'atmosphère normale et de prendre une formule plus simple.

M. le PRÉSIDENT demande de séparer la discussion de la formule de celle relative à la description de l'hypsomètre.

M. CABRERA propose d'insérer dans le texte une indication au sujet de l'hypsomètre.

M. BOUTRY suggère d'ajouter après les mots « avec succès » : « en particulier l'hypsomètre du type Chappuis ».

Après un échange de vues sur la limite de validité des formules de réduction, le texte suivant est proposé par M. Boutry :

« Il est recommandé de faire les mesures sous une pression « aussi voisine que possible de $p = 760^{\text{mm}}$ de mercure, en utilisant « au besoin une atmosphère artificielle. Pour conserver une « exactitude d'environ 0,001 degré dans tout le domaine compris « entre $p = 660^{\text{mm}}$ et $p = 860^{\text{mm}}$, on peut utiliser la formule « ci-dessous

$$t_p = t_{760} + 36,8578 \left(\frac{p - 760}{1000} \right) - 20,159 \left(\frac{p - 760}{1000} \right)^2 + 16,21 \left(\frac{p - 760}{1000} \right)^3 .$$

« En dehors de ce domaine de pression, la formule suivante doit « être préférée :

$$t_p = \frac{326}{1 - 0,197864 \log_{10} \frac{p}{760}} - 226. »$$

Ce texte est adopté après que M. CABRERA eut précisé, à la suite d'une observation de M. PÉRARD, qu'il ne s'agissait pas là de cas distincts, mais d'indications pour l'exécution des mesures dans des conditions expérimentales de difficulté croissante.

M. le PRÉSIDENT passe à l'examen des paragraphes 4 et 5; personne n'ayant d'objection à faire, ceux-ci sont adoptés.

M. le PRÉSIDENT rappelle qu'il y a lieu d'incorporer dans le paragraphe 6 un membre de phrase éliminé dans le paragraphe 4 de la deuxième partie. Le Comité charge M. Pérard de faire cette mise au point dans le texte définitif.

M. HALL propose de supprimer les spécifications relatives au coefficient δ de la formule de Callendar.

Aucun membre n'ayant à faire d'observation, M. le PRÉSIDENT déclare le paragraphe adopté et passe à l'examen du paragraphe 8.

M. CRITTENDEN fait remarquer que, l'ancienne valeur de C_2 ayant été maintenue, la fin du paragraphe 8 doit être modifiée.

Après une discussion à laquelle prennent part MM. Boutry, Crittenden, Hall, Keesom et Pérard, le paragraphe 8, limité à sa première phase, est adopté en mettant dans la formule le symbole C_2 , au lieu de sa valeur numérique et en ajoutant après cette formule : « dans laquelle la constante C_2 est égale à 1,432 centimètre.degré ».

M. le PRÉSIDENT signale que dans le paragraphe 9 la valeur de T_0 doit être prise égale à 273,15. Le paragraphe 9 est adopté et M. le Président appelle la discussion du paragraphe 10.

M. BOUTRY propose de supprimer le chiffre du centième de la température d'équilibre entre l'anhydride carbonique solide et sa vapeur. Il signale la difficulté de reproduire exactement ce point, et souhaite que des études soient poursuivies pour établir dans cette région de l'échelle un point fixe secondaire bien défini.

Cette proposition est adoptée.

M. HENNING propose, et le Comité décide, de maintenir l'ancienne valeur ($-38^{\circ},87$) pour la température de solidification du mercure.

M. le PRÉSIDENT recommande que l'on travaille à redéterminer ces valeurs.

M. HALL estime qu'il est illusoire de donner les températures de fusion du cuivre et du nickel au dixième de degré.

M. CRITTENDEN est de cet avis et signale que les valeurs portées au tableau ne sont valables que dans l'échelle de température proposée dans le projet, qui n'est pas celle adoptée, et qu'il faut donc revenir aux anciens chiffres. Il soumet alors le tableau suivant à la discussion, après y avoir ajouté, à la demande de M. Hall, le point de fusion du rhodium :

	Anciennes valeurs.	Valeurs proposées.
Nickel.....	-	1455
Palladium.....	1555	1554
Platine.....	-	1773,5
Rhodium (N. P. L.).....	-	1966
Iridium.....	-	2454
Tungstène.....	3400	3410

M. HALL croit qu'on ne connaît pas la température de solidification du platine à mieux de 1 ou 2 degrés près et trouve inutile la décimale.

M. HENNING déclare que ses mesures lui font préférer le

nombre 1773. Quant à la température de fusion du tungstène, elle a été trouvée, dans son laboratoire, égale à 3380°.

Comme conclusion de l'examen des nombres du tableau précédent, le Comité décide finalement de conserver pour le palladium et le tungstène les anciennes valeurs et de supprimer la décimale du nombre relatif au platine.

M. BOUTRY demande que l'on recommande d'effectuer dans plusieurs laboratoires des comparaisons systématiques entre l'échelle thermodynamique et la nouvelle échelle internationale dans toute l'étendue de — 190° à 1063°; un tel travail pourra sans doute être commencé en France en 1940.

M. KONDRATIEV approuve la demande de M. Boutry.

M. RIBAUD souhaiterait que préalablement quelques points fixes dans la région de 800° soient déterminés.

M. PÉRARD désire que le Comité se prononce sur l'usage de la lettre *t* pour désigner la température, celle-ci étant employée dans le projet d'échelle de température, alors que la lettre adoptée par le Bureau international dans toutes ses publications est actuellement la lettre *θ*.

M. le PRÉSIDENT répond que la lettre *t* sera employée pour la température dans tous les cas où la confusion avec un temps ne sera pas possible.

Le Comité ayant terminé l'étude du projet de définition de l'Échelle internationale de température, M. le PRÉSIDENT charge M. Pérard d'en harmoniser l'introduction avec les décisions prises au cours de la discussion (1).

(1) Le texte définitif du projet n'a pas été reproduit ici en raison de sa longueur; on le trouvera dans le Rapport au Comité international (p. T 39).

L'UNITÉ DE CHALEUR.

L'ordre du jour appelant maintenant la discussion de la proposition relative à la définition de l'unité de chaleur, M. le PRÉSIDENT confirme d'abord que, sur la demande du Président de la Physikalisch-Technische Reichsanstalt, un vote unanime du Comité international des Poids et Mesures a autorisé le Comité consultatif à s'occuper de cette question; puis il résume le rapport qu'il a préparé (Annexe T 11, p. T 110), et insiste sur le fait qu'il lui semble impossible d'éliminer la calorie, qui entre dans une multitude de règlements en vigueur et que, de plus, du point de vue pédagogique, il convient de réserver une place à part à l'énergie calorifique. Il est impossible, en effet, à cause du deuxième principe, de la placer exactement sur le même plan que les autres formes d'énergie, pour aucune de celles-ci, il n'existe en particulier de relation semblable à celle qui exprime le rendement d'une machine frigorifique.

Se rapportant au mémorandum du National Bureau of Standards sur ce sujet, M. le PRÉSIDENT demande au Comité de se prononcer sur les deux points suivants :

1° Doit-on définir une unité déduite du joule ?

2° Si l'on définit la calorie, quel facteur de correspondance avec les unités d'énergie doit-on adopter : $\frac{3600}{860}$ ou 4,187 ?

M. SEARS demande que l'on se mette préalablement en rapport avec les organismes spécialisés tels que l'Union internationale de Physique pure et appliquée et la Conférence internationale des Tables de la vapeur d'eau. Il accepte de voir définir la calorie à partir du joule mécanique; mais il propose de conserver la définition à partir du joule électrique jusqu'à ce que celui-ci devienne automatiquement égal au joule mécanique.

M. PÉRARD précise que cette transformation des unités électriques ne pourra pas devenir effective en janvier 1940 comme il avait été prévu; par ailleurs, il émet l'avis que les écarts sont très petits et très inférieurs à la précision des mesures calorimétriques.

M. ABRAHAM exprime son opinion en indiquant qu'elle n'engage que lui et non l'Union internationale de Physique, dont il est secrétaire général.

M. ABRAHAM pense qu'il faut distinguer entre la définition idéale de l'unité de quantité de chaleur et la définition objective de l'unité pratique qu'on en déduit. Il propose de définir l'unité de quantité de chaleur comme étant la quantité de chaleur équivalente à l'unité d'énergie : joule ou erg.

Pour la définition pratique, il faut tenir compte du changement qui s'est produit dans la technique. Alors qu'auparavant, la détermination d'une quantité de chaleur se faisait par mesure de l'élévation de température d'une masse d'eau, les mesures précises de calorimétrie se font maintenant par une méthode analogue à la double pesée, en effectuant un dégagement de chaleur par voie électrique produisant le même effet que la quantité de chaleur à mesurer.

M. PÉRARD spécifie que la définition d'une unité doit être indépendante de la méthode de reproduction de cette unité.

M. SEARS désire éviter que la nouvelle définition s'éloigne des valeurs ayant servi à l'établissement de la Table de la vapeur d'eau et demande qu'on n'introduise pas de définition théorique sans valeur pratique.

M. CRITTENDEN signale qu'en particulier l'organisme dirigé par M. Swietoslawski s'intéresse à ces questions

d'unité de chaleur et que beaucoup d'autres organismes sont dans ce cas, et il pose la question de savoir comment la collaboration avec tous ceux-ci serait pratiquement possible.

M. PÉRARD répond que cette question en quelque sorte administrative pourrait être réglée par correspondance en dehors du Comité consultatif et avant la prochaine réunion du Comité international des Poids et Mesures.

M. le PRÉSIDENT propose de prendre la calorie équivalente à 4,187 joules absolus, cette valeur ayant l'avantage de n'entraîner aucun changement de la Table de la vapeur d'eau, tandis que l'adoption de la valeur $\frac{3600}{860}$ joules, préférée par M. Sears, est susceptible d'entraîner quelques modifications.

M. ABRAHAM dit que l'Union internationale de Physique se réunira l'année prochaine et que la question de l'unité de chaleur devait y être discutée; il pense qu'il serait suffisant de donner la définition théorique de l'unité.

M. KONDRATIEV propose d'accepter cette définition théorique et de garder comme définition pratique celle de la calorie à 15°.

M. PÉRARD donne alors lecture d'un projet de définition rédigé comme suit :

« a. L'unité primaire de quantité de chaleur est l'unité
« d'énergie désignée sous le nom de joule, égale à 10^7 ergs.

« b. L'unité secondaire est la calorie, égale à $\frac{3600}{860}$ joules

« ou $\frac{1}{860}$ wattheure.

« Dans les besoins de la pratique, cette unité est suffisamment
« bien représentée par la quantité de chaleur nécessaire pour
« élever la température d'un gramme d'eau purgée d'air de 14°, 5
« à 15°, 5 de l'échelle internationale de température sous la
» pression d'une atmosphère normale.

« Les termes précédemment employés de « calorie-kilogramme » et « grande calorie » sont remplacés par celui de « kilocalorie »

« La kilocalorie se trouve ainsi égale à $\frac{1}{860}$ kilowattheure.

« REMARQUE IMPORTANTE. — Le kilojoule est très voisin de l'unité de chaleur britannique :

$$1 \text{ BTU} = 1,055 \text{ kJ. »}$$

M. ABRAHAM ne trouve pas satisfaisant de parler d'unité secondaire. Il faudrait mettre en évidence qu'on devra renoncer à la calorie à 15°, mais que, pour rattacher les mesures faites par détermination de l'élévation de température d'une masse d'eau à celles faites par la méthode moderne, on est amené à adopter provisoirement une valeur de cette calorie permettant d'exprimer les résultats en unités fondamentales (joules).

La valeur de la calorie est un coefficient de transformation pour passer d'un mode d'expérimentation périmé au mode d'expérimentation actuel, celui-ci donnant la mesure de la quantité de chaleur en unités mécaniques en passant par l'intermédiaire de mesures électriques.

M. CABRERA partage l'avis de M. Abraham et trouve cette définition plus simple que les précédentes.

M. le PRÉSIDENT dit qu'il faudrait préciser si la transformation s'applique à la calorie à 20° ou à 15°.

M. ABRAHAM réplique qu'à son avis la distinction entre ces deux sortes de calories est illusoire; il estime qu'en toute rigueur la mesure de l'intervalle de température 14°,5-15°,5 fait intervenir les erreurs de détermination de ces deux températures.

M. PÉRARD pense qu'en réalité, il y a des erreurs systématiques qui se reproduisent dans les deux mesures et que l'erreur sur la mesure de l'intervalle de 1 degré est

inférieure à la somme des erreurs sur la mesure des deux limites de l'intervalle.

M. ABRAHAM rappelle que dans les expériences de Rowland, celui-ci, pour augmenter la précision, avait dû faire porter ses mesures sur un intervalle de température de 10 degrés, et qu'en définitive la valeur de la véritable « calorie à 15° » ne doit pas être connue à mieux de 0,5 %.

M. KONDRATIEV pense que cela est exact si l'on ne considère qu'une série d'expériences, mais cesse de l'être si l'on fait la moyenne des résultats de plusieurs expériences faites dans des conditions différentes.

M. le PRÉSIDENT serait alors d'avis de simplifier la proposition et d'y énoncer simplement que la calorie est l'équivalent d'un certain nombre de joules.

M. SEARS voudrait que l'on spécifie qu'elle vaut $\frac{1}{860}$ watt-heure.

M. CABRERA distingue dans la définition deux parties bien séparées; la première spécifiant que l'unité de chaleur doit s'exprimer en joules, et la deuxième indiquant combien cette unité, la calorie, vaut de joules.

M. PÉRARD propose alors de modifier la première partie de la définition conformément au texte suivant, qui est lu par M. le Président :

« L'unité de quantité de chaleur est la quantité de chaleur
« équivalente à l'unité d'énergie désignée sous le nom de joule
« et égale à 10^7 ergs. »

Cette modification est approuvée par le Comité.

A la suite d'une discussion entre MM. PÉRARD, SEARS et KEESOM, il est convenu d'ajouter en remarque :

« Cette unité de chaleur est pratiquement égale à l'ancienne
« calorie dite à 15°C. »

M. CRITTENDEN demande qu'il soit précisé que le texte

proposé n'est pas une résolution, mais une recommandation.

M. BOUTRY demande que, pour satisfaire à ce désir, il soit spécifié dans le procès-verbal que la recommandation ne sera pas présentée au Comité international des Poids et Mesures avant que les organismes que la question intéresse aient été consultés.

Cette procédure est approuvée par le Comité.

M. ABRAHAM suggère d'ajouter une remarque recommandant de faire les mesures de quantité de chaleur par comparaison avec la quantité de chaleur dégagée par un courant.

M. BOUTRY objecte que la portée de cette remarque n'est pas générale, la méthode n'étant pas utilisée, par exemple, en thermochimie.

M. ABRAHAM pense qu'il suffira de mentionner que cette technique est recommandée « pour les mesures précises ».

M. PÉRARD lit alors la rédaction suivante à proposer au Comité international des Poids et Mesures :

RÉSOLUTION II.

a. *L'unité de quantité de chaleur est la quantité de chaleur équivalente à l'unité d'énergie désignée sous le nom de « joule », égale à 10^7 ergs.*

b. *La « calorie » est équivalente à $3600/860$ joules ou $1/860$ wattheure.*

c. *Les termes précédemment employés de « calorie-kilogramme » et « grande calorie » sont remplacés par celui de « kilocalorie ». La kilocalorie se trouve ainsi égale à $1/860$ kilowattheure.*

REMARQUE 1. — *Le kilojoule est très voisin de l'unité de chaleur britannique*

$$1 \text{ BTU} = 1,055 \text{ kilojoule.}$$

REMARQUE 2. — *La calorie est pratiquement égale à l'ancienne calorie dite à 15°C.*

REMARQUE 3. — *En l'état actuel de la technique, la manière la plus précise de mesurer des quantités de chaleur est d'opérer par comparaison avec les quantités équivalentes d'énergie électrique.*

Cette résolution est adoptée à l'unanimité.

M. PÉRARD ajoute que la remarque 3 montre bien que, dans le paragraphe *b* de la définition, les unités d'énergie mentionnées sont des unités mécaniques. Il précise d'autre part que l'insertion au procès-verbal de l'obligation d'une consultation des organismes intéressés implique que la résolution ne sera présentée, en cas d'objection de l'un d'eux, qu'après nouvel avis des membres du Comité consultatif.

PROCHAINE SESSION.

M. PÉRARD propose de laisser à M. le Président, comme cela a été fait pour les autres Comités consultatifs, l'initiative de convoquer celui-ci, s'il le juge nécessaire, avant la session de 1941 du Comité international des Poids et Mesures.

Cette proposition est adoptée.

L'ordre du jour étant épuisé, M. le PRÉSIDENT remercie ses collègues, dont la courtoisie et la bonne volonté lui ont rendu la tâche facile.

De son côté, M. CABRERA remercie M. Keesom, au nom des membres du Comité, pour la clarté et la bienveillante autorité avec lesquelles il a su diriger les discussions.

Le Comité confie à son Président le soin d'approuver le procès-verbal de cette dernière séance, après consultation du Rapporteur.

La séance est levée à 12^h 40^m.

PREMIER RAPPORT
DU
COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE

AU
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES.

Par M. J. E. SEARS, Rapporteur.

Le Comité a tenu deux réunions, le mardi 11 juillet, à Sèvres au Bureau international des Poids et Mesures, et le mercredi 12 juillet, à Paris au Laboratoire central d'Électricité, 14, rue de Staël, grâce à l'obligeant accueil de son directeur M. Jouaust.

Étaient présents à ces réunions : M. W. H. Keesom, Président, MM. Crittenden, Hayashi (observateur), Henning, Kondratiev, Pérard, Ribaud et Sears, membres du Comité; MM. B. Cabrera et Fabry, membres du Comité international; MM. Boutry et Hall, experts, MM. Abraham, N. Cabrera, Roux, Terrien et Volet invités.

M. Volet fut nommé Secrétaire et M. Sears Rapporteur de la session.

NOMINATIONS AUX SIÈGES VACANTS DU COMITÉ.

Conformément aux termes de son règlement, le Comité procéda à l'examen préalable des nominations à soumettre

au Comité international pour remplir les sièges demeurant vacants. On décida de recommander la nomination de M. Pochettino (Italie), M. Swietoslowski (Pologne) et M. Timmermans (Belgique).

POSITION DU POINT DE FUSION DE LA GLACE
DANS L'ÉCHELLE ABSOLUE DES TEMPÉRATURES.

Le Comité aborda alors la discussion de la position à assigner au point de fusion de la glace dans l'échelle Kelvin, dans le but de recommander une base uniforme pour convertir les températures de l'échelle centigrade dans l'échelle Kelvin et réciproquement.

On convint de recommander $273^{\circ},15\text{K}$ comme étant la meilleure valeur provisoire du zéro de l'échelle centigrade dans l'échelle Kelvin découlant des résultats expérimentaux actuels. On admit que cette valeur était très probablement correcte à $\pm 0,02$ degré près. Ces conclusions sont exprimées dans la résolution suivante :

RÉSOLUTION I.

Le Comité consultatif de Thermométrie estime que, d'après les expériences actuellement terminées, la position la plus probable du point de fusion de la glace dans l'échelle Kelvin est $273^{\circ},15$ avec une incertitude de $\pm 0,02$ degré.

ÉCHELLE DES TEMPÉRATURES INFÉRIEURES A -190°C .

Le Comité procéda à l'examen de l'échelle thermodynamique dans le domaine inférieur à -190°C . On reconnut qu'il fallait encore étudier la question, avant que puissent être établies dans ce domaine les spécifications d'une

échelle internationale des températures, comparables à celles déjà adoptées pour les domaines des températures plus élevées.

DÉFINITION DE L'ÉCHELLE ABSOLUE DES TEMPÉRATURES.

Le Comité discuta ensuite une suggestion du Comité pour les basses températures du Conseil des Recherches des États-Unis, transmise pour examen par le National Bureau of Standards de Washington, et selon laquelle le point d'ébullition de l'eau serait remplacé, en tant que l'un des points fixes fondamentaux de l'échelle des températures, par le zéro absolu. En d'autres termes l'intervalle compris entre le zéro absolu et le point de congélation de l'eau serait à l'avenir adopté comme intervalle fondamental de l'échelle; sur cette échelle, le point d'ébullition de l'eau deviendrait donc un des points fixes primaires (mais non plus fondamental), et son rôle deviendrait comparable par exemple à celui des points d'ébullition du soufre ou de fusion de l'or.

Une autre suggestion concernant l'intervalle fondamental de l'échelle des températures, soumise à la discussion par la Physikalisch-Technische Reichsanstalt, était la substitution du point triple de l'eau au point de fusion de la glace.

Après discussion, le Comité déclara qu'avant d'introduire aucun changement, il était souhaitable de faire une plus ample étude de ces propositions, et que ceux des Laboratoires nationaux, qui ne l'avaient pas encore fait, devraient être invités à poursuivre des expériences sur la reproductibilité du point triple.

RÉVISION DE L'ÉCHELLE INTERNATIONALE DES TEMPÉRATURES.

On examina ensuite un certain nombre de propositions soumises par le National Bureau of Standards de

Washington pour amender l'échelle internationale des températures 1927-1933.

Ces propositions étaient, d'une part, d'ordre rédactionnel et consistaient en un réarrangement général des paragraphes avec de petits amendements du texte; elles suggéraient d'autre part des améliorations techniques. D'un commun accord, on a admis qu'il n'était pas désirable de faire des modifications n'ayant qu'un caractère provisoire, ni de changer sensiblement l'échelle à des intervalles de temps trop rapprochés. C'est pourquoi, sauf les améliorations d'ordonnance du texte, on n'accepta que les modifications jugées formellement nécessaires dans l'état actuel, ou pouvant être considérées comme des améliorations techniques n'affectant pas les fondements de l'échelle.

Les principaux amendements dont on a ainsi recommandé l'adoption sont relatifs aux points suivants :

a. Les spécifications qui concernent la qualité des matériaux à utiliser dans les thermomètres à résistance et dans les thermocouples ont été rendues un peu plus sévères.

b. Le passage de l'emploi du thermomètre à résistance de platine à l'emploi du thermocouple se fait maintenant au point de fusion de l'antimoine ($630^{\circ},5$ C environ) et non plus à 660° C.

A ce propos, on examina la proposition de la P. T. R. tendant à écarter l'usage des thermocouples et à employer le thermomètre à résistance de platine dans tout le domaine allant jusqu'au point de fusion de l'or. Le Comité n'était pas en mesure d'adopter aussitôt cette proposition; mais il recommanda aux autres laboratoires nationaux d'étudier l'emploi du thermomètre à résistance de platine dans ce domaine de température élargi.

c. On substitua la loi de Planck à la loi de Wien dans la détermination des températures supérieures au point de fusion de l'or.

On discuta à ce propos l'opportunité de substituer dans la formule la valeur 1,436 cm. degré à la valeur 1,432 cm. degré. On fut d'accord pour reconnaître que la valeur 1,436 était probablement plus exacte que la valeur 1,432. Mais on jugea que, dans le domaine des températures actuellement couvert par l'échelle internationale, la différence introduite par cette modification de la constante ne dépasserait pas l'incertitude des déterminations de température, et qu'il valait donc mieux différer tout changement, jusqu'à ce qu'on disposât d'autres preuves expérimentales de la vraie valeur de C_2 .

d. Dans la liste des points fixes secondaires, la température de solidification du zinc a été arrondie à $419^{\circ},5$ au lieu de $419^{\circ},45$, et l'on a introduit les températures de solidification du nickel (1455°), du platine (1773°), du rhodium (1966°) et de l'iridium (2454°).

Le texte complet des spécifications révisées, telles qu'elles ont été recommandées par le Comité consultatif, est joint à ce rapport (p. T 39).

Il peut être utile maintenant d'énumérer les questions suivantes qui demeurent encore à l'étude, afin d'aboutir ultérieurement à une révision générale de l'échelle internationale des températures.

1. La définition de l'intervalle fondamental de l'échelle.
2. La substitution du point triple de l'eau au point de fusion de la glace.
3. Le remplacement du thermocouple par le thermomètre à résistance de platine dans le domaine $630^{\circ},5\text{ C}$ à 1063° C .
4. La révision de la valeur de la constante C_2 .

5. De ce fait, ou pour toute autre cause, la révision des points fixes de l'échelle.

DÉFINITION DE L'UNITÉ DE CHALEUR.

Finalement le Comité consultatif porta son attention sur une question soulevée par une demande du Président Stark de la Physikalisch-Technische Reichsanstalt, concernant la définition de l'unité de chaleur, et au sujet de laquelle le Président Keesom avait présenté un rapport très exactement documenté.

On reconnut que cette question avait déjà été étudiée par d'autres organismes importants comme la Conférence internationale des Tables de la vapeur d'eau, et l'Union internationale de Physique pure et appliquée. On décida de ne pas demander au Comité international des Poids et Mesures de donner son approbation formelle à un texte quelconque sur ce sujet, avant d'avoir préalablement consulté les autres organisations intéressées. C'est sous cette réserve que le Comité a recommandé à l'unanimité l'adoption de la résolution suivante :

RÉSOLUTION II.

a. L'unité de quantité de chaleur est la quantité de chaleur équivalente à l'unité d'énergie désignée sous le nom de « joule », égale à 10^7 ergs.

b. La calorie est équivalente à $3600/860$ joules ou $1/860$ wattheure.

c. Les termes précédemment employés de « calorie-kilogramme » et « grande calorie » sont remplacés par celui de « kilocalorie ». La kilocalorie se trouve ainsi égale à $1/860$ kilowattheure.

REMARQUE 1. — *Le kilojoule est très voisin de l'unité de chaleur britannique*

$$1 \text{ BTU} = 1,055 \text{ kilojoule.}$$

REMARQUE 2. — *La calorie est pratiquement égale à l'ancienne calorie dite « à 15° C ».*

REMARQUE 3. — *En l'état actuel de la technique, la manière la plus précise de mesurer les quantités de chaleur est d'opérer par comparaison avec les quantités équivalentes d'énergie électrique.*

PROJET DE RÉDACTION

DE

L'ÉCHELLE INTERNATIONALE DE TEMPÉRATURE DE 1939

SOU MIS PAR LE COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE
AU COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES.

PREMIÈRE PARTIE.

INTRODUCTION.

L'échelle thermodynamique de température, connue communément sous le nom d'échelle Kelvin, est regardée généralement comme l'échelle fondamentale à laquelle on doit pouvoir rapporter finalement toute détermination de température. Les températures de l'échelle Kelvin sont désignées par °K et sont représentées par le symbole T . Dans cette échelle, l'intervalle qui sépare le point de fusion de la glace T_0 et le point d'ébullition de l'eau, tel qu'il est défini dans la deuxième Partie, est de 100 degrés. Dans l'échelle thermodynamique centigrade, les températures sont désignées par °C, et sont représentées par le symbole t . Cette dernière échelle ne diffère de l'échelle Kelvin que par la position de son zéro, qui est situé au point de fusion de la glace, de telle sorte que $t = T - T_0$.

L'échelle Kelvin et l'échelle thermodynamique centigrade qui en dérive sont, par la présente déclaration, adoptées en principe par la Neuvième Conférence Générale des Poids et Mesures.

Les difficultés expérimentales inhérentes aux mesures de température dans l'échelle thermodynamique ont conduit à l'adoption en 1927, par la Septième Conférence Générale des Poids et Mesures, d'une échelle pratique, qui a été désignée sous le nom d'« Échelle internationale de température ». Cette échelle concordait avec l'échelle thermodynamique centigrade aussi étroitement qu'il était possible dans l'état des connaissances à cette époque, et fut établie de façon qu'elle fût aisément et exactement reproductible et qu'elle fournît la possibilité de spécifier d'une façon univoque toute température comprise dans le domaine de l'échelle.

L'échelle définie ci-dessous constitue la première révision de celle qui avait été adoptée en 1927.

Les modes opératoires par lesquels on devra réaliser l'échelle sont en substance inchangés. Les révisions dans la définition de l'échelle qui ont pour conséquence des changements de la valeur numérique assignée à une température sont : *a.* une subdivision de l'échelle au point de solidification de l'antimoine, au lieu de 660°C ; *b.* la définition de l'échelle au-dessus du point de solidification de l'or en fonction de la formule du rayonnement de Planck avec une valeur plus précise de T_0 , au lieu de la formule de Wien. Il n'y a pas de limite supérieure à l'échelle définie ainsi.

Jusqu'à 1063°C , l'échelle définie est identique à l'échelle de 1927, à l'exception de l'intervalle compris entre le point de solidification de l'antimoine et 660°C , dans lequel la nouvelle échelle se place au-dessous de l'ancienne, la différence atteignant 0,14 degré aux environs de 660°C .

Au-dessus de 1063°C , la formule de Planck conduit à des valeurs plus petites que la formule de Wien de l'échelle de 1927; mais la différence n'atteint 1 degré que pour des températures supérieures à 3500°C . Les températures dans l'échelle internationale de température de 1927 étaient désignées par « $^{\circ}\text{C}$ » ou « $^{\circ}\text{C}$ (int.) ». Comme la désignation « $^{\circ}\text{C}$ » est conservée dans cette révision, elle devrait à l'avenir être appliquée aux températures exprimées dans la dernière échelle adoptée avant l'époque à laquelle la désignation est utilisée. Là où quelque doute pourrait surgir, l'année de l'adoption devrait être aussi spécifiée.

DEUXIÈME PARTIE.

DÉFINITION DE L'ÉCHELLE INTERNATIONALE DE TEMPÉRATURE DE 1939.

1. Les températures dans l'échelle internationale de température de 1939 seront désignées par « $^{\circ}\text{C}$ » ou « $^{\circ}\text{C}$ (int. 1939) » et représentées par le symbole t .

2. L'échelle est fondée sur un certain nombre de températures d'équilibre, fixes et reproductibles ou points fixes, auxquels sont assignées des valeurs numériques, et sur des formules spécifiées pour la relation entre la température et les indications des instruments étalonnés au moyen de ces points fixes.

3. Les points fixes fondamentaux, les points fixes primaires et les valeurs numériques assignées à ceux-ci sont donnés dans le Tableau I. Ces valeurs, dans chaque cas, définissent la température d'équilibre lorsque la pression est $1,01325 \cdot 10^6$ dynes/cm², ce qui correspond à la hauteur barométrique normale.

TABLEAU I.

Points fixes fondamentaux et points fixes primaires sous la pression normale de $1,01325 \cdot 10^6$ dynes/cm².

	Tempé- rature °C.
<i>a.</i> Température d'équilibre entre l'oxygène liquide et sa vapeur (point d'ébullition de l'oxygène)..	— 182,97
<i>b.</i> Température d'équilibre entre la glace et l'eau saturée d'air (point de fusion de la glace). <i>Point fixe fondamental</i>	0
<i>c.</i> Température d'équilibre entre l'eau liquide et sa vapeur (point d'ébullition de l'eau). <i>Point fixe fondamental</i>	100
<i>d.</i> Température d'équilibre entre le soufre liquide et sa vapeur (point d'ébullition du soufre).....	444,60
<i>e.</i> Température d'équilibre entre l'argent solide et l'argent liquide (point de solidification de l'argent).....	960,5
<i>f.</i> Température d'équilibre entre l'or solide et l'or liquide (point de solidification de l'or).....	1063,0

4. Les procédés d'interpolation conduisent à un partage de l'échelle en quatre régions :

a. Du point de fusion de la glace au point de solidification de l'antimoine, la température t est définie par la formule

$$R_t = R_0(1 + A t + B t^2),$$

dans laquelle R_t est la résistance à la température t d'un thermomètre étalon à résistance de platine. Les constantes R_0 , A et B sont déterminées par des comparaisons au point de fusion de la glace et aux points d'ébullition de l'eau et du soufre. La pureté et les conditions physiques du platine avec lequel le thermomètre est construit doivent être telles que le rapport $\frac{R_t}{R_0}$ ne soit pas inférieur à 1,391 pour $t = 100^\circ$, et à 2,647 pour $t = 444^\circ, 60$.

b. De -190°C au point de fusion de la glace, la température t est définie par la formule

$$R_t = R_0[1 + A t + B t^2 + C(t - 100)t^3],$$

dans laquelle R_t a la signification spécifiée ci-dessus, la constante C étant calculée à partir de la valeur mesurée de R_t au point d'ébullition de l'oxygène, après que les trois autres constantes ont été déterminées comme il est spécifié au paragraphe *a*.

En plus des exigences données au paragraphe *a*, le rapport $\frac{R_{-182,97}}{R_0}$ doit être inférieur à 0,247 pour les thermomètres étalons à résistance devant être utilisés au-dessous du point de fusion de la glace.

c. Du point de solidification de l'antimoine jusqu'au point de solidification de l'or, on déduit la température t de la force électromotrice \mathcal{E} d'un thermocouple étalon formé de platine et de platine-rhodium, dont une soudure reste à la température constante de 0° , tandis que l'autre est portée à la température t définie par la formule

$$\mathcal{E} = a + bt + ct^2.$$

Les constantes a , b , c , doivent être calculées à partir des valeurs mesurées de \mathcal{E} au point de solidification de l'antimoine, au point de solidification de l'argent et au point de solidification de l'or.

Dans la détermination de ces constantes, la température que l'on doit assigner au point de solidification de l'antimoine utilisé est la valeur déterminée pour cet échantillon particulier avec un thermomètre étalon à résistance de la façon spécifiée au paragraphe 4*a*. L'antimoine utilisé doit avoir un point de solidification qui ne soit pas inférieur à $630^{\circ}, 3\text{C}$.

Le platine du couple thermoélectrique étalon sera d'une pureté telle que le rapport $\frac{R_{100}}{R_0}$ ne soit pas inférieur à 1,391. Le fil d'alliage doit contenir 90 pour 100 de platine et 10 pour 100 de rhodium en poids. Le couple thermoélectrique sous sa forme définitive doit développer une force électromotrice comprise entre 10 200 et 10 400 microvolts lorsque l'une des soudures est au point de fusion de la glace et l'autre au point de solidification de l'or.

d. Au-dessus du point de solidification de l'or, 1063°,0 C, la température t est définie par la formule

$$\frac{J_t}{J_{1063^{\circ},0}} = \frac{\frac{C_2}{e^{1,336^{\circ},12 \lambda} - 1}}{\frac{C_2}{e^{(t+273^{\circ},15) \lambda} - 1}}$$

dans laquelle λ est une longueur d'onde du spectre visible, e est la base des logarithmes népériens, J_t est l'énergie de rayonnement (de longueur d'onde λ) par intervalle unité de longueur d'onde, émise en une unité de temps par l'unité d'aire d'un corps noir à la température t , et C_2 est pris égal à 1,432 cm. degré.

TROISIÈME PARTIE.

MODES OPÉRATOIRES RECOMMANDÉS ET RENSEIGNEMENTS COMPLÉMENTAIRES.

Chacun des points fixes est donné comme étant la température d'équilibre sous une pression de $1,01325 \cdot 10^6$ dynes/cm². En étalonnant un thermomètre à résistance ou un couple thermoélectrique à ces points fixes, il est nécessaire que la partie sensible de l'instrument de mesure soit amenée aussi près que possible de la température d'équilibre.

La température d'équilibre entre un liquide et sa vapeur varie notablement avec la pression. La pression de $1,01325 \cdot 10^6$ dynes/cm² correspond à la pression exercée par une colonne de mercure de 760^{mm}, soumise à une attraction de pesanteur de 980,665 dynes/g, et ayant une masse spécifique de 13,5951 g/cm³, valeur admise pour le mercure ordinaire pur à 0°C sous la pression moyenne existant dans une telle colonne de mercure.

Dans les paragraphes suivants concernant les points fixes, le dispositif expérimental et le mode opératoire recommandés sont ceux que l'expérience a montrés satisfaisants. Lorsque la température d'équilibre dépend de la pression dans une mesure appréciable, des formules représentant la relation entre la pression et la température d'équilibre sont données. Comme ces formules ne sont pas rigoureuses, il est désirable que les températures d'équilibre réalisées expérimentalement s'approchent de celles qui sont définies dans la deuxième partie, puisque tout écart à partir de la pression spécifiée introduit une incertitude qui augmente avec la grandeur de l'écart. Dans les formules donnant la variation de la température d'équilibre entre un liquide et sa vapeur, la pression, dans la région où le fil résistant de platine est logé, est celle qui doit être utilisée pour calculer la température correspondant à R_i .

1. *Point d'ébullition de l'oxygène.* — La température d'équilibre entre l'oxygène liquide et sa vapeur est réalisée expérimentalement au mieux par la méthode statique. Le thermomètre étalon à résistance et la surface libre de l'oxygène liquide dans son récipient sont amenés à la même température dans un cryostat convenable, qui peut être par exemple un bain bien agité d'oxygène liquide (cet oxygène n'a pas besoin d'être de grande pureté), ou

un bloc de métal dans un tel bain. Le tube qui relie l'espace contenant l'oxygène liquide pur au manomètre utilisé pour la mesure de la pression de vapeur devrait être protégé contre des températures inférieures à la température de l'oxygène liquide pur à l'endroit où se trouve le fil résistant du thermomètre étalon. La température à la surface d'un bain d'oxygène liquide peut être sensiblement plus basse que la température en des points situés à l'intérieur du bain.

La température d'équilibre t_p correspondant à une pression p (en millimètres de mercure) peut être trouvée avec une exactitude de quelques millièmes de degré, dans tout le domaine compris entre $p = 680^{\text{mm}}$ et $p = 780^{\text{mm}}$, au moyen de la formule

$$t_p = t_{760} + 12,6 \left(\frac{p - 760}{1000} \right) - 6,5 \left(\frac{p - 760}{1000} \right)^2.$$

2. *Point de fusion de la glace.* — On obtient la température de la glace fondante, comme la température à laquelle de la glace divisée en menus morceaux se trouve en équilibre avec de l'eau pure et saturée d'air sous la pression atmosphérique normale. L'effet d'une augmentation de pression est d'abaisser le point de congélation de 0,007 degré par atmosphère.

3. *Point d'ébullition de l'eau.* — La température d'équilibre entre l'eau liquide et sa vapeur est réalisée très simplement par la méthode dynamique, le thermomètre étant placé dans la vapeur saturante. Des hypsomètres de différents types ont été utilisés avec succès, en particulier l'hypsomètre du type Chappuis. Si la pression de la vapeur est transmise à l'appareil qui mesure la pression par de l'air, l'hypsomètre doit être disposé de façon à tenir compte du fait que la densité de l'air est plus grande

que celle de la vapeur d'eau. Si la pression est transmise au moyen d'hélium, un hypsomètre constitué par un tube de verre calorifugé, fermé à la partie inférieure, chauffé par le bas, présentant à sa partie supérieure un condenseur refroidi par de la glace, et muni d'un écran semblable à celui dont l'usage est recommandé pour l'étalonnage au point du soufre, a été trouvé très satisfaisant.

L'hypsomètre doit être disposé de façon que soient évitées une surchauffe de la vapeur autour du thermomètre et une contamination par l'air ou par d'autres impuretés. Lorsque la température d'équilibre correspondant à la pression a été atteinte, la température observée doit être indépendante du temps écoulé, de la vitesse avec laquelle la chaleur est fournie à l'hypsomètre, et de la profondeur d'immersion du thermomètre, si ce n'est dans la mesure où se produisent simultanément des changements de pression de la vapeur qui entoure la résistance de platine.

Il est recommandé de faire les mesures sous une pression aussi voisine que possible de $p = 760^{\text{mm}}$ de mercure, en utilisant au besoin une atmosphère artificielle. Pour conserver une exactitude d'environ 0,001 degré dans tout le domaine compris entre $p = 660^{\text{mm}}$ et $p = 860^{\text{mm}}$, on peut utiliser la formule ci-dessous :

$$t_p = t_{760} + 36,8578 \left(\frac{p - 760}{1000} \right) - 20,159 \left(\frac{p - 760}{1000} \right)^2 + 16,21 \left(\frac{p - 760}{1000} \right)^3.$$

En dehors de ce domaine de pression, la formule suivante doit être préférée :

$$t_p = \frac{326}{1 - 0,197864 \log_{10} \frac{p}{760}} - 226.$$

4. *Point d'ébullition du soufre.* — Dans le but d'étalonner des thermomètres à résistance, on réalise la température d'équilibre entre le soufre liquide et sa vapeur en se soumettant aux spécifications suivantes, relatives à la pureté du soufre, à l'appareil à point d'ébullition, à l'écran contre le rayonnement et au mode opératoire.

Le soufre ne devrait pas contenir plus de 0,02 pour 100 d'impuretés. Le sélénium est l'impureté dont la présence est la plus probable en quantité suffisante pour affecter la température d'équilibre d'un écart notable.

Le soufre est contenu dans un tube de verre, de silice fondue ou d'une substance analogue, et qui a un diamètre intérieur de 4^{cm} au moins et de 6^{cm} au plus. La longueur du tube est déterminée par la considération que la colonne de vapeur doit être assez longue pour être adaptée à l'écran contre le rayonnement et pour permettre les déplacements verticaux requis du thermomètre à résistance. Le chauffage électrique est préférable. La source de chaleur et toute matière de haute conductivité thermique en contact avec la source devraient se terminer au moins à 4^{cm} au-dessous de la surface libre du soufre liquide. Au-dessus de la source de chaleur, une longueur convenable du tube est entourée d'un isolant thermique. Tout dispositif utilisé pour fermer l'extrémité supérieure du tube doit avoir une ouverture pour la libre égalisation de la pression.

L'écran contre le rayonnement est formé d'une partie cylindrique, ouverte à l'extrémité inférieure, et surmontée d'une partie conique, cette dernière s'adaptant exactement au tube protecteur du thermomètre. La partie cylindrique est plus large de 1^{cm},5 à 2^{cm},5 en diamètre que le tube protecteur du thermomètre, et au moins 1^{cm} plus petite en diamètre que l'intérieur du tube qui contient le

soufre. La partie cylindrique de l'écran doit dépasser d'au moins $1^{\text{cm}},5$ chacune des extrémités du fil résistant de platine du thermomètre à résistance. On doit laisser de larges ouvertures entre le sommet de la partie cylindrique et le bas de la partie conique de l'écran contre le rayonnement, afin de permettre une libre circulation de la vapeur. La surface interne de l'écran doit être peu réfléchissante. L'écran peut être fait d'une feuille de métal ou de graphite.

Lorsqu'on étalonne un thermomètre, le soufre est chauffé à l'ébullition, et le chauffage est réglé de telle sorte que la ligne de condensation soit au moins 1^{cm} au-dessus du sommet de l'isolant thermique. Le thermomètre avec ses écrans contre le rayonnement est plongé dans la vapeur. Le bas de l'écran ne doit pas être à moins de 6^{cm} au-dessus de la surface libre du soufre liquide et son sommet à moins de 2^{cm} au-dessous du sommet de l'isolant thermique qui entoure le tube à ébullition. Lorsque la ligne de condensation a atteint de nouveau le niveau requis, on procède à des observations simultanées de la résistance et de la pression. On doit alors déplacer le thermomètre verticalement d'une longueur au moins égale à celle de la bobine résistante de platine, et sa résistance ne doit pas changer d'une quantité équivalant à plus de $0,01$ degré, compte tenu de tout changement concomitant de la pression. L'écran peut être maintenu à la même place, le thermomètre seul étant déplacé; on peut aussi déplacer à la fois le thermomètre et l'écran. L'étendue de la portion cylindrique de l'écran au delà des extrémités du fil résistant de platine, et les distances comprises d'une part entre la base de l'écran et la surface du soufre liquide et d'autre part entre le sommet de l'écran et le sommet de l'isolant thermique, ne doivent pas être inférieures aux minima recommandés, aussi

bien lorsque le thermomètre est dans sa position initiale qu'après son déplacement.

La température d'équilibre t_p qui correspond à une pression p (en millimètres de mercure) peut être trouvée avec une exactitude de quelques millièmes de degré dans tout le domaine qui s'étend de $p = 660^{\text{mm}}$ à $p = 860^{\text{mm}}$ au moyen de la formule

$$t_p = t_{760} + 90,8028 \left(\frac{p - 760}{1000} \right) - 47,573 \left(\frac{p - 760}{1000} \right)^2 + 43,61 \left(\frac{p - 760}{1000} \right)^3.$$

5. *Points de solidification de l'argent et de l'or.* —

Les données sur l'effet des impuretés les plus probables dans de l'argent ou de l'or soigneusement purifiés indiquent que l'addition de 0,01 pour 100 d'impureté métallique en poids à de l'argent pur ou de 0,005 pour 100 à de l'or pur ne change probablement pas le point de solidification de plus de 0,1 degré dans l'un et l'autre cas.

Pour l'étalonnage d'un couple thermoélectrique, le métal est contenu dans un creuset de graphite pur, de porcelaine réfractaire, ou d'une autre matière qui ne le contamine pas d'une façon appréciable.

L'argent, pendant la chauffe, doit être protégé contre l'entrée d'oxygène.

Le creuset et le métal sont placés dans un four électrique capable de chauffer son contenu à une température uniforme.

Le métal est fondu et amené à une température uniforme, quelques degrés au-dessus de son point de fusion; puis on le laisse refroidir lentement, le couple thermoélectrique y étant immergé, comme il est décrit au paragraphe suivant.

Le couple thermoélectrique, monté dans un tube de porcelaine comportant des isolateurs de porcelaine qui

séparent les deux fils, est immergé dans le métal en fusion à travers un trou ménagé au centre du couvercle du creuset.

La profondeur d'immersion doit être telle que la force électromotrice observée du couple thermoélectrique ne change pas de plus de 1 microvolt lorsque la profondeur de l'immersion est augmentée ou diminuée de 1^{cm}. Au cours de la solidification, la force électromotrice doit rester constante, dans les limites de 1 microvolt pendant une durée d'au moins 5 minutes.

Comme variante d'exécution, au lieu de déplacer le couple pour s'assurer de l'absence d'influence des conditions extérieures sur la force électromotrice observée, on peut noter le point de solidification et le point de fusion, et si ceux-ci ne diffèrent pas de plus de 2 microvolts, le point de solidification observé peut être considéré comme satisfaisant.

6. *Le thermomètre étalon à résistance.* — Le fil de platine du thermomètre étalon à résistance doit être monté de telle sorte qu'il soit soumis à un minimum de contrainte mécanique, afin que les variations de longueur qui accompagnent les changements de température aient pour effet un minimum d'effort mécanique sur le fil de platine.

Le thermomètre dans son état définitif doit être recuit à une température qui ne soit pas inférieure à 450° C, s'il ne doit pas servir au-dessus du point du soufre, ou en tout cas à une température qui ne soit pas inférieure à la température la plus élevée à laquelle il doit être utilisé.

Il est recommandé d'utiliser dans la construction de la résistance un fil de platine dont le diamètre ne soit pas plus petit que 0^{mm},05 ni plus gros que 0^{mm},5. A chaque extrémité de ce fil sont soudés généralement deux conduc-

teurs, dont l'un amène le courant et l'autre sert de prise de potentiel.

Pour la commodité du calcul, l'équation

$$R_t = R_0(1 + A t + B t^2)$$

peut être mise sous la forme proposée par Callendar :

$$t = \frac{R_t - R_0}{R_{100} - R_0} 100 + \delta \left(\frac{t}{100} - 1 \right) \frac{t}{100}.$$

De même l'équation

$$R_t = R_0[1 + A t + B t^2 + C(t - 100) t^3]$$

peut être mise sous la forme sensiblement équivalente

$$t = \frac{R_t - R_0}{R_{100} - R_0} 100 + \delta \left(\frac{t}{100} - 1 \right) \frac{t}{100} + \beta \left(\frac{t}{100} - 1 \right) \left(\frac{t}{100} \right)^3.$$

7. *Le couple thermoélectrique étalon.* — Il est recommandé d'utiliser un couple thermoélectrique étalon fait d'un fil dont le diamètre ne soit pas plus petit que 0^{mm},35 ni plus gros que 0^{mm},65.

Le mode opératoire à observer, pour utiliser le point de solidification de l'antimoine comme température d'étalonnage, est essentiellement le même que celui qui a été spécifié pour l'argent. L'antimoine a une tendance marquée à rester en surfusion avant de se solidifier. La surfusion ne sera pas excessive, si l'on ne chauffe le métal que quelques degrés au-dessus de son point de fusion et si l'on agite le métal liquide. Au cours de la solidification, la température doit rester constante dans les limites de 0,1 degré pendant une durée d'au moins 5 minutes.

8. *Températures au-dessus du point de solidification de l'or.* — Pour la détermination des températures au moyen d'un pyromètre optique, la formule approxi-

mative suivante :

$$\log_e \frac{J_t}{J_{1003,0}} = \frac{C_2}{\lambda} \left[\frac{1}{1336^0} - \frac{1}{(t + 273^0)} \right],$$

dans laquelle la constante C_2 est égale à 1,432 cm.degré, fournira généralement des valeurs qui ne sont pas sensiblement différentes de celles que fournit la formule donnée dans la deuxième partie.

9. *Relation entre l'échelle Kelvin et l'échelle internationale de température.* — La différence entre une température exprimée dans l'échelle Kelvin et la même température exprimée dans l'échelle thermodynamique centigrade est la valeur numérique de T_0 , point de fusion de la glace dans l'échelle Kelvin. Comme les températures exprimées dans l'échelle internationale de température sont très approximativement les mêmes que les températures exprimées dans l'échelle thermodynamique centigrade, il est recommandé, lorsque des températures de l'échelle internationale de température doivent être exprimées dans l'échelle Kelvin, que l'on fasse usage de la relation $T = t + T_0$, et que, en vue d'assurer l'uniformité, T_0 soit pris égal à 273°,15.

10. *Points secondaires.* — En plus des points fixes fondamentaux et primaires, on peut disposer d'un certain nombre d'autres points fixes, qui peuvent être utilisés dans l'étalonnage d'instruments secondaires de mesure de la température. Quelques-uns de ces points, ainsi que leur température dans l'échelle internationale de température, sont groupés dans le Tableau II. Les températures données sont celles qui correspondent à une pression de 760^{mm} de mercure. Les formules donnant la variation de la tension de vapeur avec la température sont des-

tinées à être utilisées dans tout le domaine qui s'étend de $p = 680^{\text{mm}}$ à $p = 780^{\text{mm}}$.

TABLEAU II.

Points fixes secondaires sous la pression normale.

	°C.
Température d'équilibre entre l'anhydride carbonique solide et sa vapeur.....	(int. 1939). —78,5
$t_p = t_{760} + 15,95 \left(\frac{p - 760}{1000} \right) - 11 \left(\frac{p - 760}{1000} \right)^2$	
Température de solidification du mercure.....	—38,87
Température de transition du sulfate de sodium décahydraté.....	32,38
Température de la vapeur de naphthalène saturante...	217,96
$t_p = t_{760} + 58,4 \left(\frac{p - 760}{1000} \right) - 33 \left(\frac{p - 760}{1000} \right)^2$	
Température de solidification de l'étain.....	231,85
Température de la vapeur de benzophénone saturante.	305,9
$t_p = t_{760} + 64,2 \left(\frac{p - 760}{1000} \right) - 37 \left(\frac{p - 760}{1000} \right)^2$	
Température de solidification du cadmium.....	320,9
Température de solidification du plomb.....	327,3
Température de solidification du zinc.....	419,5
Température de solidification de l'antimoine.....	630,5
Température de solidification du cuivre en atmosphère réductrice.....	1083
Température de solidification du nickel.....	1455
Température de solidification du palladium.....	1555
Température de solidification du platine.....	1773
Température de solidification du rhodium.....	1966
Température de solidification de l'iridium.....	2454
Température de fusion du tungstène.....	3400



ANNEXE T 4.

National Research Council (U. S. A.).

PROPOSITION

RELATIVE A LA DÉFINITION

DE

L'ÉCHELLE THERMODYNAMIQUE ABSOLUE.

(Lettre de M. F.-C. Brickwedde, Président du Comité des Échelles des Basses Températures du National Research Council, transmise par M. L.-J. Briggs, Directeur du National Bureau of Standards, à M. W.-H. Keesom, Président du Comité consultatif de Thermométrie, juillet 1939.)

Dans l'avis de transmission, il a été spécifié que le Comité des Échelles des Basses Températures présentait cette question bien plutôt en vue d'une discussion, que dans le but de faire prendre une décision formelle à la réunion de cette année.)

J'ai reçu mission du Comité des Échelles des Basses Températures du National Research Council (U. S. A.), dont les membres sont les Professeurs J.-G. Aston, W.-F. Giaque, F.-G. Keyes, H.-C. Urey et le Dr. F.-G. Brickwedde, de prier le Comité consultatif de Thermométrie près le Comité international des Poids et Mesures, de mettre à son ordre du jour, pour la discuter à la réunion de juillet, la proposition suivante :

« L'échelle absolue thermodynamique des températures,
« établie d'après l'équation $\frac{T_1}{T_2} = \frac{Q_1}{Q_2}$ qui relie les températures T_1
« et T_2 de deux états thermiques et les quantités de chaleur Q_1
« et Q_2 absorbées ou fournies par un moteur thermique parfait

« fonctionnant entre ces deux états selon un cycle de Carnot, a
« jusqu'ici été fixée en rendant égal à 100° l'intervalle compris
« entre les points de fusion de la glace et d'ébullition de l'eau. Il est
« proposé de fixer maintenant cette échelle absolue thermodyna-
« mique en assignant simplement une valeur numérique T_0 au
« point de fusion de la glace. Il est proposé également de choisir
« la valeur numérique la *meilleure* connue à la date de l'adoption
« de cette proposition pour la température de fusion de la glace
« dans l'échelle Kelvin .»

L'adoption de cette proposition signifierait *en principe* l'abandon de l'échelle centigrade dans laquelle l'intervalle compris entre les points de fusion et de vaporisation de l'eau est 100° exactement, et réduirait le rôle du point d'ébullition de l'eau à celui des autres points fixes, tels par exemple que les points normaux d'ébullition du soufre et de l'oxygène, dont les températures sont déterminées par l'expérience. L'échelle pratique des températures ayant son zéro au point de glace serait définie par l'équation $t^\circ = T^\circ - T_0^\circ$. Si l'on choisissait pour température de la glace fondante dans l'échelle Kelvin la « meilleure » valeur, la température d'ébullition de l'eau dans cette échelle pratique de température serait exactement 100° dans les limites de l'exactitude avec laquelle cette température peut être actuellement déterminée. Il est très improbable que, dans l'avenir, des mesures plus exactes conduisent, pour la température d'ébullition de l'eau dans l'échelle pratique, à des valeurs sortant des limites 99°,99 et 100°,01. Le fait que la température d'ébullition de l'eau dans l'échelle pratique ne serait pas 100° exactement n'aurait aucun inconvénient dans l'étalonnage des thermomètres, puisque ce n'est qu'accidentellement qu'on réalise la température normale d'ébullition de l'eau.

Trois des avantages que l'on gagnerait à adopter cette proposition seraient les suivants :

1° On fixerait par définition la relation entre les températures de l'échelle absolue thermodynamique et l'échelle pratique ayant son zéro au point de fusion de la glace. Actuellement, la relation entre les échelles Kelvin et centigrade doit être déterminée par l'expérience, et n'est par suite pas connue de façon certaine. De nouvelles déterminations de la température de fusion de la glace dans l'échelle Kelvin conduisent à de nouvelles valeurs pour les

températures absolues de tous les points fixes. De même, de nouvelles déterminations des coefficients fondamentaux de pression et de volume d'un gaz employé dans les thermomètres à gaz conduisent à de nouvelles valeurs de toutes les températures sur les échelles centigrade et Kelvin déterminées au moyen de ce gaz. Il s'ensuit que sont apparues une confusion et des incertitudes dans les valeurs des températures des points fixes, incertitudes qui n'étaient pas inhérentes aux mesures originales de ces températures, mais à la conversion de celles-ci d'une échelle dans l'autre. Dans le cas de points fixes à basses températures, cela présente une importance considérable.

2° Les mesures de température faites au thermomètre à gaz peuvent être rendues plus exactes dans l'échelle proposée que dans les échelles centigrades actuelles, excepté au voisinage des points de fusion de la glace et d'ébullition de l'eau dans l'échelle Celsius. Cette exactitude plus grande provient de ce qu'une détermination de la température dans l'échelle proposée n'implique que des mesures faites au point de fusion de la glace et à la température inconnue; actuellement, au contraire, on doit faire aussi une mesure au point d'ébullition de l'eau, ou bien on doit admettre les résultats des mesures faites par autrui au point d'ébullition. [La pression p d'un thermomètre à gaz parfait serait, dans l'échelle proposée, reliée à la température absolue par l'équation $T = \frac{p}{p_0} T_0$, dans laquelle p_0 est la pression du gaz au point de fusion de la glace, et T_0 est la valeur numérique assignée à cette température.]

3° Comme il ne serait pas nécessaire de faire des mesures au point d'ébullition de l'eau pour déterminer des températures dans l'échelle proposée, l'usage du thermomètre à gaz serait rendu plus simple et plus commode.

Le Comité des Échelles des Basses Températures croit que les objections les plus sérieuses à l'adoption de la proposition sont les suivantes :

1°. Elle revient à abandonner le point 100° de l'échelle centigrade, en fixant par définition une température. Toutefois, comme on l'a déjà signalé, cela n'entraînerait aucune gêne dans l'étalonnage des thermomètres, puisque la température normale d'ébullition de l'eau n'est jamais exactement réalisée, si ce n'est

accidentellement. La température d'ébullition de l'eau dans l'échelle internationale serait fixée exactement de la même façon que sont déjà fixées les températures d'ébullition du soufre et de l'oxygène. Ceci entraîne la possibilité de faire des erreurs dans le choix de cette température. Pour établir les tables de pression de vapeur, il peut paraître avantageux de rendre la pression de vapeur de l'eau exprimable exactement par un nombre simple à 100°. Toutefois, ce n'est que lorsque la pression s'exprime au moyen d'une colonne de mercure mesurée en unités métriques, que la pression de vapeur à 100° C est un nombre exact.

On a déjà signalé que tant que les mesures faites au thermomètre à gaz n'auront pu être rendues plus précises, la température d'ébullition de l'eau demeurera exactement égale à 100° dans la nouvelle échelle pratique aux limites près de nos connaissances actuelles.

2° Le changement de la définition de l'échelle de mesure pour une propriété aussi importante que la température ne peut manquer de provoquer quelques inconvénients. Cela signifierait pour beaucoup l'obligation d'apprendre de nouvelles définitions, et les livres classiques actuels ne seraient plus conformes à la définition de l'échelle des températures. Ces inconvénients seront très réduits, si la nouvelle définition choisie ne change pas sensiblement la température du point d'ébullition de l'eau.

Le Comité des Échelles des Basses Températures du National Research Council (U. S. A.) est d'avis que les avantages à retirer de l'adoption de la définition proposée pour l'échelle des températures l'emporteraient sur les inconvénients qui résulteraient d'un changement. Le Comité croit donc que la proposition mérite une étude attentive.

Le Comité des Échelles des Basses températures se rend compte que le délai précédant la réunion en juillet du Comité consultatif de Thermométrie est trop court pour permettre une étude appropriée de la proposition; par suite, il suggère qu'aucune résolution ne soit prise à la prochaine réunion du Comité consultatif. Le Comité des Échelles des Basses Températures pense cependant que, puisque le choix et l'adoption d'une valeur pour la température de fusion de la glace dans l'échelle Kelvin sont actuellement à l'ordre du jour du Comité consultatif, la définition proposée

pour l'échelle thermodynamique devrait être examinée en même temps. Le Comité des Échelles des Basses Températures est également d'avis qu'en soumettant dès maintenant cette proposition au Comité consultatif de Thermométrie, on aura le temps de l'examiner soigneusement avant une réunion ultérieure du Comité consultatif, et qu'on aura ainsi permis à l'opinion générale de se prononcer à son égard.

ANNEXE T 2.

National Bureau of Standards.

PROJET

D'UNE

ÉCHELLE INTERNATIONALE DE TEMPÉRATURE

DE 1939.

Lettre adressée le 18 février 1939 à M. A. Pérard, Directeur du Bureau international des Poids et Mesures, par M. L.-J. Briggs, Directeur du National Bureau of Standards. (Extrait.)

L'échelle internationale de température adoptée en 1927 par la Septième Conférence générale des Poids et Mesures, ayant été laissée à peu près inchangée par les minimas révisions apportées dans la rédaction du texte en 1933, est maintenant en vigueur depuis quelque douze ans. Pendant cette période le National Bureau of Standards a utilisé cette échelle, autant pour les contrôles des instruments de mesure de température que pour la publication des résultats de ses recherches. D'après notre expérience, la méthode générale utilisée pour définir l'échelle et les procédés expérimentaux recommandés sont éminemment satisfaisants, et l'usage pratiquement universel de l'échelle a éliminé presque entièrement les anciennes incertitudes sur la signification des valeurs numériques de la température dans le domaine qui s'étend au-dessus de -190°C .

La réunion de la Neuvième Conférence générale offrira cette année l'occasion de faire la révision de l'échelle en vue de tenir compte de résultats mis en évidence depuis 1927, et d'introduire

les améliorations suggérées par l'expérience acquise au cours de l'utilisation de l'échelle. Nous soumettons en conséquence nos suggestions pour les changements que nous considérons comme désirables. Pour bien préciser ces propositions, on les a mises sous la forme d'un projet d'échelle révisée, accompagné d'un mémorandum justificatif.

Nous espérons que tous les laboratoires représentés au Comité Consultatif de Thermométrie, laboratoires auxquels des exemplaires du projet et du mémorandum ont été envoyés, présenteront des commentaires, des amendements ou d'autres propositions, et qu'un projet qui sera acceptable pourra être soumis au Comité Consultatif, lors de ses réunions en juin ou juillet 1939.

MÉMORANDUM SUR LE PROJET DE RÉDACTION.

La différence la plus importante entre le projet ci-après et le texte de l'échelle de 1927 réside dans la présentation. Il a semblé que certaines allégations expliquant la nécessité et le but de l'échelle ne devraient pas être incluses dans la définition de l'échelle. On les a mises en conséquence dans une introduction qui constitue la première Partie du projet ci-joint. La deuxième Partie est la « Définition de l'échelle internationale de température de 1939 ». D'autres points qui paraissaient se grouper d'une façon plus naturelle sous le titre « Modes opératoires recommandés et renseignements complémentaires », ont été transférés sous ce titre dans une troisième Partie.

Nous ne proposons que trois changements qui affectent les valeurs numériques de la température. L'un est la substitution de 1,436 cm.deg à 1,432 cm.deg, accompagnée de la substitution de la loi de Planck à la loi de Wien, dans la définition de l'échelle au-dessus de 1063°,0C. Un autre changement est de placer la limite supérieure de la partie de l'échelle fondée sur le thermomètre étalon à résistance au point de solidification de l'antimoine et non plus à 660°C. Le troisième changement est une modification dans la formule d'interpolation à utiliser avec le thermocouple étalon, accompagnée d'un changement de la température du point de l'argent, porté de 960°,5 à 960°,7.

Les raisons qui nous ont incités à suggérer ces trois changements vont être données brièvement. Les raisons de la plupart des autres changements, qui n'affectent en grande partie que la rédaction et répondent surtout à un désir de concision et d'uniformité dans l'expression, apparaîtront par l'étude du projet lui-même. En établissant ce projet nous avons pris en considération, autant qu'il nous a paru possible, les critiques et les commentaires relatifs à l'échelle de 1927.

Dans l'échelle de 1927, on a fait coïncider le thermocouple étalon et le thermomètre à résistance étalon au point de solidification de l'antimoine, soit environ $630^{\circ},5\text{C}$, mais la concordance à 660°C a été laissée au hasard. Ceci conduit à une anomalie que l'on peut illustrer au mieux par le fait que le point de fusion de l'aluminium pur ne peut pas être exprimé dans l'échelle de 1927. Lorsqu'on le détermine avec un thermomètre étalon à résistance, on le trouve au-dessus de 660°C , et par conséquent en dehors du domaine de l'échelle fondée sur cet instrument. Cependant lorsque cette même température est mesurée avec un thermocouple étalon, on la trouve au-dessous de 660°C , et par conséquent en dehors du domaine fondé sur le thermocouple étalon. Nous avons fait quelques mesures très soignées qui indiquent que la grandeur de cette anomalie est $0,15$ degré.

En faisant de la température du point de solidification de l'antimoine l'un des points où l'échelle est fractionnée, on supprime l'anomalie mentionnée ci-dessus. Mais, à moins que l'on ne change de quelque façon la formule utilisée pour l'interpolation avec le thermocouple, les écarts entre la présente échelle et l'échelle Kelvin n'auraient pas une allure continue dans la région du point de fractionnement. En d'autres termes, les propriétés de substances qui sont régulières et continues dans leurs variations avec la température dans l'échelle Kelvin ne le seront pas lorsqu'on les exprimera en fonction de la température de l'échelle internationale. A titre d'exemple, la valeur de $\frac{de}{dt}$ d'un thermocouple étalon aura une légère discontinuité au point de fractionnement de l'échelle. Une discontinuité semblable, mais plus petite, a été trouvée au point de l'or, autre point de partage de l'échelle.

Diverses formules d'interpolation pour le thermocouple ont été examinées en vue d'en trouver une qui aurait les

valeurs requises de $\frac{de}{dt}$ aussi bien à 630° qu'à 1063°. On a constaté que l'expression du 3^e degré assez simple donnée dans le projet fournira les résultats cherchés si la température de définition du point de l'argent est portée de 960°,5 à 960°,7. Un tel changement est bien dans le domaine d'incertitude de la position du point de l'argent sur l'échelle thermodynamique centigrade. Il y a, de plus, une quantité considérable d'expériences, comprenant des mesures au thermomètre à gaz, qui indique que la différence entre les températures de solidification de l'or et de l'argent est probablement inférieure à 102,5 degrés. Puisque la température du point de l'or est fixée à 1063°, le choix de la valeur 960°,7 pour la température du point de l'argent est en accord avec les données de l'expérience. Des mesures au pyromètre optique, dans lesquelles on adopte pour C_2 la valeur 1,436 cm.deg et pour le point de l'or la température 1063°,0, conduisent à 960°,7 pour le point de l'argent.

L'adoption de la formule d'interpolation donnée dans le projet et la fixation de la température du point de l'argent à 960°,7 apporteraient les avantages suivants :

1^o Le thermomètre à résistance et le thermocouple seraient amenés en concordance très étroite au voisinage du point de solidification de l'antimoine, et en particulier au point de solidification de l'aluminium.

2^o L'échelle du thermocouple et l'échelle du pyromètre optique (avec $C_2 = 1,436$ cm.deg) seraient amenées en concordance très étroite au voisinage du point de l'or, et en particulier aux points de solidification de l'argent, 960°,7 C et du cuivre, 1083°,1 C.

3^o L'échelle modifiée ne s'écarte pas de l'échelle de 1927 de plus de 0,4 degré entre 630° et 1063° C.

Les données détaillées sur lesquelles ont été fondées les conclusions ci-dessus seront publiées dans un avenir prochain (Annexe T 3).

L'avantage d'utiliser la formule de Planck au lieu de la formule de Wien ne demande que peu d'explications; il est exposé dans la première Partie du projet. Cet emploi n'impliquera aucun calcul supplémentaire pour l'utilisation de l'échelle, puisque la formule approximative pour t_a donnée dans la troisième Partie sera probablement utilisée pour toutes les températures du domaine couvert par l'échelle de 1927.

Le changement de la valeur de C_2 produit des changements sensibles sur l'échelle. Nous avons été amenés à cette valeur $C_2 = 1,436$ cm.deg après un examen détaillé de toutes les données à notre disposition. Une Note où l'on discute ce choix paraîtra prochainement (*Voir Annexe T 4, p. T 88*). En résumé les valeurs de C_2 auxquelles on arrive par quatre voies différentes sont les suivantes :

Origine.	Valeur de C_2 cm.degré.
Pyrométrie optique.....	1,436 ₄
Mesure de $\lambda_{\text{max}} T$	1,436 ₄
Mesure de σ	1,436 ₈
Physique atomique.....	1,435 ₈
Moyenne pondérée.....	1,436

Les valeurs obtenues par pyrométrie optique sont basées sur des rapports de brillance mesurés au pyromètre optique et des valeurs de la température sur l'échelle thermodynamique déterminées soit au thermomètre à gaz, soit — dans un cas — au pyromètre à rayonnement. Cette dernière détermination ne fournissait évidemment que le rapport de deux températures, à savoir celle du point du palladium et celle du point de l'or.

La valeur 273,16 proposée pour T_0 concorde, pensons-nous, à 0,01 degré près avec toute valeur susceptible de rencontrer une approbation générale.

Les valeurs qui ont été prises en considération pour arriver au choix de 273,16 sont les suivantes :

<i>Valeurs de T_0.</i>			
Auteurs.	Laboratoires.	Date.	T_0 .
Heuse et Otto.	P. T. R.	1930	273,16
Keesom et Tuyn.	Leyde.	1936	273,14 ₄
Rœbuck.	Univ. de Wisconsin.	1936	273,16
Kinoshita et Oishi.	Univ. de Tokio.	1937	273,16 ₇
	Moyenne.....		273,16

Dans le Tableau 3, « Points fixes secondaires », la température du point de CO_2 a été donnée à $-78^{\circ},51 \text{ C}$, ce qui paraît être la meilleure valeur dans l'échelle internationale de tempé-

rature. De même le point de solidification du mercure est donné à $-38^{\circ},86$. La valeur $-38^{\circ},87$ dans l'échelle de 1927 correspond à la température déterminée avec le thermomètre à résistance et la formule originale de Callendar. La valeur correspondante lorsqu'on utilise la formule de la deuxième Partie, 4(b), est $-38^{\circ},86$. La température de solidification du zinc a été arrondie à $419^{\circ},5$. Des valeurs observées récemment s'échelonnent de $419^{\circ},48$ à $419^{\circ},52$.

Un grand nombre de résultats semble montrer que la différence entre le point de solidification du cuivre et celui de l'or est plus grande que $20,0$ degrés. Comme la température de définition du point de solidification de l'or est fixée à $1063^{\circ},0$, on a fixé le point de solidification du cuivre à $1083^{\circ},1$ pour les raisons déjà mentionnées.

Les points fixes au-dessus du point de solidification du cuivre ont été exprimés dans l'échelle de température internationale proposée, et les valeurs correspondantes sont inscrites au Tableau 3. Comme quelques valeurs de l'échelle ont été arrondies, les différences entre ces valeurs et celles qui sont proposées ne correspondent pas exactement à la différence entre les deux échelles.

Les formules du Tableau 3 pour la variation de la pression de vapeur avec la température ont une histoire curieuse. Pendant l'année 1927, dans la correspondance préliminaire entre les différents laboratoires, ces formules ainsi que celles qui concernent les points fixes fondamentaux ont été données sous la forme logarithmique. Juste avant de soumettre le texte de l'échelle proposée au Comité international et à la Septième Conférence générale, on a mis sous la forme parabolique les formules pour les points fixes fondamentaux; mais la modification correspondante des formules pour les points fixes secondaires n'a pas été faite. C'est pourquoi, en 1933, nous avons recommandé, à titre de changement de rédaction, que les formules pour les points fixes secondaires soient mises sous la forme parabolique. En 1933 pourtant ces formules, telles qu'elles ont été adoptées, sont sous la forme linéaire, qui est tout à fait mal appropriée. Nous recommandons par conséquent que les équations soient mises maintenant sous la forme parabolique.

La forme logarithmique de telles équations est applicable dans un intervalle plus étendu que la forme parabolique, et doit être préférée en général. La forme logarithmique ayant été sommai-

rement rejetée en 1927, nous n'avons pas recommandé de revenir à cette forme; mais si les autres Laboratoires sont maintenant en faveur d'un tel changement, nous serions nous-mêmes prêts à l'appuyer.

Dans le projet, on n'a modifié en rien l'échelle au-dessous du point de solidification de l'antimoine. Nous ne connaissons aucune donnée sur laquelle puisse s'appuyer un changement dans le domaine compris entre le point de fusion de la glace et le point de solidification de l'antimoine. La partie de l'échelle au-dessous du point de fusion de la glace a été le sujet de plusieurs recherches, et il y a des indications tendant à mettre en évidence de petites différences entre l'échelle de température internationale et l'échelle thermodynamique centigrade. Ces recherches n'ont pas encore mis en lumière la forme que devrait prendre une révision pratique de l'échelle. Et pour cette raison nous ne proposons aucune modification. Il ne paraît pas exister actuellement de moyen pratique pour étendre l'échelle aux températures inférieures à -190° .

PROJET DE RÉDACTION DE L'ÉCHELLE INTERNATIONALE DE TEMPÉRATURE DE 1939.

PREMIÈRE PARTIE.

INTRODUCTION.

L'échelle Kelvin, dans laquelle les températures sont désignées par "K et identifiées par le symbole T, est reconnue comme l'échelle fondamentale à laquelle toute mesure de température devrait pouvoir se rapporter finalement. Dans cette échelle thermodynamique, l'intervalle compris entre la température de la glace fondante, T_0 , et la température de la vapeur d'eau saturante, l'une et l'autre sous la pression d'une atmosphère normale, est 100 degrés. Par la présente déclaration, la Neuvième Conférence générale des Poids et Mesures adopte cette échelle, ainsi que l'Échelle Thermodynamique Centigrade dans laquelle la température est égale à $T - T_0$. Tout intervalle de température

exprimé dans l'une de ces échelles aura la même valeur numérique que lorsqu'on l'exprimera dans l'autre.

Les difficultés expérimentales inhérentes aux mesures de température dans toute l'échelle thermodynamique ont conduit à l'adoption en 1927, par la Septième Conférence générale des Poids et Mesures, d'une échelle pratique qui a été désignée sous le nom d' « Échelle Internationale de Température ». Cette échelle s'accordait avec l'Échelle Thermodynamique Centigrade aussi étroitement qu'il était possible dans l'état des connaissances à cette époque. Elle fut établie de façon qu'elle fût aisément et exactement reproductible, et qu'elle fournit la possibilité de spécifier d'une façon univoque toute température comprise dans le domaine de l'échelle.

L'échelle définie ci-dessous a été établie en vue de réaliser une concordance plus étroite avec l'Échelle Thermodynamique Centigrade que celle obtenue au moyen de l'échelle adoptée en 1927, dont ceci constitue la première révision.

Les modes opératoires par lesquels on devra réaliser l'échelle sont en substance inchangés. Les révisions dans la définition de l'échelle qui ont pour conséquence des changements de la valeur numérique assignée à une température sont : *a*, une subdivision de l'échelle au point de solidification de l'antimoine au lieu de 660°C; *b*, un changement de la valeur assignée au point de l'argent, accompagné de l'utilisation d'une formule d'interpolation différente pour le thermocouple étalon; *c*, la définition de l'échelle au-dessus du point de solidification de l'or en fonction de la formule du rayonnement de Planck, avec des constantes numériques différentes, au lieu de la formule de Wien. Il n'y a pas de limite supérieure aux températures ainsi définies.

Jusqu'à 630°C, l'échelle définie est identique à l'échelle de 1927, et jusqu'à 1200°C, les différences n'excèdent pas 0,4 degré. Entre 630° et 1063°C, les valeurs numériques de la température dans cette échelle sont plus fortes que celles de l'échelle de 1927, la différence maximum étant 0,40 degré à 800°C environ.

Les températures dans l'Échelle Internationale de Température de 1927 étaient désignées par « °C » ou « °C (Int.) ». Comme la désignation « °C » est conservée dans cette révision, elle devrait être appliquée à l'avenir aux températures exprimées dans la dernière échelle adoptée avant l'époque à laquelle la désignation est utilisée. Là où quelque doute pourrait surgir, l'année de l'adoption devrait être aussi spécifiée.

DEUXIÈME PARTIE.

DÉFINITION DE L'ÉCHELLE INTERNATIONALE
DE TEMPÉRATURE DE 1939.

1. Les températures dans l'Échelle Internationale de Température de 1939 seront désignées par « °C » ou « °C.(Int. 1939) » et représentées par le symbole t .

2. L'échelle est fondée sur un certain nombre de températures d'équilibres fixes et reproductibles, ou points fixes, auxquelles sont assignées des valeurs numériques, et sur des formules spécifiées établissant la relation entre la température et les indications des instruments étalonnés au moyen de ces points fixes.

3. Les points fixes fondamentaux et la valeur numérique assignée à chacun d'eux sont donnés dans le Tableau 1. Dans chaque cas, ces valeurs définissent la température d'équilibre lorsque la pression est $1,01325 \cdot 10^6$ dynes/cm², ce qui correspond à une hauteur barométrique de 760^{mm} à 0°C pour $g = 980,665$ cm/sec².

TABLEAU 1.

*Points fixes fondamentaux à une pression
de $1,01325 \cdot 10^6$ dynes/cm².*

	Température 0° C.
<i>a.</i> Température d'équilibre entre l'oxygène liquide et sa vapeur (point d'ébullition de l'oxygène).	— 182,97
<i>b.</i> Température d'équilibre entre la glace et l'eau saturée d'air (point de fusion de la glace)...	0,000
<i>c.</i> Température d'équilibre entre l'eau liquide et sa vapeur (point d'ébullition de l'eau).....	100,000
<i>d.</i> Température d'équilibre entre le soufre liquide et sa vapeur (point d'ébullition du soufre)....	444,60
<i>e.</i> Température d'équilibre entre l'argent solide et l'argent liquide (point de solidification de l'argent).....	960,7
<i>f.</i> Température d'équilibre entre l'or solide et l'or liquide (point de solidification de l'or).....	1063,0

4. Les procédés d'interpolation conduisent à un partage de l'échelle en quatre régions.

a. Du point de fusion de la glace au point de solidification de l'antimoine la température t est définie par la formule

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2),$$

dans laquelle R_t est la résistance à la température t d'un fil de platine entre les points de bifurcation formés par la soudure du conducteur de courant et du conducteur de potentiel d'un thermomètre étalon à résistance. Les constantes R_0 , A et B sont déterminées par des comparaisons au point de fusion de la glace et aux points d'ébullition de l'eau et du soufre. Pour un thermomètre étalon à résistance, le rapport $\frac{R_{100}}{R_0}$ ne doit pas être inférieur à 1,390,

et le rapport $\frac{R_{444,60} - R_0}{R_{100} - R_0}$ doit être compris entre 4,216 et 4,218.

b. De -190°C au point de fusion de la glace, la température t est définie par la formule

$$R_t = R_0[1 + At + Bt^2 + C(t - 100)t^3],$$

dans laquelle R_t a la signification spécifiée ci-dessus, la constante C étant calculée à partir de la valeur mesurée de R_t au point d'ébullition de l'oxygène, après que les trois autres constantes ont été déterminées comme il est spécifié au paragraphe a.

En plus des conditions énoncées au paragraphe a, le rapport $\frac{R_0 - R_{-182,97}}{R_{100} - R_0}$ doit être compris entre 1,925 et 1,928 pour un thermomètre étalon à résistance destiné à être utilisé au-dessous du point de fusion de la glace.

c. Du point de solidification de l'antimoine au point de solidification de l'or, la température t est définie par la formule

$$e = -200 + at + bt^2 + ct^3,$$

dans laquelle e est la force électromotrice, en microvolts, d'un thermocouple étalon de platine et platine rhodié, lorsque l'une des soudures est à 0°C et l'autre à la température t . Les constantes a , b , c doivent être calculées à partir des

valeurs mesurées de e au point de solidification de l'antimoine, au point de solidification de l'argent et au point de solidification de l'or. Dans la détermination de ces constantes, la température que l'on doit assigner au point de solidification de l'antimoine utilisé est la valeur déterminée pour cet échantillon particulier avec un thermomètre étalon à résistance, de la façon spécifiée au paragraphe 4a. L'antimoine utilisé doit avoir un point de solidification qui ne soit pas inférieur à 630°,3 C.

Le platine du thermocouple étalon sera d'une pureté telle que le rapport $\frac{R_{100}}{R_0}$ ne soit pas inférieur à 1,390. Le fil d'alliage doit contenir 90 pour 100 de platine et 10 pour 100 de rhodium en poids. Le thermocouple sous sa forme définitive doit développer une force électromotrice comprise entre 10200 et 10400 microvolts lorsque l'une des soudures est au point de fusion de la glace et l'autre au point de solidification de l'or.

d. Au-dessus du point de solidification de l'or, 1063°,0 C, la température t est définie par la formule

$$J_t = \frac{J_{1063,0} \cdot \frac{1,436}{e^{1330,16\lambda} - 1}}{\frac{1,436}{e^{(t+273,16)\lambda} - 1}}$$

dans laquelle : λ est une longueur d'onde, en centimètres, du spectre visible, e est la base des logarithmes népériens, et J_t est l'énergie de rayonnement (de longueur d'onde λ) par intervalle unité de longueur d'onde, émise en une unité de temps par l'unité d'aire d'un corps noir à la température t .

TROISIÈME PARTIE.

MODES OPÉRATOIRES RECOMMANDÉS ET RENSEIGNEMENTS COMPLÉMENTAIRES.

Chacun des points fixes fondamentaux est donné comme étant la température d'équilibre sous une pression de 1,01325.10⁶ dynes/cm². En étalonnant un thermomètre à résistance ou un thermocouple à ces points fixes, il est nécessaire que la partie sensible de l'instrument de mesure soit amenée aussi près que possible de la température d'équilibre.

La température d'équilibre entre un liquide et sa vapeur varie notablement avec la pression. La pression de $1,01325 \cdot 10^6$ dynes/cm² correspond à la pression exercée par une colonne de mercure de 760^{mm}, soumise à une attraction de pesanteur de 980,665 dynes/gramme, et ayant une masse spécifique de 13,5951 grammes/cm³, valeur admise pour la masse spécifique du mercure ordinaire pur à 0° C sous la pression moyenne existant dans une telle colonne de mercure.

Dans les paragraphes suivants concernant les points fixes, le dispositif expérimental et le mode opératoire recommandés sont ceux que l'expérience a montré satisfaisants. Lorsque la température d'équilibre dépend de la pression dans une mesure appréciable, des formules représentant la relation entre la pression et la température d'équilibre sont données. Comme ces formules ne sont pas exactes, il est désirable que les températures d'équilibre réalisées expérimentalement s'approchent de celles qui sont définies dans la deuxième Partie, puisque tout écart à partir de la pression spécifiée introduit une incertitude qui augmente avec la grandeur de l'écart. Dans les formules donnant la variation de la température d'équilibre entre un liquide et sa vapeur, la pression dans la région où le fil résistant de platine est logé est celle qui doit être utilisée pour calculer la température correspondant à R_t .

4. *Le point d'ébullition de l'oxygène.* — La température d'équilibre entre l'oxygène liquide et sa vapeur est réalisée expérimentalement au mieux par la méthode statique. Le thermomètre étalon à résistance et la surface libre de l'oxygène liquide dans son récipient sont amenés à la même température dans un cryostat convenable, qui peut être par exemple un bain bien agité d'oxygène liquide (cet oxygène n'a pas besoin d'être de grande pureté), ou un bloc de métal dans un tel bain. Le tube qui relie l'espace contenant l'oxygène liquide pur au manomètre utilisé pour la mesure de la pression de vapeur devrait être protégé contre des températures inférieures à la température de l'oxygène liquide pur à l'endroit où se trouve le fil résistant du thermomètre étalon. La température à la surface d'un bain d'oxygène liquide peut être sensiblement plus basse qu'en des points situés à l'intérieur du bain.

La température d'équilibre t_p correspondant à une pression p (en millimètres de mercure) peut être trouvée avec une exacti-

tude de quelques millièmes de degré dans tout le domaine compris entre $p = 680^{\text{mm}}$ et $p = 780^{\text{mm}}$ au moyen de la formule

$$t_p = t_{760} + 12,6 \left(\frac{p - 760}{1000} \right) - 6,5 \left(\frac{p - 760}{1000} \right)^2.$$

2. *Le point de fusion de la glace.* — La température d'équilibre entre la glace et l'eau saturée d'air se réalise simplement dans un mélange de glace finement divisée et d'eau saturée d'air dans un vase bien isolé tel qu'un vase de Dewar. En observant quelques précautions concernant la pureté de la glace et de l'eau, la saturation de l'eau par l'air et l'effet de la pression, on peut réaliser une température reproductible à mieux que 0,001 degré.

On peut calculer l'effet de la pression par la formule

$$t = -0,0098 \left(\frac{b - 760}{760} \right) - 0,0075 \frac{H}{13,6 \times 760},$$

dans laquelle t est la température d'équilibre, b est la pression barométrique ambiante (en millimètres de mercure) à laquelle l'eau est saturée par l'air, H est la profondeur en millimètres au-dessous de la surface du mélange glace et eau.

3. *Le point d'ébullition de l'eau.* — La température d'équilibre entre l'eau liquide et sa vapeur est réalisée très simplement par la méthode dynamique, le thermomètre étant placé dans la vapeur saturante. Des hypsomètres de différents types ont été utilisés avec succès. Si la pression de la vapeur est transmise à l'appareil qui mesure la pression par de l'air, l'hypsomètre doit être disposé de façon à tenir compte du fait que la densité de l'air est plus grande que celle de la vapeur d'eau. Si la pression est transmise au moyen d'hélium, un hypsomètre constitué par un tube de verre thermiquement isolé, fermé à la partie inférieure, chauffé par le bas, muni à sa partie supérieure d'un condenseur refroidi par de la glace, et protégé contre le rayonnement par l'adjonction d'un écran semblable à celui dont l'usage est recommandé pour l'étalonnage au point du soufre, a été trouvé très satisfaisant.

L'hypsomètre doit être disposé de façon que soient évitées une surchauffe de la vapeur autour du thermomètre, ou une contamination par l'air ou par d'autres impuretés. Lorsque la température d'équilibre correspondant à la pression a été atteinte, la tempé-

rature observée doit être indépendante du temps écoulé, de la vitesse avec laquelle la chaleur est fournie à l'hypsomètre, et de la profondeur d'immersion du thermomètre, si ce n'est dans la mesure où se produisent simultanément des changements de pression de la vapeur qui entoure la résistance de platine.

La température d'équilibre t correspondant à une pression p (en millimètres de mercure) peut être trouvée avec une exactitude d'environ 0,001 degré, dans tout le domaine compris entre $p = 660$ et $p = 860^{\text{mm}}$, au moyen de l'une ou l'autre des formules

$$t_p = t_{760} + 36,8578 \left(\frac{p-760}{1000} \right) - 20,159 \left(\frac{p-760}{1000} \right)^2 + 16,21 \left(\frac{p-760}{1000} \right)^3$$

ou

$$t_p = \frac{326}{1 - 0,197864 \log_{10} \frac{p}{760}} - 226.$$

La seconde formule est à préférer en dehors du domaine mentionné ci-dessus.

4. *Le point d'ébullition du soufre.* — Dans le but d'étalonner des thermomètres à résistance, on réalise la température d'équilibre entre le soufre liquide et sa vapeur en se soumettant aux spécifications suivantes relatives à la pureté du soufre, à l'appareil à point d'ébullition, à l'écran contre le rayonnement et au mode opératoire.

Le soufre ne devrait pas contenir plus de 0,02 pour 100 d'impuretés. Le sélénium est l'impureté dont la présence est la plus probable en quantité suffisante pour affecter la température d'équilibre d'une façon notable.

Le soufre est contenu dans un tube de verre, de silice fondue ou d'une substance analogue, et qui a un diamètre intérieur de 4^{cm} au moins et de 6^{cm} au plus. La longueur du tube est déterminée par la considération que la colonne de vapeur doit être assez longue pour être adaptée à l'écran contre le rayonnement et pour permettre les déplacements verticaux requis du thermomètre à résistance. Le chauffage électrique est préférable. La source de chaleur et toute matière de haute conductivité thermique en contact avec la source devraient se terminer au moins à 4^{cm} au-dessous de la surface libre du soufre liquide. Au-dessus de la source de chaleur, une longueur convenable du tube est entourée d'un isolant thermique. Tout dispositif utilisé pour

fermer l'extrémité supérieure du tube doit avoir une ouverture pour la libre égalisation de la pression

L'écran contre le rayonnement est formé d'une partie cylindrique, ouverte à l'extrémité inférieure, et surmontée d'une partie conique, cette dernière s'adaptant exactement au tube protecteur du thermomètre. La partie cylindrique est plus large de 1^{cm},5 à 2^{cm},5 en diamètre que le tube protecteur du thermomètre, et au moins 1^{cm} plus petite en diamètre que l'intérieur du tube qui contient le soufre. La partie cylindrique de l'écran doit dépasser d'au moins 1^{cm},5 chacune des extrémités du fil résistant de platine du thermomètre à résistance. On doit laisser de larges ouvertures entre le sommet de la partie cylindrique et le bas de la partie conique de l'écran contre le rayonnement, afin de permettre une libre circulation de la vapeur. La surface interne de l'écran doit être peu réfléchissante. L'écran peut être fait d'une feuille de métal ou de graphite.

Lorsqu'on étalonne un thermomètre, le soufre est chauffé à l'ébullition, et le chauffage est réglé de telle sorte que la ligne de condensation soit au moins 1^{cm} au-dessus du sommet de l'isolant thermique. Le thermomètre avec ses écrans contre le rayonnement est plongé dans la vapeur. Le bas de l'écran ne doit pas être à moins de 6^{cm} au-dessus de la surface libre du soufre liquide et son sommet à moins de 2^{cm} au-dessous du sommet de l'isolant thermique qui entoure le tube à ébullition. Lorsque la ligne de condensation a atteint de nouveau le niveau requis, on procède à des observations simultanées de la résistance et de la pression. On doit alors déplacer le thermomètre verticalement d'une longueur au moins égale à celle de la bobine résistante de platine, et sa résistance ne doit pas changer d'une quantité équivalente à plus de 0,01 degré, compte tenu de tout changement concomitant de la pression. L'écran peut être maintenu à la même place, le thermomètre seul étant déplacé; on peut aussi déplacer à la fois le thermomètre et l'écran. L'étendue de la portion cylindrique de l'écran au delà des extrémités du fil résistant de platine et les distances comprises d'une part entre la base de l'écran et la surface du soufre liquide, et d'autre part entre le sommet de l'écran et le sommet de l'isolant thermique, ne doivent pas être inférieures aux minima recommandés, aussi bien lorsque le thermomètre est dans sa position initiale qu'après son déplacement.

La température d'équilibre t_p qui correspond à une pression p

(en millimètres de mercure) peut être trouvée avec une exactitude de quelques millièmes de degré dans tout le domaine qui s'étend de $p = 660^{\text{mm}}$ à $p = 860^{\text{mm}}$ au moyen de la formule

$$t_p = t_{760} + 90,8028 \left(\frac{p-760}{1000} \right) - 47,573 \left(\frac{p-760}{1000} \right)^2 + 43,61 \left(\frac{p-760}{1000} \right)^3.$$

3. *Les points de solidification de l'argent et de l'or.* —

Les données sur l'effet des impuretés les plus probables dans de l'argent ou de l'or soigneusement purifiés indiquent que l'addition de 0,01 pour 100 d'impureté métallique en poids à de l'argent pur ou de 0,005 pour 100 à de l'or pur ne change probablement pas le point de solidification de plus de 0,1 degré dans l'un et l'autre cas.

Pour l'étalonnage d'un thermocouple, le métal est contenu dans un creuset de graphite pur, de porcelaine réfractaire, ou d'une autre matière qui ne le contamine pas d'une façon appréciable.

L'argent, pendant la chauffe, doit être protégé contre l'entrée d'oxygène.

Le creuset et le métal sont placés dans un four électrique capable de chauffer son contenu à une température uniforme.

Le métal est fondu et amené à une température uniforme quelques degrés au-dessus de son point de fusion, puis on le laisse refroidir lentement, le thermocouple y étant immergé comme il est décrit au paragraphe suivant.

Le thermocouple, monté dans un tube de porcelaine comportant des isolateurs de porcelaine qui séparent les deux fils, est immergé dans le métal en fusion à travers un trou ménagé au centre du couvercle du creuset.

La profondeur d'immersion doit être telle que la force électromotrice observée du thermocouple ne change pas de plus de 1 microvolt lorsque la profondeur de l'immersion est augmentée ou diminuée de 1^{cm}. Pendant la solidification, la force électromotrice doit rester constante dans les limites de 1 microvolt pendant une durée d'au moins 5 minutes.

Comme variante d'exécution, au lieu de déplacer le couple pour s'assurer de l'absence d'influence des conditions extérieures sur la force électromotrice observée, on peut noter le point de solidification et le point de fusion, et si ceux-ci ne diffèrent pas

de plus de 2 microvolts, le point de solidification observé peut être considéré comme satisfaisant.

6. *Le thermomètre étalon à résistance.* — Le fil de platine du thermomètre étalon à résistance doit être monté de telle sorte qu'il soit soumis à un minimum de contrainte mécanique, afin que les variations de longueur qui accompagnent les changements de température aient pour effet un minimum d'effort mécanique sur le fil de platine.

Le thermomètre dans son état définitif doit être recuit à une température qui ne soit pas inférieure à 450°C. s'il ne doit pas servir au-dessus du point du soufre, ou en tout cas à une température qui ne soit pas inférieure à la température la plus élevée à laquelle il doit être utilisé.

Il est recommandé d'utiliser, dans la construction de la résistance, un fil de platine dont le diamètre ne soit pas plus petit que 0^{mm},05 ni plus gros que 0^{mm},5.

Pour la commodité du calcul, l'équation

$$R_t = R_0(1 + A t + B t^2)$$

peut être mise sous la forme proposée par Callendar

$$t = \frac{R_t - R_0}{R_{100} - R_0} 100 + \delta \left(\frac{t}{100} - 1 \right) \frac{t}{100}.$$

Les spécifications données dans la deuxième Partie concernant les valeurs permises de $\frac{R_{444,60} - R_0}{R_{100} - R_0}$ sont équivalentes à la prescription que la constante δ soit comprise entre 1,488 et 1,501 degré. De même l'équation

$$R_t = R_0[1 + A t + B t^2 + C(t - 100) t^3]$$

peut être mise sous la forme équivalente

$$t = \frac{R_t - R_0}{R_{100} - R_0} 100 + \delta \left(\frac{t}{100} - 1 \right) \frac{t}{100} + \beta \left(\frac{t}{100} - 1 \right) \left(\frac{t}{100} \right)^3.$$

7. *Le thermocouple étalon.* — Il est recommandé d'utiliser un thermocouple étalon fait d'un fil dont le diamètre ne soit pas plus petit que 0^{mm},35 ni plus gros que 0^{mm},65.

Le mode opératoire à observer pour utiliser le point de solidification de l'antimoine comme température d'étalonnage est essentiellement le même que celui qui a été spécifié pour l'argent. L'antimoine a une tendance marquée à rester en surfusion avant de se solidifier. La surfusion ne sera pas excessive si l'on ne chauffe le métal que quelques degrés au-dessus de son point de fusion et si l'on agite le métal liquide. Pendant la solidification, la température doit rester constante dans les limites de 0,1 degré pendant une durée d'au moins 5 minutes.

8. *Températures au-dessus du point de solidification de l'or.* — Pour la détermination des températures au moyen d'un pyromètre optique, la formule approximative suivante

$$\log_e \frac{J_t}{J_{1063,0}} = \frac{1,436}{\lambda} \left[\frac{1}{1336} - \frac{1}{(t_a + 273)} \right]$$

fournira généralement des valeurs qui ne sont pas sensiblement différentes de celles que fournit la formule donnée dans la deuxième Partie. Dans le Tableau 2, les valeurs de t_a obtenues en utilisant cette formule d'approximation, ainsi que les valeurs de t_b obtenues en utilisant la formule donnée dans le texte de l'Échelle Internationale de Température de 1927 sont comparées à t , température exprimée dans l'Échelle Internationale de Température de 1939. La relation entre t_a et t_b est indépendante de la valeur λ utilisée; mais les relations entre t et t_a et entre t et t_b données dans le Tableau 2 sont relatives à $\lambda = 65.10^{-6}$ cm. Pour des valeurs plus petites de λ , les valeurs de t_a seront plus petites. Ainsi pour $\lambda = 45.10^{-6}$ cm, une valeur de $t_a = 10143^\circ$ correspond à une température de $t = 10000^\circ$ C (Int. 1939).

Les nombres entre parenthèses correspondent aux températures qui sortent des limites du domaine de l'Échelle Internationale de Température de 1927.

TABLEAU 2.

Valeurs correspondantes de la température, calculées à partir des trois formules, pour $\lambda = 65 \cdot 10^{-6}$ cm.

$t^{\circ}\text{C.}$	t_a	t_b
1063,0.....	1063,0	1063,0
1500,0.....	1499,9	1501,5
2000,0.....	1999,7	2004,2
2500,0.....	2499,6	2507,9
3000,0.....	2999,8	3013,1
3500,0.....	3500,7	3520,1
4000,0.....	4003,2	4029,7
4500,0.....	4508,3	4543
5000.....	5017	(5061)
6000.....	6050	(6117)
8000.....	8222	(8351)
10000.....	10617	(10839)
20000.....	32130	(34370)
31600.....	∞	(-478560)
∞	-273	(-273)

9. *Relation entre l'Échelle Kelvin et l'Échelle Internationale de Température.* — La différence entre une température exprimée dans l'Échelle Kelvin et la même température exprimée dans l'Échelle Thermodynamique Centigrade est la valeur numérique de T_0 , point de fusion de la glace dans l'Échelle Kelvin. Comme les températures exprimées dans l'Échelle Internationale de Température sont très approximativement les mêmes que les températures exprimées dans l'Échelle Thermodynamique Centigrade, il est recommandé, lorsque des températures de l'Échelle Internationale de Température doivent être exprimées dans l'Échelle Kelvin, que l'on fasse usage de la relation $T = t + T_0$, et que, en vue d'assurer l'uniformité, T_0 soit pris égal à $273^{\circ},16$.

10. *Points secondaires.* — En plus des points fixes fondamentaux, on peut disposer d'un certain nombre d'autres points fixes, qui peuvent être utilisés dans l'étalonnage d'instruments secondaires de mesure de la température. Quelques-uns de ces points, ainsi que leur température dans l'Échelle Internationale, sont groupés dans le Tableau 3. Les températures données sont

celles qui correspondent à une pression de 760^{mm} de mercure. Les formules donnant la variation de la pression de vapeur avec la température sont destinées à être utilisées dans tout le domaine qui s'étend de $p = 680^{\text{mm}}$ à $p = 780^{\text{mm}}$.

TABLEAU 3.

Points fixes secondaires à 760^{mm} de pression.

°C. (Int. 1939).

Température d'équilibre entre l'anhydride carbonique solide et sa vapeur..... — 78,51

$$t_p = t_{760} + 15,95 \left(\frac{p - 760}{1000} \right) - 11 \left(\frac{p - 760}{1000} \right)^2.$$

Température de solidification du mercure..... — 38,86

Température de transition du sulfate de sodium décahydraté..... 32,38

Température de la vapeur de naphthalène saturante. 217,96

$$t_p = t_{760} + 58,4 \left(\frac{p - 760}{1000} \right) - 33 \left(\frac{p - 760}{1000} \right)^2.$$

Température de solidification de l'étain..... 231,85

Température de la vapeur de benzophénone saturante..... 305,9

$$t_p = t_{760} + 64,2 \left(\frac{p - 760}{1000} \right) - 37 \left(\frac{p - 760}{1000} \right)^2.$$

Température de solidification du cadmium..... 320,9

Température de solidification du plomb..... 327,3

Température de solidification du zinc..... 419,5

Température de solidification de l'antimoine..... 630,5

Température de solidification du cuivre en atmosphère réductrice..... 1083,1

Température de solidification du nickel..... 1453,5

Température de solidification du palladium..... 1552

Température de solidification du platine..... 1770

Température de solidification de l'iridium..... 2446

Température de fusion du tungstène..... 3390



ANNEXE T 3.

National Bureau of Standards.

DONNÉES DÉTAILLÉES

CONCERNANT

L'ÉCHELLE DE TEMPÉRATURE

DANS LE DOMAINE DÉFINI

AU MOYEN DU COUPLE THERMOÉLECTRIQUE.

(Mars 1939).

En comparant les indications de thermocouples étalons et de thermomètres à résistance étalons au voisinage de 660°C , on a obtenu les résultats qui sont donnés dans le Tableau I. Celui-ci montre que dans l'Echelle Internationale de Température de 1927, la température indiquée comme étant 660° par le thermocouple est plus élevée que la température indiquée comme étant 660° par le thermomètre à résistance d'une quantité qui est d'environ $0,15$ degré de l'Echelle Centigrade Thermodynamique. Le point de fusion de l'aluminium pur est compris entre ces deux températures et se trouve par conséquent dans l'intervalle que l'on ne peut exprimer dans l'échelle de 1927. On propose de supprimer cette anomalie en définissant l'échelle au moyen du thermomètre à résistance depuis -190°C jusqu'au point de solidification de l'antimoine au lieu de la définir de -190°C jusqu'à 660°C .

Comme il est indiqué dans le *Mémoire sur le projet de rédaction* (Annexe T 2, p. T 61), il serait également avantageux de modifier la formule d'interpolation utilisée avec le thermocouple, afin que les écarts entre l'Echelle Internationale et

l'Echelle Kelvin aient une allure aussi continue que possible au voisinage des points de partage de l'échelle au point de solidification de l'antimoine et au point de solidification de l'or.

TABLEAU I.

Observations au point de solidification de l'aluminium.

Année.	Observateurs.	Thermomètre à résistance		Couple thermoélectrique	
		E. I. T. 1927 (° C).	N°.	E. I. T. 1927 Éq. 1 Tab. III (° C).	1939 Éq. 9 proposé Tab. VI (° C).
1929.	Roeser (1).....	659,23	E2 et E3	659,05 (2)	659,18 (2)
1936.	Dahl et Jessup (3)....	660,01	18	659,87	660,02
1939.	»	660,07	SC 3	659,91	660,05
1939.	»	660,07	SC 4	659,93	660,07

Tant que l'on n'aura pas introduit un changement dans la formule utilisée pour l'interpolation dans le domaine du thermocouple, les résultats dont on dispose et qui sont résumés dans le Tableau VI indiqueront que, dans l'échelle de température qui en résulte, la pente de la courbe représentant une propriété quelconque d'une substance comme une fonction de la température possédera une discontinuité d'environ 5 pour 1000 au point de l'antimoine et une discontinuité de 2 pour 1000 au point de l'or.

La valeur de $\frac{de}{dt}$ du thermocouple à 1063°C dépend presque exclusivement de la valeur assignée à l'intervalle de température qui sépare les points de solidification de l'or et de l'argent. En conséquence, la valeur assignée à cet intervalle doit s'accorder avec celle que l'on détermine au pyromètre optique, si des intervalles de température mesurés au voisinage de 1063° avec les deux instruments doivent être les mêmes. La valeur pour le point de solidification de l'argent qui donnera ce résultat dépend évidemment de la valeur de C_2 utilisée pour la définition de l'échelle au-dessus du point de solidification de l'or.

(1) *Bur. of Stds. Journ. Research*, 3, 1929, p. 343, R. P. 99.

(2) La valeur rapportée dans le N. B. S., R. P. 99 a été recalculée en tenant compte du changement du point de solidification de l'argent rapporté dans le N. B. S., R. P. 557 et R. P. 573.

(3) Non publié.

Quelques déterminations de l'intervalle de température qui sépare les points de solidification de l'argent et de l'or sont données dans le Tableau II. Les deux déterminations de cet intervalle au moyen d'un thermomètre à gaz qui sont citées tombent entre les deux valeurs obtenues au moyen d'un pyromètre optique et calculées en prenant $C_2 = 1,432$ ou $C_2 = 1,436$. Pour cet intervalle la valeur obtenue au moyen du thermomètre à résistance tombe de même entre ces deux dernières valeurs, mais n'a peut-être pas grande signification. Elle se trouve quelque peu plus près de la valeur obtenue en prenant $C_2 = 1,436$. Les valeurs 960,5 pour le point de solidification de l'argent et 1,432 pour C_2 sont cohérentes dans la limite des erreurs d'observation et les valeurs 960,7 pour le point de solidification de l'argent et 1,436 pour C_2 sont pareillement cohérentes, aux erreurs d'observation près. De plus, l'une ou l'autre des valeurs du point de solidification de l'argent est d'accord avec les déterminations de l'intervalle au moyen d'un thermomètre à gaz à 0,1 ou 0,2 degré

TABLEAU II.

Observations donnant la différence de température entre les points de solidification de l'or et de l'argent.

Année.	Observateurs.	Instruments.	Différence en degrés.	
1899.	Holborn et Day ⁽¹⁾ ...	Thermomètre à gaz	102,5	
1911.	Day et Sosman ⁽²⁾ ...	»	102,4	
1936.	Wensel et Roeser ⁽³⁾ .	Pyromètre optique	$\left\{ \begin{array}{l} (C_2 = 1,432) \\ (C_2 = 1,436) \end{array} \right.$	102,6 102,3
1930.	Moser ⁽⁴⁾	Thermomètre à résistance		102,37 ⁽⁵⁾

⁽¹⁾ *Wied. Ann.*, 68, 1899, p. 817; *Am. J. Sci.*, 8, 1899, p. 165.

⁽²⁾ *Car. Inst. of Wash. Pub.*, n° 157, 1911; *Am. J. Sci.*, 33, 1912, p. 517.

⁽³⁾ Non publié.

⁽⁴⁾ *Ann. d. Physik*, 3, 1930, p. 852.

⁽⁵⁾ Cette différence a été obtenue en employant le point de solidification de l'or (1063°,00 C) comme quatrième point d'étalonnage et en modifiant l'équation de Callendar aux températures plus élevées. La valeur rapportée a été recalculée en tenant compte du changement du point de solidification de l'argent mentionné dans N. B. S., R. P. 573; *Ann. d. Physik*, 2, 1933, p. 243; *N. P. L. Collected Researches*, 24, 1932-33, p. 115; et vérifiée par correspondance.

près. Une comparaison de diverses formules d'interpolation est donnée dans les Tableaux III et IV pour un certain thermocouple. Celles du Tableau III sont fondées sur 960,5 pour le point de solidification de l'argent, tandis que celles du Tableau IV sont fondées sur 960,7 pour ce même point. On voit que, si l'on choisit 960,7 pour le point de solidification de l'argent, l'équation (9) $e = at + bt^2 + ct^3 - 200$ évite au mieux les discontinuités mentionnées. Si le point de solidification est maintenu à 960,5, dans ce cas l'équation (4) $e = at + bt^2 + ct^3 - 100$ réalise au mieux le même résultat. On a obtenu des résultats pratiquement identiques avec trois thermocouples différents provenant de deux origines différentes.

On peut voir l'effet d'un changement de 0,2 degré du point de solidification de l'argent et l'effet d'un changement du terme constant dans la formule d'interpolation en comparant les différentes colonnes des Tableaux III et IV. Le terme constant, calculé lorsque le point de solidification du zinc est utilisé comme quatrième point d'étalonnage, est environ -230 lorsque le point de solidification de l'argent est pris égal à 960,5°C (équation 2), et est environ -270 lorsque le point de solidification de l'argent est pris égal à 960,7 (équation 8).

On ne possède aucun résultat qui indique que l'une des équations discutées représente l'Échelle Centigrade Thermodynamique plus fidèlement qu'aucune des autres. Day et Sosman, en comparant des thermocouples au thermomètre à gaz à un certain nombre de points fixes situés entre 320°C et 1083°C et aussi à 854°C, ont trouvé que des équations de la forme $e = a + bt + ct^2$ et de la forme $e = a + bt + ct^2 + dt^3$ représentent les observations avec l'exactitude qu'ils mentionnent pour leurs comparaisons, exactitude qui varie depuis 0,3 degré à 320°C jusqu'à 0,8 degré à 1083°C.

Quelques observations de l'intervalle de température compris entre le point de solidification de l'or et le point de solidification du cuivre sont montrées dans le Tableau V. L'intervalle est soit 20,1, soit 20,2 degrés C. Si l'on choisit pour C_2 la valeur 1,436, le point de solidification du cuivre devrait être 1083,1 tandis que si C_2 est pris égal à 1,432, le point de solidification du cuivre devrait être 1083,2. Le Tableau VI indique que 1083,2 pour le cuivre et 960,5 pour l'argent, ou bien 1083,1 pour le cuivre et 960,7 pour l'argent, sont des valeurs respectivement cohérentes.

TABLEAU III. — Comparaison de diverses équations
d'interpolation, le point de solidification de l'argent étant fixé à 960°,5 C.

	Temp. donnée		Thermocouple f. e. m. Microvolts.	Température donnée par l'équation n°						
	par therm. résistance.	par pyrom. optique $C_2=1,432$.		(1).	(2).	(3).	(4).	(5).	(6).	
				E. I. T. 1927						
Sb.....	630,43		5230,0 5544,0	600,00 630,43	599,89 630,43	599,87 630,43	599,79 630,43	599,76 630,43	599,76 630,43	
Al.....	660,07		5851,1 6272,6	659,93 700,00	660,00 700,12	660,02 700,16	660,07 700,26	660,12 700,34	660,10 700,29	
Cu—Ag.....			7113,6 7346,5	778,55 800,00	778,70 800,14	778,74 800,17	778,85 800,28	778,96 800,38	778,89 800,31	
Ag.....		960,4	8451,6 9135,4 9588,0	900,00 960,50 1000,00	900,04 960,50 999,98	900,06 960,50 999,98	900,10 960,50 999,97	900,13 960,50 999,96	900,11 960,50 999,97	
Au.....		1063,00	10319,9	1063,00	1063,00	1063,00	1063,00	1063,00	1063,00	
Cu.....		1083,18	10556,6 10755,5	1083,15 1100,00	1083,17 1100,04	1083,17 1100,05	1083,19 1100,08	1083,20 1100,12	1083,19 1100,09	

Équation (1) : $e = a + bt + ct^2$ (Point de Sb, Ag, + Au) (Éch. Int. Temp. 1927),

» (2) : $e = a + bt + ct^2 + dt^3$ (» Zn, Sb, Ag, + Au),

» (3) : $e = at + bt^2 + ct^3 - 200$ (» Sb, Ag, + Au),

» (4) : $e = at + bt^2 + ct^3 - 100$ (» Sb, Ag, + Au),

» (5) : $e = at + bt^2 + ct^3$ (» Sb, Ag, + Au),

» (6) : $e = at - be^{-ct}$ (» Sb, Ag, + Au).

TABLEAU IV. — Comparaison de diverses équations
d'interpolation, le point de solidification de l'argent étant fixé à 960°,7 C.

	Temp. donnée		Thermocouple f. c. m. Microvolts.	Température donnée par l'équation n°					
	par therm. résistance. E. I. T. 1927	par pyrom. optique C _s =1,436.		(7).	(8).	(9). Propos. NBS 1939	(10).	(11).	(12).
Sb.....	630,43		5230,0 5544,0	599,90 630,43	599,86 630,43	599,81 630,43	599,74 630,43	599,66 630,43	599,69 630,43
Al.....	660,07		5851,1 6272,6	660,00 700,15	660,03 700,21	660,07 700,27	660,13 700,37	660,18 700,47	660,16 700,43
Cu—Ag.....			7113,6 7346,5	778,72 800,28	778,88 800,33	778,95 800,40	779,06 800,50	779,17 800,61	779,12 800,55
Ag.....		960,7	8451,6 9135,4 9588,0	900,26 960,70 1000,14	900,28 960,70 1000,13	900,30 960,70 1000,12	900,34 960,70 1000,11	900,38 960,70 1000,10	900,36 960,70 1000,10
Au.....		1063,00	10319,9	1063,00	1063,00	1063,00	1063,00	1063,00	1063,00
Cu.....		1083,12	10556,6 10755,5	1083,10 1099,90	1083,10 1099,92	1083,12 1099,94	1083,13 1099,97	1083,14 1100,00	1083,14 1099,98

21

Équation (7) : $e = a + bt + ct^2$ (Point de Sb, Ag, + Au),
 » (8) : $e = a + bt + ct^2 + dt^3$ (» Zn, Sb, Ag, + Au),
 » (9) : $e = at + bt^2 + ct^3 - 200$ (» Sb, Ag, + Au) (Propos. N.B.S 1939),
 » (10) : $e = at + bt^2 + ct^3 - 100$ (» Sb, Ag, + Au),
 » (11) : $e = at + bt^2 + ct^3$ (» Sb, Ag, + Au),
 » (12) : $e = at - be^{-ct}$ (» Sb, Ag, + Au).

— T 83 —

TABLEAU V.

Observations donnant la différence entre les points de solidification du cuivre et de l'or.

Année.	Observateurs.	Instruments.	Différence en degrés
1899.	Holborn et Day (1).....	Thermomètre à gaz	20,1
1911.	Day et Sosman (2).....	»	20,2
1936.	Wensel et Roeser (3)...	Pyromètre optique	20,18
		{ (C ₂ = 1,432)	20,12
		{ (C ₂ = 1,436)	

(1) Voir référence (1), Tableau II.

(2) Voir référence (2), Tableau II.

(3) Non publié.

Si la limite supérieure de la partie de l'échelle qui est fondée sur le thermomètre à résistance est portée de 660° au point de solidification de l'antimoine, il n'y aura aucun changement apparent dans l'échelle elle-même, et l'anomalie à 660° sera écartée. Nous nous attendons à ce que ce changement soit accepté d'une façon générale.

TABLEAU VI.

Comparaison entre l'Échelle Internationale de Température de 1927 et l'échelle proposée.

Thermomètre à résistance		Thermocouple			Pyromètre optique	
E. I. T. 1927.	Proposition 1939.	E. I. T. 1927	Proposition 1939		E. I. T. 1927	Proposition 1939
		Éq. (1).	Éq. (4).	Éq. (9).	C ₂ = 1,432.	C ₂ = 1,436
630,50	630,50	630,50	630,50	630,50		
660,00	(660,00)	(659,86)	660,00	660,00		
(660,14)	(660,14)	660,00	660,14	660,14		
		700,00	700,26	700,27		
		800,00	800,28	800,40		
		900,00	900,10	900,30		
		960,50	960,50	960,70	(960,4)	(960,7)
		1000,00	999,97	1000,12		
		1063,00	1063,00	1063,00	1063,00	1063,00
		(1083,15)	(1083,19)	(1083,12)	(1083,18)	1083,12

Les arguments en faveur d'une modification consistant à choisir C₂ = 1,436 au lieu de C₂ = 1,432 paraissent être suffi-

sants pour appeler un examen très sérieux. Les avantages qu'il y a à utiliser ce qui semble être une meilleure valeur pour C_2 doivent être mis en balance en face des inconvénients temporaires qui résultent d'un changement.

La disposition de la partie de l'échelle fondée sur le thermocouple dépend étroitement de la décision concernant la valeur de C_2 . Il semble que trois solutions soient à envisager.

1° Pas de changement autre que de reporter au point de solidification de l'antimoine la limite inférieure de la partie de l'échelle définie au moyen du thermocouple. Ceci n'impliquera pratiquement aucun des inconvénients dont est nécessairement accompagné tout changement.

2° Faire le changement mentionné ci-dessus au 1°, conserver la même valeur de C_2 , mais donner à l'équation du thermocouple la forme nouvelle $e = at + bt^2 + ct^3 - 100$. Ceci n'impliquera aucun changement des températures assignées à aucun des points fixes de base, et n'introduira aucun changement en dehors de l'intervalle compris entre 630° C et 1063° C. Il n'y aura aucune variation brusque de la valeur de $\frac{de}{dt}$ pour un couple thermoélectrique, par exemple à 630° ou à 1063°. Le changement de l'équation du couple thermoélectrique serait considéré probablement comme une simple modification de forme, et le changement d'échelle qui atteint presque 0,3 degré à 800° C ne serait sans doute qu'un petit inconvénient.

3° Faire la modification mentionnée au 1°, porter la valeur de C_2 à 1,436, porter à 960,7 la température assignée au point de solidification de l'argent et donner à l'équation du thermocouple la forme nouvelle $e = at + bt^2 + ct^3 - 200$. Tous les changements indiqués au 3° sont inclus dans le projet de rédaction de février 1939, soumis par notre Bureau. Ce projet de rédaction définit une échelle qui, dans toute son étendue, est la meilleure représentation de l'Echelle Thermodynamique Centigrade à laquelle nous ayons pu parvenir. Nous proposons l'adoption de cette échelle, parce que nous croyons que les avantages des changements surpasseront les inconvénients qui les accompagnent.

Une comparaison de l'Echelle Internationale de Température de 1927 avec l'échelle proposée dans le *Projet de rédaction* est donnée dans le Tableau VI pour le domaine compris entre 630,5° C et 1083° C.

ANNEXE T 4.
National Bureau of Standards.

L'ÉCHELLE INTERNATIONALE DES TEMPÉRATURES
ET
QUELQUES CONSTANTES PHYSIQUES S'Y RAPPORTANT

Par M. H.-T. WENSEL.

(Mémoire paru dans *Jour. of Research of the Nat. Bur. of Stand.*,
22, 1939, p. 375. Résumé ci-dessous.)

L'auteur passe d'abord en revue nos connaissances concernant les constantes de radiation, dans le but de choisir, pour la constante C_2 de l'équation de Planck, une valeur permettant l'établissement au-dessus de 1063°C d'une échelle de température concordant d'une façon plus étroite avec l'Échelle Thermodynamique. Les valeurs figurant dans les publications sont discutées, et l'auteur présente quelques indications pour calculer C_2 , à partir des résultats obtenus avec le thermomètre à gaz. Les constantes auxquelles on arrive sont les suivantes :

$$\begin{aligned}\sigma &= (5,70 \pm 0,02) 10^{-5} \text{ erg sec}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ deg}^{-4}, \\ C_1 &= (3,732 \pm 0,006) 10^{-5} \text{ erg cm}^2 \text{ sec}^{-1}, \\ C_2 &= (1,436 \pm 0,001) \text{ cm.deg}, \\ \lambda_m T &= (2892 \pm 2) 10^{-4} \text{ cm.deg}.\end{aligned}$$

ANNEXE T 5.

National Physical Laboratory.

COMMENTAIRES

SUR LE PROJET

D'UNE

ÉCHELLE INTERNATIONALE DE TEMPÉRATURE

DE 1939,

PRÉSENTÉ PAR LE NATIONAL BUREAU OF STANDARDS

(25 mai 1939).

De même que le National Bureau of Standards, le National Physical Laboratory a trouvé que l'Échelle Internationale de Température de 1927, d'une façon générale, donne satisfaction comme échelle d'usage. La plupart des changements numériques que l'on propose maintenant ont un effet si petit que leur importance pratique est très faible pour l'époque actuelle. Considérant ce fait, et la perturbation que provoqueraient inévitablement des changements apportés à l'échelle, le National Physical Laboratory insiste pour que les modifications que l'on pourrait éventuellement décider soient limitées à celles qui sont suffisamment bien fondées pour n'avoir aucune chance d'être révisées ultérieurement.

Disposition générale du projet. — Le National Physical Laboratory est d'accord avec la disposition générale de la nouvelle rédaction proposée par le National Bureau of Standards.

Partie de l'Échelle au-dessus du point de fusion de l'or. — Le National Physical Laboratory est d'accord pour substituer

la loi de Planck à la loi de Wien, et considère que l'on a raison de regarder la valeur présente de C_2 comme trop faible. Les arguments en faveur du changement sont principalement fondés sur des constantes atomiques, et le National Physical Laboratory ajoute en annexe (p. T 93) quelques remarques sur la façon dont ce sujet est traité dans la publication de M. Wensel. On verra que l'opinion exprimée est que les limites d'incertitude, attribuées à la valeur de C_2 déduite de constantes atomiques, devraient être élargies et portées à environ $\pm 0,003$. Même si l'on tient compte des résultats obtenus par l'étude du rayonnement, le National Physical Laboratory considère néanmoins que l'incertitude atteindrait une fraction si forte du changement proposé, qu'il conseillerait d'ajourner la question de la révision.

Partie de l'Échelle couverte par le couple thermoélectrique au platine. — Le National Physical Laboratory donne son approbation à la proposition de changer la limite inférieure de cette partie de l'échelle en la portant de 660°C au point de solidification de l'antimoine.

En ce qui concerne les autres modifications de l'échelle, les différences entre les trois variantes suggérées par le National Bureau of Standards sont si légères, que le National Physical Laboratory considère que l'importance de la perturbation provoquée devrait être un facteur puissant pour influencer le choix. Ainsi, le National Physical Laboratory aurait tendance à préférer la première ou la deuxième solution.

On peut ajouter que le National Physical Laboratory a entrepris une détermination de la différence de température qui sépare les points de solidification de l'argent et de l'or, au moyen d'un thermomètre à résistance, et espère terminer ses expériences avant la session du Comité consultatif de Thermométrie.

En ce qui concerne l'effet que les diverses alternatives pour définir les températures supérieures et inférieures au point de solidification de l'or peuvent avoir sur la continuité de l'échelle, il semblerait qu'une incertitude de $\pm 0,1$ degré dans la mesure du rayonnement à chaque température recouvrirait probablement tout désaccord depuis le point de solidification de l'argent jusqu'à celui du cuivre. Le National Physical Laboratory considère que ce chiffre est la limite extrême que l'on puisse atteindre dans des mesures de rayonnement à l'époque actuelle.

Partie de l'Échelle couverte par le thermomètre à résistance de platine. — Le National Physical Laboratory est favorable à la proposition de définir la pureté du platine par la valeur du rapport

$$\frac{R_{444,60} - R_0}{R_{100} - R_0}$$

plutôt que par celle du rapport $\frac{R_{444,60}}{R_0}$. On ne voit pourtant pas clairement pourquoi il a été jugé nécessaire de donner une limite supérieure à la valeur de cette fonction, aucune limite supérieure du rapport $\frac{R_{444,60}}{R_0}$ n'ayant été spécifiée par le passé.

Ces remarques s'appliquent également aux modifications proposées dans les spécifications concernant la résistance au point d'ébullition de l'oxygène.

On a observé que l'utilisation de thermomètres à résistance du type comportant un conducteur de courant et une prise de potentiel a été évidemment rendue obligatoire par la référence à ce seul type d'instrument à la page T 69. Tout en étant d'accord que c'est là une technique expérimentale excellente, le National Physical Laboratory est d'avis qu'il vaudrait mieux formuler la définition de l'échelle par les propriétés du métal, sans se référer à la manière dont il est monté ou connecté au circuit de mesure, et que de telles remarques seraient placées d'une façon plus convenable dans le paragraphe 6 des « Modes opératoires recommandés ».

Le National Physical Laboratory donne son appui à la suggestion tendant à inclure la formule donnant la correction de pression pour le point de fusion de la glace.

Il est suggéré que des renseignements complémentaires pourraient être avantageusement fournis au sujet du type spécial d'hypsomètre auquel il est fait allusion dans le paragraphe 3 des « Modes opératoires recommandés ». Il semblerait désirable, pour les membres du Comité de Thermométrie, de se ménager l'occasion de considérer les résultats obtenus avec cet appareil, en les comparant à ceux que donne la forme usuelle d'appareil, avant de recommander ce procédé pour reproduire le point d'ébullition de l'eau.

Points fixes secondaires. — Le National Physical Laboratory prend note de la remarque d'après laquelle, quelques-unes des valeurs de l'échelle de 1927 ayant été arrondies, la différence

entre ces valeurs et celles qui sont proposées ne correspond pas exactement à la différence entre les deux échelles. Cela s'applique, semble-t-il, au point de fusion du palladium et du tungstène. Dans l'hypothèse où le changement proposé pour la valeur de C_2 serait adopté, il serait utile pour le Comité de Thermométrie que le Bureau of Standards expliquât comment il est arrivé aux valeurs choisies.

Il est observé que le point de solidification de l'iridium est mentionné d'après une nouvelle détermination récente faite au Bureau of Standards, mais que le point de solidification du rhodium, obtenu par une méthode analogue, n'est pas mentionné. Le National Physical Laboratory a terminé récemment un travail de recherches sur ce dernier point, et il a obtenu une valeur qui confirme étroitement celle du Bureau of Standards. On espère qu'un compte rendu de ce travail pourra être soumis à l'examen du Comité de Thermométrie.

ANNEXE T 6.

National Physical Laboratory.

REMARQUES

SUR LE MÉMOIRE DE H.-T. WENSEL

« L'ÉCHELLE INTERNATIONALE DE TEMPÉRATURE

ET

QUELQUES CONSTANTES PHYSIQUES S'Y RAPPORTANT » (1)

(25 mai 1939).

Détermination de la valeur de C_2 d'après des constantes atomiques. — L'exactitude de la détermination de C_2 dépend en grande partie de l'exactitude avec laquelle le rapport $\frac{h}{e}$ peut être déterminé. Ainsi qu'il est indiqué dans le Mémoire en question, il y a plusieurs façons de mesurer expérimentalement ce rapport. Certaines méthodes donnent $\frac{h}{e}$ directement, tandis que d'autres donnent $\frac{h}{e}$ en fonction d'autres constantes telles que e et $\frac{e}{m}$. Celles qui donnent $\frac{h}{e}$ directement (potentiels d'ionisation et effet photoélectrique) sont probablement les plus difficiles au point de vue expérimental, et il paraît bien que ces difficultés font plus que contre-balancer l'avantage d'une détermination directe.

(1) *J. of Research of the Nat. Bur. of Stand.*, 1939, 22, p. 375.

Les autres méthodes donnent des valeurs de $\frac{nh}{e}$ avec une valeur de n différente de l'unité. Les valeurs de $\frac{h}{e}$ déduites de ces méthodes dépendent donc de la valeur de e et, dans certains cas, de la valeur de $\frac{e}{m}$. En conséquence l'exactitude de la détermination de C_2 par cette dernière méthode dépend de l'exactitude avec laquelle sont effectuées les expériences, et aussi de l'exactitude avec laquelle les valeurs de e et de $\frac{e}{m}$ sont connues. En déterminant la valeur de C_2 , il faut par conséquent considérer non seulement les expériences particulières impliquées, mais aussi les déterminations expérimentales de e et dans certains cas de $\frac{e}{m}$.

Jusqu'à une date assez récente, la valeur admise de e en unités électrostatiques était $(4,770 \pm 0,004) 10^{-10}$. Une comparaison des longueurs d'onde des rayons X, déterminées par diffraction sur un cristal, puis au moyen d'un réseau, laissait supposer que cette valeur de e était trop faible et qu'une valeur plus correcte serait $4,800 \cdot 10^{-10}$, valeur qui est nettement en dehors des limites d'erreurs admises dans la détermination par la méthode des gouttelettes d'huile. On a considéré tout d'abord que le désaccord était dû à des erreurs expérimentales dans les déterminations au moyen du réseau. Des mesures plus exactes n'ont pas écarté le désaccord, mais l'ont confirmé. L'opinion actuelle, généralement admise, est que la valeur de e , obtenue par la méthode des gouttes d'huile, est entachée d'une erreur sérieuse par suite de l'utilisation d'une valeur erronée pour la viscosité de l'air. Des déterminations plus récentes de cette constante ont concilié les valeurs de e déterminées par les deux méthodes. Le résultat moderne est $(4,800 \pm 0,005) 10^{-10}$ unités électrostatiques, et la valeur vraie de e se trouve probablement à l'intérieur de ces limites.

Un désaccord quelque peu analogue s'est produit dans les mesures de $\frac{e}{m}$. Ici encore, il y a deux méthodes principales, l'une fondée sur l'étude des électrons libres, l'autre sur des mesures spectroscopiques. La différence entre les valeurs obtenues par ces deux méthodes a donné naissance à l'opinion qu'elle était due au fait que, dans l'un des cas, on avait affaire à des électrons

libres, tandis que dans l'autre on considérait des électrons dans le champ atomique. Des déterminations récentes ont cependant concilié les valeurs obtenues de part et d'autre, et $\frac{e}{m}$ est probablement la combinaison de constantes atomiques dont la valeur est la mieux connue. On admet généralement la valeur $\frac{e}{m} = (1,7585 \pm 0,001) 10^7$ unités électromagnétiques.

L'histoire de l'une et de l'autre de ces constantes montre combien il est difficile d'accepter les limites d'erreur données par les expérimentateurs eux-mêmes. La valeur de la constante de Planck h est probablement la moins bien connue de toutes les constantes atomiques. On ne la détermine jamais directement, mais toujours associée à d'autres constantes telle que e . Par suite du changement d'opinion concernant la valeur vraie de e , il y a eu un changement correspondant de la valeur admise pour h . La valeur admise est passée de $6,56 \cdot 10^{-27}$ à $6,61 \cdot 10^{-27}$ erg. sec.

Il est clair par conséquent qu'il y a eu, au cours de ces dernières années, des changements très nets dans les valeurs admises pour les constantes atomiques, et la Note en question exprime l'opinion que, en conséquence, la valeur de C_2 demande à être modifiée. L'auteur considère les valeurs de C_2 déduites de diverses déterminations de $\frac{nh}{e}$, de e et de $\frac{e}{m}$, et conclut que sa valeur vraie est $C_2 = 1,436 \pm 0,001$, au lieu de la valeur 1,432 utilisée dans l'Échelle internationale de température. Il semble difficile de justifier la sous-estimation faite par l'auteur au sujet de l'erreur probable de cette détermination. Les seules déterminations directes de $\frac{h}{e}$ (potentiels d'ionisation et effet photoélectrique), après correction par l'auteur, donnent les valeurs 1,4344 et 1,4336, dont aucune ne se place à l'intérieur des limites proposées. Toutes les autres déterminations impliquent les erreurs d'autres constantes, telles que e et $\frac{e}{m}$, qui viennent s'ajouter aux erreurs expérimentales.

L'auteur donne une liste de diverses constantes (*loc. cit.* p. 392) dont les valeurs sont fondées sur l'ensemble des résultats connus. Dans cette liste, les valeurs données de e et de h sont les suivantes :

$$e = (4,800 \pm 0,004) 10^{-10} \text{ U. E. S.}$$

$$h = (6,61 \pm 0,01) 10^{-27} \text{ erg. sec}$$

Un calcul direct à partir de ces valeurs donnerait

$$C_2 = 1,436 \pm 0,003_5 \text{ cm.deg}$$

si l'on ne tient pas compte de l'erreur dont est affecté le facteur k dans l'équation $C_2 = k \frac{h}{e}$. Il est pourtant probable que $\frac{h}{e}$ est connu avec un degré d'exactitude meilleur. Des calculs détaillés appliqués aux différentes méthodes donnent bien des domaines d'incertitude plus petits; mais ils sont nettement plus grands que celui que donne l'auteur dans son résultat final. Ainsi, pour les déterminations à partir de la constante de Rydberg, dans laquelle $\frac{h}{e}$ est obtenu en fonction de e et de $\frac{e}{m}$, nous obtenons la valeur finale

$$C_2 = 1,438 \pm 0,003.$$

Un calcul analogue appliqué aux méthodes faisant intervenir les rayons X, par lesquelles on détermine $\frac{h}{e^{4/3}}$, donne

$$C_2 = 1,436 \pm 0,003$$

en tenant compte des erreurs d'observation et de l'erreur sur e .

Les méthodes de diffraction électronique paraissent donner comme valeur finale

$$C_2 = 1,436 \pm 0,004.$$

L'équation théorique d'Eddington, $137 = \frac{hc}{2\pi e^2}$ donne pour C_2 la valeur

$$C_2 = 1,437_6 \pm 0,001_5.$$

A cette dernière valeur l'auteur ne donne aucun poids; car il considère que la théorie sur laquelle est fondée l'équation n'est pas suffisamment établie.

Il semblerait par conséquent qu'une valeur plus raisonnable pour C_2 soit $1,436 \pm 0,003$, en accordant une marge d'incertitude environ trois fois plus grande que celle qui est proposée par l'auteur. Étant donnée l'histoire passée des diverses constantes, il faut garder présent à l'esprit que d'autres erreurs peuvent

exister, dont on n'a pas tenu compte dans cette estimation. L'auteur lui-même rappelle que l'on a suggéré que, dans tout ou partie des déterminations expérimentales de $\frac{e}{m}$, ce que l'on mesure effectivement pourrait n'être pas $\frac{e}{m}$ mais $\frac{137}{136} \frac{e}{m}$. Eddington admet qu'un facteur $\frac{137}{136}$, négligé dans la théorie quantique en usage, pourrait bien être introduit par le changement métrique, lorsqu'on assimile l'espace occupé par les particules indiscernables de la théorie quantique à l'espace occupé par les particules discernables d'un appareil de mesure. Une telle modification de la valeur de $\frac{e}{m}$ réduirait, ainsi que le montre l'auteur, la valeur de C_2 déterminée par la constante de Rydberg de 1,438 à 1,434. Elle affecterait aussi d'une façon importante la valeur obtenue par les méthodes de diffraction électronique. Ceci est mentionné afin de souligner qu'il pourrait y avoir des incertitudes sur la valeur des constantes, incertitudes qui ne sont pas incluses entre les valeurs limites telles qu'on les donne ordinairement.

L'étude des arguments présentés dans la Note de M. H.-T. Wensel et des résultats qu'il donne suggère certainement que la valeur 1,432 pour C_2 est plutôt faible, que tôt ou tard un changement de cette valeur se montrera nécessaire, et que ce changement sera dans le sens d'une augmentation. Il est cependant douteux que notre connaissance actuelle des diverses constantes atomiques soit telle qu'elle permette une détermination exacte de la grandeur de la correction qu'il faudrait appliquer. Si la question n'est pas urgente — au point de vue pratique — on conseillerait d'attendre de nouvelles déterminations, dans l'espoir d'atteindre une valeur plus précise du rapport $\frac{h}{e}$.

Ces remarques sont fondées simplement sur la considération des déterminations de C_2 par la valeur de $\frac{h}{e}$, et aucun compte n'a été tenu d'autres arguments, en faveur d'une valeur plus grande, contenus dans cette Note.

ANNEXE T 7.

Physikalisch-Technische Reichsanstalt.

RÉPONSE

AUX

PROPOSITIONS DU NATIONAL BUREAU OF STANDARDS

SUR UNE

MODIFICATION DE L'ÉCHELLE INTERNATIONALE
DE TEMPÉRATURE.

La Physikalisch-Technische Reichsanstalt n'élèvera pas d'objection contre le choix du point de l'antimoine comme limite entre les domaines du thermomètre à résistance et de la pile thermoélectrique; car cette détermination a déjà été prise, dès l'année 1924, dans l'échelle des températures de la Physikalisch-Technische Reichsanstalt. En 1927, nous nous étions déclarés prêts à y renoncer parce qu'on désirait définir l'échelle de température jusqu'à 660° à l'aide du thermomètre à résistance qui, dans ce domaine, offrait déjà, d'après l'état des recherches à cette époque, une plus grande exactitude que la pile thermoélectrique. Suivant notre opinion cependant, on doit approuver les considérations que vous avez jointes et la constatation, faite par vous-même, qu'il est incommode de ne pas limiter par un point fixe le domaine de validité de deux thermomètres.

La Reichsanstalt considérerait comme une amélioration essentielle pour la détermination de l'échelle de température internationale, de faire, somme toute, abstraction de la pile thermoélectrique. Déjà en 1930 on a établi, à la suite de recherches exécutées ici (Moser, *Annalen der Physik*, 6, 1930, p. 852), que le thermomètre à résistance de platine est tout à fait propre

à définir sans ambiguïté l'échelle de température dans l'intervalle entier de -190° jusqu'au point de fusion de l'or, et à la représenter moyennant une relation unique entre la résistance et la température, relation dont les constantes peuvent être déterminées par étalonnage aux points fixes adoptés jusqu'à présent, à l'exclusion du point de l'antimoine et du point de l'argent. Le point de l'argent d'inquartation a été trouvé à $960^{\circ},7$ après réduction des calculs, c'est-à-dire $0,2$ degré plus élevé que la valeur internationale adoptée. Il serait extrêmement désirable que dans les autres Laboratoires nationaux on exécute également des mesures avec le thermomètre à résistance de platine jusqu'au point de fusion de l'or.

Aussi longtemps qu'on ne pourra pas faire abstraction de la pile thermoélectrique pour la fixation de l'échelle de température et qu'ainsi le point de l'argent sera nécessaire comme point fixe fondamental, il ne sera élevé aucune objection de la part de la Reichsanstalt contre la modification de la température du point de l'argent proposée par le Bureau of Standards. Cependant, nous ferions quelques réserves si, en même temps, on devait également changer la formule d'interpolation qui représente la relation entre la force électromotrice de la pile thermoélectrique et la température. Comme nous l'avons constaté par nos calculs, on obtiendrait alors vis-à-vis de l'échelle actuelle des différences de température qui, pour 800° , atteindraient presque $0,4$ degré. Il est vrai que les mesures fondamentales de température faites jusqu'ici dans cette région ne permettent pas de déterminer avec certitude des différences de $0,4$ degré; mais il nous semble également qu'il n'y a aucune raison péremptoire pour modifier les décisions actuellement en vigueur. Nous regretterions aussi que la formule du deuxième degré, valable jusqu'ici relativement à la température, dût être remplacée par une formule du troisième degré.

Le projet de remplacer la formule de rayonnement de Wien par celle de Planck rencontrera notre approbation.

Relativement à la constante de rayonnement C_2 , la Reichsanstalt ne peut pas accepter purement et simplement de prendre à l'avenir la valeur $1,436$ au lieu de la valeur actuelle $C_2 = 1,432$. Le fait que les valeurs trouvées depuis l'année 1910 en s'appuyant uniquement sur des mesures de rayonnement conduisent à la moyenne $C_2 = 1,432$ et qu'on obtient par le calcul à partir des valeurs de σ mesurées depuis 1921, conformément à la propo-

sition de M. Wensel, la moyenne $C_2 = 1,433$, ne nous fait pas paraître opportun d'abandonner la valeur de C_2 acceptée jusqu'à présent de façon internationale. D'après notre conception, il n'est pas possible, en l'état actuel des expériences, d'obtenir à l'aide du thermomètre à gaz, dans la détermination de la température, des valeurs de C_2 suffisamment certaines. Les meilleures mesures à l'aide du thermomètre à gaz conduisent pour le point de fusion du palladium à des valeurs trop faibles de plusieurs degrés. Mais, d'autre part, le calcul théorique de C_2 à partir des constantes de l'atome conduit, d'après notre avis, à des valeurs qui malheureusement ne concordent pas suffisamment avec celles données par l'expérience.

Enfin, on ajoutera les remarques suivantes :

1^o Le point de fusion de la glace ne devrait plus être défini à l'avenir par la température d'équilibre entre la glace et l'eau saturée d'air, mais par le point triple de l'eau pure qui peut être défini avec beaucoup plus de précision et qui correspondrait à la température $+ 0^{\circ},01$;

2^o Nous préférierions que la pureté du fil de platine du thermomètre à résistance ne fût pas définie par l'expression $\frac{R_t - R_0}{R_{100} - R_0}$, mais bien, comme jusqu'à présent, par $\frac{R_t}{R_0}$. Nous pensons que les progrès dans la fabrication du métal pur sont aujourd'hui arrivés à un point qui permet de rendre plus sévères les conditions pour la pureté du fil. Par suite, nous proposons que le rapport $\frac{R_t}{R_0}$ soit, pour le point 100 plus grand que 1,391, pour le point du soufre plus grand que 2,647, et pour le point de l'oxygène plus petit que 0,247. Nous pouvons remarquer à ce sujet que, pour le platine le plus pur de la Reichsanstalt, ces nombres sont respectivement 1,3922, 2,6538 et 0,2446 ;

3^o Nous proposons que la relation entre la température d'ébullition et la pression soit représentée, comme jusqu'ici, par une suite de termes contenant les puissances de la température, et que l'on pose la condition que la température d'ébullition de l'eau soit mesurée au voisinage de la pression normale de 760^{mm} de mercure. Ceci peut être facilement réalisé par l'emploi d'une atmosphère artificielle, qui offre l'avantage que les variations de pression barométrique sont exclues.



ANNEXE T 8.
Délégation française.

REMARQUES
RELATIVES AU
PROJET DE MODIFICATION
DE LA CONVENTION PROVISoire
SUR
L'ÉCHELLE INTERNATIONALE DES TEMPÉRATURES

Présentées par MM. G. RIBAUD et G. BOUTRY.
(7 juin 1939).

I. En dehors des modifications fondamentales qui sont soulignées par le Mémoire envoyé par le National Bureau of Standards, il faut noter dans le texte proposé la présence d'un grand nombre de modifications secondaires dont certaines valent d'être étudiées. La plupart concernent les modes opératoires recommandés pour la réalisation des points fixes.

II. Les prescriptions relatives à la réalisation du point de fusion de la glace contiennent la phrase suivante :

«...En observant quelques précautions concernant la pureté de la glace, la saturation de l'eau par l'air et l'effet de la pression, on peut réaliser une température reproductible à mieux que 0,001 degré. »

Si des mesures suffisamment complètes ont été faites à ce sujet, cette phrase demanderait à être précisée; il serait dési-

rable d'indiquer la concentration maximum tolérable des impuretés usuelles ou encore la conductibilité électrique équivalente. (Le Laboratoire d'Essais du Conservatoire National des Arts et Métiers et, à notre connaissance, d'autres Institutions contrôlent la pureté de la glace, ou plutôt de l'eau de fusion de celle-ci, en mesurant au pont de Kohlrausch sa conductibilité électrique. Ces mesures permettent, par application de la loi de Raoult sur l'abaissement du point de congélation d'une solution très étendue, de calculer l'ordre de grandeur d'une correction qui n'a d'intérêt que si elle reste très petite.)

III. Dans les prescriptions relatives au point de solidification de l'argent et de l'or, on relève la description détaillée d'un mode opératoire qui n'est pas, à notre connaissance, le seul actuellement employé. Il ne paraît pas démontré qu'il soit actuellement désirable de proscrire tout autre mode opératoire dont les résultats sont concordants avec celui qui est adopté par le National Bureau of Standards.

Dans un mode opératoire utilisé par le National Physical Laboratory et, sous une forme à peine différente par le Laboratoire d'Essais, le métal est enfermé dans un creuset de silice pure fondue et étanche; l'argent et l'or y sont fondus sous le vide, l'antimoine y est fondu dans une atmosphère d'azote pur à la pression atmosphérique. Le couple à étalonner, gainé par une baguette de porcelaine de Berlin à deux trous coaxiaux, monte et descend dans un tube mince de silice fondue soudé au couvercle et plongeant dans le métal en fusion.

Ce mode opératoire donne des résultats qui semblent en accord avec ceux qu'obtient le Bureau of Standards. La reproductibilité des mesures est excellente et la pollution du métal est rendue à peu près impossible.

Sans recommander l'adoption du mode opératoire ci-dessus décrit, à l'exclusion d'un autre, il paraît très désirable de continuer à l'autoriser jusqu'à plus ample informé.

IV. Le Tableau 3 (voir p. T 79) donnant, à titre d'information, une liste des points fixes secondaires indique, pour la température d'équilibre entre l'anhydride carbonique solide et sa vapeur, à la pression atmosphérique, une température de $-78^{\circ},51$ (Int. 1939).

Le Laboratoire d'Essais poursuit actuellement des recherches

sur une réalisation commode de cette température. La conclusion, toute provisoire, à laquelle il est parvenu jusqu'ici est que, avec les dispositifs et les modes opératoires que l'on peut trouver dans la littérature actuellement publiée, il paraît difficile de réaliser la température en question avec une incertitude inférieure à 0,01 degré; une incertitude dix fois plus forte semble plus près de la réalité, en sorte qu'il paraîtrait préférable de donner la température d'équilibre entre CO_2 solide et CO_2 vapeur, à la pression atmosphérique, comme étant — 78°,5 C.

V. Nous ne voyons que des avantages à préciser que le raccordement entre l'échelle du thermomètre à résistance de platine et celle du couple thermoélectrique est choisi au point de solidification de l'antimoine. Nous nous rallierons également volontiers à la modification proposée de la température de solidification de l'argent (960°,7 au lieu de 960°,5), bien que l'écart considéré semble rester inférieur aux incertitudes actuelles dans la fixation de l'échelle en cette région; il ne paraît pas en effet que les mesures au thermomètre à gaz effectuées jusqu'ici permettent de choisir entre ces deux valeurs; mais si l'on fait appel aux raisons de continuité au voisinage du raccordement des deux échelles qu'invoque la proposition américaine, une telle décision paraît raisonnable. Il ne faut pas d'ailleurs se dissimuler que cette modification entraînera dans la région de 800° C, un écart de 0,4 degré entre l'échelle de 1927 et la nouvelle.

Par contre, la nouvelle formule d'interpolation du troisième degré contenue dans la proposition américaine ne paraît pas présenter d'avantages sur l'ancienne; elle n'introduit en effet, au voisinage de 800° C, qu'une différence de quelques centièmes de degré entre les deux échelles, différence franchement inférieure aux incertitudes de mesures; nous proposons de s'en tenir à l'ancienne formule d'interpolation.

Nous signalons enfin qu'une comparaison systématique de l'Échelle internationale avec l'Échelle absolue depuis —190° jusqu'à 1063°,0 reste à faire. En dehors de l'intervalle 0 — 100 pour lequel un excellent travail de Hall semble avoir résolu la question, les intercomparaisons entre les deux échelles n'ont porté que sur un certain nombre de points isolés. Cela est particulièrement vrai et particulièrement important pour le domaine qui s'étend entre le point d'ébullition du soufre sous la pression atmosphérique et le point de solidification de l'or. Nous émet-

tous le vœu qu'il soit décidé d'effectuer une telle comparaison autant que possible dans plusieurs Laboratoires nationaux; en France, nous nous préparons à exécuter un tel travail et nous espérons le commencer en 1940.

VI. En ce qui concerne la valeur numérique de la constante C_2 , nous considérons qu'une modification de la valeur adoptée en 1927, entraînerait plus d'inconvénients que d'avantages. Elle obligerait en particulier à changer les points fixes secondaires palladium, platine, etc., qui figurent actuellement dans les ouvrages et recueils de constantes; elle amènerait également à reprendre tous les calculs d'extrapolations optiques figurant dans les mémoires publiés depuis 1927.

On peut évidemment considérer comme fragiles les raisons qui, en 1927, ont fait adopter la valeur 1,432. Toutes les mesures optiques invoquées actuellement par le National Bureau of Standards existaient en effet à cette époque ⁽¹⁾ et elles conduisent à la valeur moyenne 1,4364, avec toutefois une incertitude moyenne de $\pm 0,006$. De nombreuses tables numériques avaient été publiées antérieurement, dans lesquelles il était fait état d'une constante C_2 nettement supérieure à la valeur 1,4320 (Forsythe, Skogland, $C_2 = 1,435$) et l'on peut sans doute regretter qu'en 1927 l'on ait adopté la valeur 1,432, anormalement faible : ce sont certainement les nombres admis alors pour les constantes universelles (N, h, c, R), figurant dans l'expression de C_2 , qui ont influé à cette date sur le choix de cette valeur numérique. Les valeurs actuelles de ces constantes tendraient bien à faire adopter un nombre voisin de 1,4360, mais il nous paraît préférable de ne rien changer à la convention de 1927, tant que des anomalies, accessibles aux méthodes optiques, ne se seront pas révélées au cours de nouvelles mesures.

(1) Elles figurent dans le *Traité de Pyrométrie optique* de G. Ribaud, 1931, pp. 68 et 78.

ANNEXE. T 9.

AMENDEMENTS ET COMMENTAIRES
AU
PROJET D'UNE ÉCHELLE INTERNATIONALE
DE TEMPÉRATURE
DE 1939,

Par M. le Prof. Dr. W. H. KEESOM

(20 mai 1939).

Amendement I.

Annexe T 2, p. T 69. — *b*) Depuis -190°C jusqu'au point de fusion de la glace, la température t est donnée par :

$$t = t^* + \Delta t,$$

t^* étant défini par la formule :

$$R_t = R_0[1 + A t^* + B t^{*2} + C(t^* - 100)t^{*3}],$$

et Δt étant pris dans le tableau suivant :

t^*	Δt	t^*	Δt
0.....	0	-100.....	+ 0,02
- 20.....	+ 0,01	-120.....	+ 0,00
- 40.....	+ 0,02	-140.....	- 0,02
- 60.....	+ 0,03	-160.....	- 0,01
- 80.....	+ 0,04	-180.....	0,00
- 90.....	+ 0,04	-190.....	0,00

Commentaire. — Heuse et Otto ⁽¹⁾, aussi bien que Keesom et Dammers ⁽²⁾, ont trouvé qu'à -90°C , l'échelle internationale de température est environ $0,04$ degré au-dessous de l'échelle thermodynamique. Keesom et Dammers ont comparé un groupe de thermomètres de platine au thermomètre à hélium jusqu'à -153°C . Trois d'entre eux, qui remplissent les conditions exposées dans l'amendement II, donnent des résultats qui s'accordent bien à $0,01$ degré près (excepté à une seule température où les résultats extrêmes diffèrent de $0,012$ degré). L'écart moyen entre l'Échelle internationale de température, telle qu'elle est donnée par ces thermomètres, et l'Échelle thermodynamique, arrondi au centième de degré, est donné dans le tableau ci-dessus, afin que l'Échelle internationale de 1939 soit déterminée avec assez d'exactitude pour coïncider avec l'Échelle thermodynamique, l'approximation estimée étant de $0,01$ degré.

Amendement II.

Annexe T 2, p. T 69. — Pour un thermomètre à résistance étalon le rapport $\frac{R_{100}}{R_0}$ doit être supérieur à $1,391$ et le rapport $\frac{R_{444,60}}{R_0}$ supérieur à $2,647$.

En plus des conditions énoncées au paragraphe (a), le rapport $\frac{R_{-182,97}}{R_0}$ doit être inférieur à $0,247$ pour un thermomètre à résistance étalon devant être utilisé au-dessous du point de fusion de la glace.

Commentaire. — On ne voit pas clairement quel pourrait être l'avantage de changer la forme des conditions auxquelles le thermomètre à résistance de platine doit satisfaire. C'est pourquoi on a donné ces conditions sous la même forme qu'elles l'avaient été en 1927. On les a rendues cependant quelque peu plus sévères. Par là, l'un des thermomètres de Keesom et Dammers (Pt 69) se trouve exclu. En fait, ce thermomètre, qui satisfait

(1) W. HEUSE et J. OTTO, *Ann. d. Phys.*, 14, 1932, p. 181.

(2) W. H. KEESOM et B. G. DAMMERS, *Communications Kamerlingh Onnes Laboratory*, n° 239e, 1935.

aux conditions proposées par le National Bureau of Standards s'écarte des trois thermomètres mentionnés ci-dessus de quantités qui dépassent 0,01 degré.

Amendement III.

Annexe T2, p. T 64. — T_0 doit être pris égal à $273^{\circ},15$. Dans le cas où l'on désire arrondir ce nombre, on peut choisir $273^{\circ},2$.

A la page T 70, dans la formule, mettre :

273,15 au lieu de 273,16

1336,15 au lieu de 1336,16.

Commentaire. — Le Professeur Kinoshita, dans une lettre datée du 18 décembre 1938, nous a informé que les auteurs japonais avaient effectué de nouvelles mesures sur la compressibilité des gaz thermométriques utilisés, et que, disent-ils, « d'après les résultats obtenus jusqu'ici, T_0 est plus probablement égal à $273^{\circ},15$, et non à $273^{\circ},17$ comme nous avons trouvé alors. »

En combinant ce résultat avec ceux dont on peut disposer d'autre part (Mémorandum du National Bureau of Standards concernant le projet de proposition, p. T 64), il semble convenable d'adopter $273,15$ comme résultat moyen.

ANNEXE T 10.

National Physical Laboratory.

LE

POINT DE SOLIDIFICATION DU RHODIUM

RÉSUMÉ DES RÉCENTES RECHERCHES EXÉCUTÉES AU N. P. L.

(26 juin 1939).

On a déterminé le point de solidification du rhodium en mesurant, pour une certaine longueur d'onde, le rapport des brillances de corps noirs maintenus aux points de solidification du rhodium et de l'or. Le radiateur au point de solidification du rhodium avait la forme d'un tube en thorine faisant saillie dans un lingot du métal qui était lui-même contenu dans un creuset en thorine et chauffé électriquement, par induction, dans le vide.

Le dépôt d'une pellicule sur la fenêtre de l'enceinte à vide, dépôt dont le National Bureau of Standards a signalé le danger, a été presque éliminé, l'absorption supplémentaire de la fenêtre, après 60 fusions et solidifications, étant équivalente à 2 degrés seulement au point de solidification du rhodium.

Les résultats obtenus par quatre observateurs travaillant sur deux lingots sont résumés dans le tableau suivant :

Points de fusion et de solidification du rhodium.

Observateur.	Nombre de mesures.	Point de fusion (°C).		Nombre de mesures.	Point de solidification (°C).	
		Moyenne.	Écart moyen.		Moyenne.	Écart moyen.
A	3	1966,0	0,4	3	1968,2	1,1
B.....	1	1965,4	—	1	1964,7	—
C.....	3	1965,0	0,7	3	1967,9	0,5
D.....	2	1962,2	0,7	2	1964,1	2,2
A.....	8	1966,0	0,5	9	1966,4	0,7
B.....	7	1966,1	1,3	8	1966,3	1,4
C.....	8	1965,8	0,9	7	1966,6	1,5
D.....	10	1965,2	1,6	9	1962,2	0,9
	<u>42</u>			<u>42</u>		
Moyenne (1)...		1965,7.			1965,9	

La pureté des échantillons était contrôlée après les expériences par la mesure du rapport $\frac{R_{100}}{R_0}$. Dans tous les cas on a obtenu la valeur 1,456; la valeur la plus élevée précédemment publiée avait été 1,457.

La température de solidification du rhodium, $1966^{\circ} \pm 3^{\circ} \text{C}$, coïncide pratiquement avec celle trouvée au National Bureau of Standards.

(1) Un poids double a été donné aux observations de A et B en raison du fait que toutes les lectures au point de solidification de l'or ont été faites par ces observateurs.

ANNEXE T 11.

NOTE

SUR

LA CALORIE, UNITÉ DE CHALEUR

Par M. le Prof. Dr W. H. KEESOM,
Directeur du Kamerlingh-Onnes Laboratorium.
Président du Comité consultatif de Thermométrie.

1. *Historique.* — Il est difficile de préciser qui a le premier nettement introduit la conception d'une unité de chaleur ⁽¹⁾.

D'une manière plus ou moins implicite, elle est contenue dans le résultat obtenu par Black [1], quand il exprime la chaleur de vaporisation de l'eau en fonction de la masse d'eau qui, en consommant la même quantité de chaleur, serait échauffée de 1 degré.

On trouve chez Carnot [2] l'unité de chaleur définie comme « la quantité nécessaire pour élever de 1 degré 1 kilogramme d'eau ⁽²⁾ ».

Il n'est pas facile non plus de préciser quand le nom de *calorie* a été introduit, et par qui. Nous signalons que Robert Mayer [3], en traitant de la chaleur de combinaison chimique, affirme que l'on est accoutumé de déterminer cette chaleur en indiquant combien de kilogrammes d'eau peuvent être échauffés d'un degré de l'échelle centigrade par le processus chimique; « on appelle », dit alors Mayer, « unité de chaleur, *calorie*, la quantité de chaleur par laquelle la température de 1 kilogramme d'eau est élevée de 1 degré ». Favre et Silbermann [4] affirment : « Nous

(1) Voir les références à la fin de cette Note.

(2) CARNOT fait usage de l'échelle centigrade.

répétons que l'unité que nous avons adoptée est celle adoptée par tous les physiciens, c'est-à-dire la quantité de chaleur nécessaire pour élever 1 gramme d'eau de 1 degré, et que l'on appelle *unité de chaleur* ou *calorie*. »

La définition de la calorie, comme chaleur nécessaire pour échauffer 1 gramme d'eau de 1 degré C était incomplète tant que la température initiale (ou moyenne) de l'eau n'était pas fixée et que l'on n'avait pas indiqué nettement l'échelle thermométrique qui sert de base pour la lecture de l'élévation de température. À cet égard, la situation vers la fin du XIX^e siècle était encore loin d'être satisfaisante. En 1895, Griffiths [5] attire l'attention de la British Association sur ce fait. La question fut transmise au Committee on Electrical Standards qui, en 1896, remit un rapport. Dans ce rapport [6] les propositions suivantes sont émises, dans le but d'ouvrir une discussion internationale sur cette question :

PROPOSITION I. — « Pour beaucoup de buts, la chaleur est « le plus commodément mesurée en unités d'énergie, et « l'unité C. G. S. théorique de chaleur est 1 erg. Le nom de « Joule a été donné par l'Electrical Standards Committee « à 10^7 ergs.

« Pour beaucoup de buts pratiques, on continuera à mesurer « la chaleur en fonction de la chaleur nécessaire pour élever « d'un certain intervalle de température la température d'une « masse déterminée d'eau.

« Si la masse d'eau est 1 gramme et l'intervalle de tempé- « rature 1 degré C du thermomètre à hydrogène de $9^{\circ},5$ C « à $10^{\circ},5$ C de l'échelle de ce thermomètre, d'après les meilleures « des déterminations existantes, la quantité de chaleur nécessaire « est 4,2 joules.

« Il sera donc opportun d'accepter ce nombre de joules comme « unité secondaire de chaleur.

« Cette unité thermique secondaire peut être appelée une « *calorie*. »

« Une deuxième proposition est pour le temps présent :

PROPOSITION II. — « La quantité de chaleur nécessaire pour « élever de 1 degré C de l'échelle du thermomètre à hydro- « gène la température de 1 gramme d'eau à une température

« moyenne, qui peut être prise comme 10 degré C de ce thermomètre, est de 4,2 joules.

« Si les recherches futures montraient que l'assertion II n'est pas exacte, la définition pourrait être ajustée par un petit changement de la température moyenne à laquelle l'échauffement de 1 degré a lieu. La définition en I et le nombre (4,2) de joules dans une calorie ne changeraient pas. »

Warburg [7], dans un rapport adressé à la session commune des Sections de physique et de mathématique et physique appliquées, tenue en septembre 1899 à la Naturforscherversammlung à Munich, recommande que, tout en maintenant l'erg comme unité théorique, l'on définisse comme unité pratique de chaleur la quantité de chaleur qui chauffe 1 gramme d'eau de 14°,5 à 15°,5 dans l'échelle du thermomètre à hydrogène (1).

La loi allemande du 7 août 1924 [11] décréta: « Les unités légales pour la mesure de quantités de chaleur sont la kilocalorie (kcal.) et le kilowattheure (kWh.). La kilocalorie est la quantité de chaleur par laquelle 1 kilogramme d'eau à la pression de 1 atmosphère est chauffé de 14°,5 à 15°,5. Le kilowattheure est équivalent à 1000 fois la quantité de chaleur qu'un courant continu de 1 ampère légal développe pendant 1 heure dans une résistance de 1 ohm légal, et peut être considéré comme égal à 860 kilocalories. »

L'échelle thermométrique est définie comme suit :

« L'échelle thermométrique légale est l'échelle thermodynamique, étant entendu que la température normale de fusion de la glace est désignée par 0° et la température normale d'ébullition de l'eau par 100°. »

En 1929, l'« International Steam-Table Conference », réunie à Londres sous la présidence de Sir Richard Glazebrook, décida [12] de baser ses tables sur une unité thermique (la kilocalorie internationale) équivalant à $\frac{1}{860}$ kWh international. La

(1) Cette unité fut déjà proposée par exemple par E. H. Griffiths [5] et par Bartoli [8], et employée par exemple par E. H. Griffiths [9] et par A. Bartoli et E. Stracciati [10].

Conférence considérait qu'il est désirable que l'unité adoptée soit telle que toute complication due à la variation de l'accélération de la pesanteur dans différentes parties du monde, ou à la variation de la chaleur spécifique de l'eau avec la température, soit éliminée; et qu'il serait aussi désirable d'éviter une définition qui nécessiterait un changement dans la valeur de l'équivalent mécanique de la chaleur lors de chaque progrès de la technique calorimétrique. On observait que les unités électriques sont indépendantes de g et de J , qu'elles sont connues exactement dans des limites très serrées et adoptées internationalement, et qu'il serait donc très désirable de tâcher d'obtenir qu'une calorie définie en fonction du wattheure soit adoptée universellement. Cette unité, la kilocalorie, ne devrait pas être très différente des unités thermiques en usage jusqu'à cette date, et devrait être dérivée d'une unité électrique au moyen d'un facteur de conversion facile à retenir.

La troisième « International Steam-Table Conference », tenue en 1934 à Washington, Cambridge, Mass. et New-York [13], désigne la millième partie de la kilocalorie définie comme nous venons de le rapporter comme « international steam table calorie » ou I. T. cal.

En 1931, l'Union internationale de Physique pure et appliquée prend en mains la question de la définition de la calorie sur la proposition de F. W. Aston, Président du Comité britannique de Physique. La question est remise à la Commission des Unités présidée par Sir Richard Glazebrook. Cette Commission présenta, en 1934, un rapport, dont les recommandations, adoptées par l'Assemblée générale, étaient conçues comme suit [14] :

« La Commission recommande :

« *a.* Que, dans les mesures de quantités de chaleur faites en unités mécaniques, l'unité choisie soit le joule, défini comme équivalent à 10^7 ergs;

« *b.* Que l'on entende par calorie-gramme la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température de 1 gramme d'eau purgé d'air de $14^{\circ},5$ à $15^{\circ},5$ de l'Echelle internationale de température, sous la pression d'une atmosphère normale. »

Le rapport ajoute l'observation suivante : « La valeur la plus probable de la calorie-gramme paraît être 4,186 joules. La

« valeur la plus probable du watt-seconde *international* paraît être 1,0003 joule.

Ces valeurs sont en accord avec la décision prise en 1929, par « l'International Steam-Table Conference », d'adopter comme « unité la kilocalorie équivalant à $\frac{1}{860}$ kWh international. »

2. *Proposition concernant la définition de la calorie.* — La question de l'unité de chaleur a été soumise à l'attention du Comité international des Poids et Mesures par une lettre du Professeur J. Stark, Président de la Physikalisch-Technische Reichsanstalt, du 16 novembre 1937. Le Comité international a renvoyé la question pour discussion et avis au Comité consultatif de Thermométrie. D'un échange de vues entre M. Stark, M. Pérard et l'auteur de cette Note, il est résulté la proposition ci-dessous, qui est soumise à la délibération du Comité consultatif.

Le Comité consultatif de Thermométrie pourrait proposer comme définition de la calorie le texte suivant :

« La calorie est équivalente à $\frac{3600}{860}$ joules ou $\frac{1}{860}$ wattheure. »

Les motifs qui ont mené au choix de la définition proposée sont résumés comme suit :

Comme la chaleur n'est autre chose qu'une forme spéciale d'énergie, on pourrait être d'avis que la définition d'une unité de chaleur est au moins superflue. Dans cet ordre d'idées, l'unité de chaleur est nécessairement identique à l'unité d'énergie, c'est-à-dire l'erg⁽¹⁾. Or cette unité d'énergie est par son origine une unité mécanique, et s'il est vrai que la chaleur et l'énergie mécanique sont de nature identique, il n'en reste pas moins que les apparences de ces deux formes d'énergie sont tout à fait différentes. Mesurer en unités mécaniques une quantité de chaleur définie par son effet d'ordre thermique, comme l'échauffement d'un certain corps d'une température à une autre, reste toujours une manipulation délicate. Ce fait a eu pour conséquence que, dans l'histoire de la Physique, on a introduit une unité spéciale de chaleur, et que jusqu'à ce jour on a continué de rapporter les

(1) Déjà Rankine [15] dans sa théorie des machines thermodynamiques exprimait les quantités de chaleur en unités mécaniques.

quantités de chaleur, en particulier lorsqu'elles se manifestent par leurs effets thermiques, à cette unité spéciale de chaleur, la calorie.

Il paraît inopportun d'abandonner en ce moment la calorie. D'autre part, maintenant qu'il est possible de rapporter, en particulier par l'intermédiaire de mesures électriques, une quantité de chaleur définie par son effet thermique à l'unité mécanique d'énergie, avec une précision qui est en général au moins aussi grande que la précision des mesures thermiques elles-mêmes, il semble indiqué de lier d'une manière fixe la calorie à l'unité mécanique, l'erg, ou à son multiple, le joule. Ceci est d'autant plus opportun maintenant qu'à partir du 1^{er} janvier 1940 les unités électriques seront rapportées aux unités mécaniques.

Si l'on excepte la décision prise par l'« International Steam-Table Conference » (voir paragraphe 1), la calorie était jusqu'ici liée à une substance particulière qui est l'eau. Alors même qu'il est bien entendu qu'on ne considère que le mélange isotopique normal, il faut préciser que l'eau doit se trouver purgée d'air et sous la pression d'une atmosphère normale. On a fixé la calorie comme étant la quantité de chaleur nécessaire pour échauffer l'unité de masse d'eau de 14^o,5 à 15^o,5 de l'échelle internationale (1). Quoiqu'ainsi tout arbitraire soit bien écarté, il faut avouer que toutes ces complications disparaissent si la calorie est rapportée à l'unité mécanique. On n'a alors ni à considérer les propriétés particulières d'une substance déterminée, ni à fixer des conditions spéciales supplémentaires. Un autre avantage est que la calorie ne nécessite plus de mesures particulières compliquées pour être mise en relation avec l'unité d'énergie mécanique, puisqu'elle quitte la série des unités physiques fondamentales autonomes.

Enfin, il faut faire ressortir que, dans ces derniers temps, toutes les mesures précises de quantités de chaleur ont été effectuées par des méthodes électriques, donc rapportées à des unités qui, à partir du 1^{er} janvier 1940, seront elles-mêmes directement liées aux unités mécaniques; en conséquence, il faut, dans chaque cas, entreprendre le calcul de conversion des unités électriques.

(1) La calorie de 0 à 1^o C (calorie de Regnault) et la calorie moyenne de 0 à 100^o C (calorie de Bunsen) ont été aussi employées par certains expérimentateurs.

ou mécaniques en unités de chaleur. Mais ce calcul restera incertain, tant que le facteur de conversion ne sera pas fixé internationalement.

Toutes ces considérations mènent à la conclusion qu'il est indiqué de définir la calorie comme un certain multiple de l'erg ou du joule.

En choisissant le facteur

$$\frac{3600}{860} \approx 4,18605$$

adopté par la Première « International Steam-Table Conference » (§ 1), on est certain que la calorie définie ainsi est pratiquement identique (*voir* § 3) à la calorie ancienne dite « à 15° C. ».

On pourrait se demander s'il ne serait pas recommandable de distinguer la nouvelle calorie par un qualificatif approprié, par exemple calorie « absolue ». Considérant que les unités électriques qui seront en vigueur à partir du 1^{er} janvier 1940 ne comporteront plus un tel adjectif, il paraît indiqué que la calorie, qui se range dans le même système, n'en comporte pas non plus.

A la définition

$$1 \text{ calorie} = \frac{1}{860} \text{ wattheure,}$$

correspond

$$1 \text{ kilocalorie} = \frac{1}{860} \text{ kilowattheure.}$$

Dans ces termes, la définition donnée ici coïncide formellement avec celle qui a servi de base aux Tables internationales schématiques pour l'eau et la vapeur d'eau [12]. Cependant, celles-ci se rapportaient au kilowattheure dit international, et la Troisième « International Steam-Table Conference » (§ 1) l'a désignée comme calorie internationale pour les Tables de la vapeur d'eau (« international Steam-Table calorie », I. T. cal.) [13].

3. *Rapport entre la calorie et l'ancienne calorie définie en fonction de la capacité calorifique de l'eau.* — La discussion des anciennes déterminations de l'équivalent mécanique de l'unité de chaleur définie en fonction de la capacité calorifique de l'eau est rendue extrêmement difficile à cause des incertitudes qui existaient autrefois concernant l'échelle thermométrique

d'une part, et, si la chaleur était mesurée par des moyens électriques, des incertitudes concernant les unités électriques d'autre part. Pour les anciennes déterminations nous renvoyons le lecteur aux aperçus existant [46]; car nous ne considérons dans le résumé ci-dessous que les recherches d'une date plus récente.

a. Jaeger et von Steinwehr [17] déduisent de leurs mesures :

$$1 \text{ cal}_{15} = 4,184_2 \text{ joules internationaux.}$$

Si nous adoptons [48]

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

et

$$1 \text{ volt international moyen} = 1,00036 \text{ volt absolu,}$$

nous déduisons :

$$1 \text{ joule international moyen} = 1,00024 \text{ joule absolu } (^1).$$

Il s'ensuit que, d'après Jaeger et von Steinwehr,

$$1 \text{ cal}_{15} = 4,185_2 \text{ joules absolus.}$$

Comme (§ 2) $1 \text{ cal} = 4,18605 \text{ joules absolus}$, nous obtenons :

$$\frac{1 \text{ cal}}{1 \text{ cal}_{15}} = 1,00020.$$

b. Laby et Hercus [19] mesuraient la capacité calorifique de l'eau directement en ergs. Ils ont obtenu

$$1 \text{ cal}_{15} = 4,1852_6 \times 10^7 \text{ ergs.}$$

Donc

$$\frac{1 \text{ cal}}{1 \text{ cal}_{15}} = 1,0001_9.$$

c. Osborne, Stimson et Fiock [20] donnent entre autres résultats de leurs mesures les enthalpies de l'eau liquide sous la pression de sa vapeur saturée de 10 en 10°. L'interprétation de ces résultats pour le point qui nous intéresse est un peu déli-

(¹) Les valeurs nationales (comp. réf. 17, p. 112, 113) n'en diffèrent que de quelques unités de la dernière décimale.

cate. En effet du Tableau XIII de leur Mémoire on tire pour la différence des enthalpies aux températures 20 et 10° C : 41,81 joules internationaux. Mais la comparaison avec le Tableau XII montre que le terme principal de cette valeur dépend d'une formule d'interpolation, tandis que la mesure directe avait donné 0,02 joule de plus. Prenons, en conformité avec la mesure directe, cette différence égale à 41,83 joules internationaux. On en déduit $\frac{dW}{dt} = 4,183$ à 15° C (W = enthalpie). Cette quantité n'est pas rigoureusement égale à c_p ; mais un petit calcul montre que la différence peut être négligée. On trouve donc

$$\begin{aligned} 1 \text{ cal}_{15} &= 4,183 \text{ joules internationaux} \\ &= 4,184 \text{ joules absolus,} \end{aligned}$$

donc

$$\frac{1 \text{ cal}}{1 \text{ cal}_{15}} = 1,0005.$$

En récapitulant, nous avons la liste suivante :

	cal/cal ₁₅ .
Jaeger et von Steinwehr.....	1,0002
Laby et Hercus.....	1,0002
Osborne, Stimson et Flock.....	1,0005

La moyenne donne 1 cal = 1,0003 cal₁₅, tandis que, considérant les différentes sources d'incertitude, il semble prudent d'admettre une erreur moyenne égale à ± 0,0003, donc

$$1 \text{ cal} = 1,0003 \pm 0,0003 \text{ cal}_{15} \quad (1).$$

(1) N. S. Osborne, H. F. Stimson et D. C. Ginnings (*J. of Research of the N. B. of S.*, août 1939, t. 23, p. 197), trouvent 1 cal₁₅ = 4,1850 joules internationaux, ce qui donne avec 1 joule international = 1,00024 joule absolu : 1 cal₁₅ = 4,1860 joules absolus, d'où $\frac{1 \text{ cal}}{1 \text{ cal}_{15}} = 1,00001$. En remplaçant le nombre du texte provenant du N. B. S. par celui-ci, la moyenne devient : 1 cal = 1,0001 cal₁₅.

A la suite des modifications introduites par le dernier Comité consultatif d'Électricité dans les valeurs des unités internationales, le joule international se trouverait maintenant égal à 1,00030 joule absolu. La nouvelle calorie serait alors encore un peu plus voisine de la calorie à 15°. Toutefois le chiffre arrondi 1,0001 ne change pas. [Notes ajoutées à l'impression.]

4. *Conclusion.* — Le Comité consultatif de Thermométrie pourrait prendre, comme base de discussion, la proposition et la remarque suivantes à soumettre à la décision du Comité international des Poids et Mesures.

PROPOSITION.

L'unité de quantité de chaleur est la calorie. La calorie est équivalente à $\frac{3600}{860}$ joules ou $\frac{1}{860}$ wattheure.

REMARQUE.

La calorie est égale à $1,0003 \pm 0,0003$ fois l'ancienne calorie dite à 15° C.

RÉFÉRENCES.

1. BLACK, *Lectures on Natural Philosophy*, t. 1, 1760-1765, pp. 79 et 504. Cité d'après E. HOPPE, *Geschichte der Physik*, Braunschweig, 1926, p. 192.
2. S. CARNOT, *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*. Paris, 1824, p. 45. Cité d'après la réimpression de 1878. Voir aussi OSTWALD'S, *Klassiker*, n° 37, p. 47.
3. J. R. MAYER, *Beiträge zur Dynamik des Himmels*. Heilbronn, 1848. Cité d'après *Die Mechanik der Wärme in gesammelten Schriften* von J. R. MAYER, Stuttgart, 1867, p. 152.
4. P. A. FAVRE et J. T. SILBERMANN, *Ann. de Chimie et de Physique*, t. 34, 1852, p. 385.
5. E. H. GRIFFITHS, *Phil. Mag.*, t. 40, 1895, p. 431.
6. *Brit. Ass. Rep.*, 1896, p. 150.
7. E. WARBURG, *Referat über die Wärmeeinheit*. Leipzig, 1900.
8. A. BARTOLI, *Nuovo Cimento*, t. 3, 1896, p. 84.
9. E. H. GRIFFITHS, *Phil. Trans. Roy. Soc.*, t. 186, 1895, p. 261.
10. A. BARTOLI et E. STRACCIATI, *Rend. Lomb.*, t. 28, 1895, p. 469.
11. *Z. Instrum-kde*, t. 45, 1924, p. 475.
12. *The Engineer*: London, t. 148, 1929, p. 601; *Mechanical Engineering*, New-York, t. 52, 1930, p. 120.
13. *The Engineer*, London, t. 160, 1935, p. 352.

14. Congrès international de Physique organisé par l'Union internationale de Physique et la Physical Society. *Actualités scientifiques et industrielles*, n° 342. Paris, Hermann et C^{ie}, 1936. *International Conference on Physics*, London, 1934. *Reports on Symbols, Units and Nomenclature*. Published by the *Physical Society*, London, 1935.
 15. W. J. M. RANKINE, *Phil. Trans. Roy. Soc.*, t. 144, 1854, p. 115.
 16. MÜLLER-POUILLET, *Lehrbuch der Physik*, t. III, 1926, p. 118; A. EUCKEN, *Energie-und Wärmehalt. Handbuch der Experimentalphysik*. Leipzig, 1929; T. H. LABY, *Proc. Phys. Soc.*, London, t. 38, 1926, p. 169. Voir aussi T. H. LABY et E. O. HERCUS, *Int. Crit. Tables*, V, p. 78; R. T. BIRGE, *Rev. Mod. Phys.*, t. 1, 1929, p. 1.
 17. W. JAEGER und H. von STEINWEHR, *Ann. Physik*, t. 64, 1921, p. 305.
 18. Comité international des Poids et Mesures, *Procès-Verbaux des séances*, 2^e série, t. 18, 1937, p. 111.
 19. T. H. LABY and E. O. HERCUS, *Proc. Phys. Soc. London*, t. 47, 1935, p. 1003.
 20. N. L. OSBORNE, H. F. STIMSON and E. F. FLOCK, *Bur. Stand. J. Res.*, t. 5, 1930, p. 411.
-

ANNEXE T12.

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

LA CALORIE 20°

ET

SON RAPPORT A L'UNITÉ ABSOLUE.

Par M. S. W. LIPINE.

(Ce Mémoire a paru dans les publications de l'Institut de Métrologie de l'U. R. S. S. La conclusion en est résumée dans les propositions suivantes.)

1. L'unité principale de chaleur est le joule égal à 10^7 ergs.
 2. L'unité secondaire pratique est la calorie 20° à laquelle on attribue provisoirement la valeur de $4,1807 \cdot 10^7$ ergs.
 3. Pour définir la valeur exacte de la calorie 20°, il est nécessaire d'effectuer une nouvelle détermination de l'équivalent mécanique de la chaleur avec une précision correspondant à l'état actuel de la métrologie.
-

ANNEXE T 13.

National Bureau of Standards.

MÉMORANDUM

SUR

LA DÉFINITION DE L'UNITÉ DE CHALEUR

(13 avril 1939).

A la date du 6 mars, le Professeur W. H. Keesom, Président du Comité consultatif de Thermométrie, informait les membres de ce Comité que le Comité international des Poids et Mesures avait renvoyé la question de la définition de l'unité de chaleur au Comité consultatif de Thermométrie.

Comme base de discussion, le Professeur Keesom soumettait une proposition, formulée par le Professeur J. Stark, Président de la Physikalisch-Technische Reichsanstalt, qui ferait de la calorie l'unité de chaleur, et qui la définirait non pas par rapport aux propriétés de l'eau, mais par rapport au joule. La calorie ainsi définie ne serait pas désignée par un terme spécial mais simplement sous le nom de calorie. La proposition et la remarque explicative étaient formulées de la façon suivante

Proposition. — « L'unité de chaleur est la calorie. La calorie « est équivalente à $\frac{3600}{860}$ joules ou $\frac{1}{860}$ watt-heure ».

Remarque. — « La calorie est $1,0002 \pm 0,0003$ fois l'ancienne « calorie communément appelée calorie à 15° ».

Une Note explicative jointe à la proposition passe en revue brièvement les faits essentiels concernant les unités d'énergie et de chaleur, et résume les arguments en faveur de la proposition.

Il n'y a pas lieu de discuter à nouveau ces faits en détail. En ce qui concerne le choix de l'unité de chaleur, le point peut-être le plus important mis en évidence dans la Note est que presque toutes les mesures modernes précises de quantité de chaleur ont été faites par des méthodes électriques et par suite, après le 1^{er} janvier 1940, de telles mesures seront faites directement par rapport à des unités mécaniques d'énergie. Il est même possible d'aller plus loin et d'ajouter qu'on utilise de plus en plus le joule comme unité pratique de chaleur, et que les désavantages de l'opération supplémentaire, qui consiste à diviser les résultats, mesurés en joules, par un nombre arbitrairement choisi, compris entre 4,18 et 4,19, deviennent de plus en plus évidents. Il est à peine nécessaire de montrer les avantages qu'il y a à utiliser le joule comme unité, plutôt qu'une unité qui serait 4,186 joules par exemple. Cette dernière unité convient dans le cas spécial de calculs approchés ayant rapport à la capacité calorifique de l'eau liquide aux températures ordinaires; mais elle n'a aucun avantage sur le joule dans les autres cas.

On peut admettre que le but poursuivi en soumettant cette proposition était l'adoption internationale d'une calorie qui serait acceptable d'une façon générale par ceux qui utilisent la calorie. Il se trouve qu'un grand nombre des groupements qui ont eu l'occasion d'utiliser une calorie définie sont représentés au National Bureau of Standards. Il apparaît qu'aucune valeur unifiée ne serait acceptée par tous ces groupements, bien que ceux-ci soient d'accord pour considérer le joule comme une unité satisfaisante. Par conséquent il paraît probable que si la Conférence générale des Poids et Mesures devait adopter une proposition analogue à celle qui lui est soumise, la définition ne serait pas acceptée d'une façon universelle et le résultat serait qu'on ajouterait encore une unité de plus à celles qui sont déjà en usage. Ceci ne ferait qu'augmenter la confusion de la situation actuelle.

D'autre part, si la définition soumise à l'approbation de la Conférence générale était adoptée par tous les usagers de la calorie, celle-ci prendrait un nouvel essor. Il en résulterait que, pendant plus longtemps encore qu'il n'en serait sans cela, la calorie continuerait à être utilisée pour des applications où le joule est beaucoup plus commode. Pourtant l'évolution favorisant le remplacement de la calorie par le joule comme unité pratique de chaleur est déjà en bonne voie, et ne devrait pas être contrariée, mais encouragée.

Par conséquent, il semble que si la proposition soumise était adoptée, et si l'on remplaçait effectivement toutes les calories existantes par une seule, on retarderait sans nécessité l'adoption générale du joule comme unité pratique de chaleur. D'autre part, si l'adoption de la proposition n'avait pour conséquence que d'ajouter une calorie de plus à celles qui sont déjà en usage, on encouragerait la tendance à utiliser directement le joule. Ainsi, en échouant dans cette entreprise, on arriverait indirectement à un résultat souhaitable; mais ce résultat peut être acquis d'une façon beaucoup plus effective par des méthodes plus directes.

Conclusion. — La Conférence générale des Poids et Mesures pourrait rendre un service utile en affirmant que le joule, unité pratique d'énergie, est aussi l'unité de chaleur la plus indiquée, et en recommandant que si l'on avait parfois à utiliser des unités de chaleur secondaires, telles que la *calorie* ou la *British Thermal Unit*, celles-ci soient définies explicitement en fonction du joule.

(Un second Mémoire, intitulé « Mémoire sur des changements d'unités d'énergie », préparé en vue de la Conférence internationale des Tables de la Vapeur d'Eau, accompagnait celui-ci).

EXTRAIT DE LA LETTRE-CIRCULAIRE

adressée par le Président et le Secrétaire
du Comité international des Poids et Mesures
aux Ambassades et Légations,
aux membres du Comité international et des Comités consultatifs,
et aux Bureaux nationaux intéressés.

COMITÉ INTERNATIONAL

DES

POIDS ET MESURES

1^{er} janvier 1940.

.....

(Le Président et le Secrétaire du Comité international des Poids et Mesures...) désirent attirer l'attention sur le fait que ces Comités (consultatifs) ne sont essentiellement que des conseillers du Comité international des Poids et Mesures, auquel seul appartiennent les décisions. Ce dernier n'a pu tenir la session qui était prévue pour la fin septembre 1939. Les résolutions ci-incluses, votées par les Comités consultatifs, n'ont donc pas de valeur exécutoire; elles sont seulement communiquées à titre d'information, en attendant la sanction ultérieure du Comité international.

Il est aussi un point particulier que le Bureau du Comité ne doit pas passer sous silence : c'est la date à laquelle il conviendrait d'exécuter les changements des unités tant électriques que photométriques :

Les décisions antérieures du Comité international fixaient au 1^{er} janvier 1940, date définitive, la substitution du système pratique absolu des unités électriques au système international (Procès-Verbaux du Comité international des Poids et Mesures, 1935, p. 73 et 75), et à la même date la substitution de la « bougie nouvelle » aux unités actuelles d'intensité lumineuse (Procès-Verbaux du Comité international des Poids et Mesures, 1937, p. 236 et 64).

II

Cependant, dans les réunions des Comités consultatifs dont il est rendu compte ici, l'on a constaté que, pour des raisons diverses, l'opportunité d'une date aussi rapprochée rencontrait des objections assez vives; l'on pouvait peut-être prévoir que, au Comité international des Poids et Mesures, l'unanimité ne serait plus acquise pour un changement immédiat; le délai d'exécution d'une année a d'ailleurs été demandé d'un avis unanime pour ce qui concerne l'unité d'intensité lumineuse.

Dans ces conditions, le Président et le Secrétaire du Comité International considérant en outre la nécessité qu'il y a à obtenir la simultanéité internationale dans les changements d'unités, et l'impossibilité de la réaliser dans les graves circonstances actuelles, expriment.....l'opinion qu'aucun changement d'unité ne devrait être accompli dès maintenant; il conviendrait d'attendre un nouvel avis, que ne manquera pas d'émettre au moment opportun l'organisme international qualifié.

Le Secrétaire
du Comité international
des Poids et Mesures :

Signé : B. CABRERA.

Le Président, par délégation,
du Comité international
des Poids et Mesures :

Signé : P. ZEEMANN.

TABLES DES MATIÈRES

RAPPORT DU DIRECTEUR SUR LA GESTION DU BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES PENDANT LA PÉRIODE COMPRISE ENTRE LE 1^{er} JUIN 1937 ET LE 31 AOUT 1939

	Pages.
I. — <i>Personnel</i> . — Décès de M. Ch.-Ed. Guillaume. — Nomination de M. Terrien comme Assistant de 3 ^e classe, et de M. Cabrera comme Assistant de 4 ^e classe à titre provisoire. — M. Péronno quitte le Bureau. — Nomination de M. Leclerc comme calculateur-stagiaire de 2 ^e classe. — M. F. Salvi fait un stage au Bureau.....	D 1-D 2
II. — <i>Bâtiments</i> . — État du bâtiment principal. — Restauration de la bibliothèque. — Travaux de peinture dans les bureaux. — Remplace- ment de la clôture du parc. — Construction d'un garage. — Travaux d'aménagement dans les bâtiments de l'Observatoire et amélioration du chauffage. — Diminution des risques d'in- cendie	D 2-D 4
III. — <i>Machines et Instruments</i>	D 4-D 16
Mètres prototypes.....	D 4

Comparateur Brunner. Comparateur à dilata- tion. Comparateur géodésique	D 6
Machine à mesurer. Base géodésique. Machine à diviser	D 8
Interféromètres	D 9
Kilogrammes prototypes. Balances	D 10
Instruments électriques	D 11
Installations photométriques	D 14
Instruments thermométriques	D 15
Outillage	D 16
IV. — <i>Travaux</i>	D 16-D 43
Étude des prototypes métriques	D 16
Diverses déterminations et études sur étalons de longueur	D 20
Conditions de précision des pointés aux micros- copes	D 21
Mesures de dilatations	D 22
Étude des fils géodésiques	D 22
Interférences lumineuses	D 25
Masses. Densités	D 27
Études thermométriques	D 29
Mesures électriques	D 32
Premières expériences photométriques	D 35
Divers	D 36
Liste des Certificats et Notes d'étude	D 39
V. — <i>Comptes</i>	D 44-D 49
1. Fonds disponibles. — 2. Fonds de Réserve. — 3. Caisse de retraites	D 44
Bilan (Actif. — Titres du Compte I. — Titres du Compte II)	D 45
Mouvements des valeurs. — Fluctuations des devises monétaires	D 46
Tableaux résumant le compte « Fonds dispo- nibles » pour les sept dernières années	D 48

COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ
AUPRÈS DU COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
 Session de 1939

	Pages.
Liste des Membres du Comité consultatif d'Électricité.....	E 3
Procès-Verbal de la première séance, mardi 6 juin 1939.....	E 7-E 13
Souhaits de bienvenue aux Membres du Comité consultatif d'Électricité.....	E 7
Présidence de ce Comité.....	7
Télégrammes de vœux adressés à MM. Volterra et Kennelly. Excuses de MM. Budeanu et Enström. Souhaits particuliers à MM. Chramkov, Hartshorn, Hayashi, Schulze et Tikhodeev....	8
Élection d'un Secrétaire et d'un Rapporteur. Documents remis.....	8
Comparaisons faites par le Bureau international des Poids et Mesures, entre les étalons des divers Laboratoires nationaux (Ohm. Volt)...	9
Déterminations faites dans les divers Laboratoires nationaux, des rapports des unités internationales aux unités absolues (Ohm. Ampère)..	9
Attribution de valeurs, en fonction des unités absolues, aux étalons des divers Laboratoires ayant figuré dans les comparaisons du Bureau international (Proposition relative à l'attribution de valeurs provisoires aux rapports entre les unités internationales actuelles et les unités absolues. — Discussion).....	11

	Pages.
Procès-Verbal de la deuxième séance, mercredi	
7 juin 1939.....	E 15-E 20
Disposition concernant l'approbation des Procès-Verbaux des séances.....	E 15
Discussion du texte de la Résolution proposée pour l'attribution de valeurs provisoires aux rapports entre les unités internationales et les unités absolues.....	15
Études faites en vue du perfectionnement des étalons représentatifs des unités et des étalons secondaires (Alliage chrome-or).....	18
Établissement de textes susceptibles d'être incorporés dans les législations ou réglementations (Proposition du National Physical Laboratory, base de la discussion. — Système M. K. S. discuté. — Modification du paragraphe 9).....	18
Procès-Verbal de la troisième séance, mercredi	
7 juin 1939.....	E 21-E 32
Adoption du texte se rapportant au paragraphe 9 de la proposition du National Physical Laboratory.....	21
Discussion concernant les spécifications recommandées pour les étalons de résistance et de différence de potentiel (Date limite pour l'envoi des documents).....	22
Examen d'une lettre de M. Budeanu ayant trait à la définition des unités (Maintien du weber).....	23
Résolution concernant les unités électriques absolues.....	25
Prochaine session.....	30
Propositions diverses (Résolution fixant les qualificatifs des unités électriques. — Suggestion relative aux comparaisons d'inductance et de capacité).....	31
Clôture de la session.....	32

	Pages.
Sixième Rapport du Comité consultatif d'Électricité au Comité international des Poids et Mesures; par M. H. von Steinwehr.....	E 33-E 40
Annexes des Procès-Verbaux du Comité consultatif d'Électricité.....	E 41-E 101
E 1. PHYSIKALISCH-TECHNISCHE REICHSANSTALT. — <i>Rapport concernant l'état des expériences sur la détermination de l'ohm international en unités absolues</i> ; par M. Zickner.	E 41
E 2. NATIONAL BUREAU OF STANDARDS. — <i>Résultats supplémentaires à une détermination de l'ohm absolu en faisant usage d'un inducteur perfectionné</i> ; par MM. Harvey L. Curtis, Charles Moon et M ^{me} C. Matilda Sparks.....	43
E 3. NATIONAL BUREAU OF STANDARDS. — <i>Rapport préliminaire sur une mesure absolue de résistance basée sur l'inversion d'un courant continu dans une inductance mutuelle</i> ; par MM. Frank Wenner, James L. Thomas, Irvin L. Cooter et F. Ralph Kotter.....	E 48
E 4. LABORATOIRE CENTRAL D'ÉLECTRICITÉ. — <i>Note complémentaire sur la détermination du rapport de l'ohm international à l'ohm absolu</i> ; par MM. R. Jouaust, M. Picard et R. Hérou.....	49
E 5. PHYSIKALISCH-TECHNISCHE REICHSANSTALT. — <i>Rapport concernant l'état des expériences sur la détermination de l'ampère international en unités absolues</i> ; par M. H. von Steinwehr.....	51
E 6. NATIONAL BUREAU OF STANDARDS. — <i>Résumé d'un rapport sur la détermination de l'ampère absolu en faisant usage de bobines perfectionnées</i> ; par MM. Harvey L. Curtis, Roger W. Curtis et Charles L. Critchfield.....	56

E 7. LABORATOIRE ÉLECTROTECHNIQUE DE TOKIO. — <i>Sur la mesure absolue du courant; par</i> MM. R. Yoneda et Y. Ishibashi.....	E 59
E 8. BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES. — <i>Rapport sur les comparaisons des</i> <i>étalons nationaux de résistance élec-</i> <i>trique; par MM. A. Pérard et M. Roma-</i> <i>nowski.....</i>	62
E 9. BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES. — <i>Rapport sur les comparaisons des</i> <i>étalons nationaux de force électromo-</i> <i>trice; par MM. M. Romanowski et M. Roux.</i>	69
E 10. LABORATOIRE ÉLECTROTECHNIQUE DE TOKIO. — <i>Propositions du Laboratoire électro-</i> <i>technique.....</i>	74
E 11. NATIONAL PHYSICAL LABORATORY. — I. <i>Lettre</i> <i>et projet de Résolution concernant les</i> <i>unités électriques pratiques absolues...</i>	78
II. <i>Projet de Résolution concernant les</i> <i>unités électriques pratiques absolues...</i>	79
E 12. INSTITUT DE MÉTROLOGIE DE L'U. R. S. S. — <i>Sur la définition des unités électriques</i> <i>et magnétiques dans le système élec-</i> <i>tromagnétique absolu M. K. S. μ; par</i> M. M. F. Malikov.....	84
E 13. <i>Note sur le projet de Résolution présenté</i> <i>par le National Physical Laboratory;</i> par M. C. Budeanu.....	85
E 14. INSTITUT DE MÉTROLOGIE DE L'U. R. S. S. — <i>Sur l'établissement des étalons des</i> <i>unités magnétiques; par M. E. G.</i> Chramkov.....	88
E 15. <i>Note sur le Rapport de l'Institut de Métro-</i> <i>logie de l'U. R. S. S. sur l'établis-</i> <i>sement des étalons des unités magné-</i> <i>tiques; par M. C. Budeanu.....</i>	89

	Pages.
E 16. NATIONAL PHYSICAL LABORATORY. — <i>Spécifications proposées pour les étalons de résistance d'un ohm</i>	E 91
E 17. NATIONAL PHYSICAL LABORATORY. — <i>Spécifications proposées pour la pile étalon Weston type N. P. L.</i>	97

COMITÉ CONSULTATIF DE PHOTOMÉTRIE
AUPRÈS DU COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
Session de 1939

	Pages.
Liste des Membres du Comité consultatif de Photométrie.....	P 3
Procès-verbal de la séance, jeudi 8 juin 1939	P 5-P 22
Télégramme envoyé par M. Volterra.....	P 5
Bienvenue aux Membres du Comité consultatif de Photométrie. — Excuses de MM. Bordoni et Pirani.....	6
Nomination du Secrétaire et du Rapporteur....	6
Arrivée trop tardive des rapports à discuter....	6
Nouvelles comparaisons faites par les Laboratoires entre leurs étalons nationaux et la brillance du corps noir, à la température de solidification du platine.....	7
Comparaisons faites au National Physical Laboratory entre les étalons envoyés par les divers Laboratoires et fonctionnant à la température de couleur du corps noir au point de solidification du platine.....	8

Comparaisons faites au National Physical Laboratory entre les étalons des divers Laboratoires, fonctionnant à la température de couleur de 2360°K. Valeurs en fonction de la nouvelle unité (Résolution concernant la date d'introduction de la bougie nouvelle).....	9
Comparaisons faites au National Physical Laboratory entre les lampes des divers Laboratoires pour lesquelles a été déterminé le rapport entre l'intensité dans une direction donnée et l'intensité moyenne sphérique.....	P 14
Installations en voie d'achèvement au Bureau international, pour la comparaison des étalons d'intensité lumineuse.....	16
Échange de vues au sujet de la coordination des unités de divers pays dans l'avenir.....	17
Propositions sur la périodicité des comparaisons ..	17
Méthodes utilisées dans l'établissement des étalons à 2800°K. — Lettre du Prof. Bordoni. — Textes susceptibles d'être incorporés dans les réglementations. — Discussion sur la nature de l'unité fondamentale de lumière	18
Résolution se rapportant à l'échange de lampes fonctionnant à 2800°K	20
Prochaine session	21
Clôture de la session	22
Deuxième Rapport du Comité consultatif de Photométrie au Comité international des Poids et Mesures; par M. J. W. T. Walsh.....	P 23-P 35
Annexes des Procès-Verbaux du Comité consultatif de Photométrie.....	P 36-P 83
P 1. PHYSIKALISCH-TECHNISCHE REICHSANSTALT. — <i>Les travaux préparatoires pour la nouvelle unité de lumière; par M. H. Willenberg.....</i>	36

	Pages.
P 2. LABORATOIRE ÉLECTROTECHNIQUE DE TOKIO. — <i>Sur la mesure de la brillance du corps noir à la température de solidification du platine;</i> par MM. Z. Yamauti et T. Iizuka.....	41
P 3. LABORATOIRE ÉLECTROTECHNIQUE DE TOKIO. — <i>Sur l'unité d'intensité lumineuse à la température de couleur de 2360°K;</i> par MM. Z. Yamauti, S. Saito et S. Yamanaka.....	44
P 4. LABORATOIRE ÉLECTROTECHNIQUE DE TOKIO. — <i>Sur la méthode de détermination de l'unité de flux lumineux;</i> par M. Z. Yamauti.....	P 47
P 5. NATIONAL PHYSICAL LABORATORY. — <i>Inter- comparaison des lampes :</i> I. <i>Étalons d'intensité lumineuse.....</i>	49
P 6. NATIONAL PHYSICAL LABORATORY. — <i>Inter- comparaison des lampes :</i> II. <i>Rapport du flux lumineux à l'inten- sité lumineuse.....</i>	64
P 7. BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES. — <i>Installations photométriques du Bureau international;</i> par M. J. Terrien.	70
P 8. NATIONAL PHYSICAL LABORATORY. — <i>Propo- sition de résolution concernant les unités photométriques.....</i>	72
P 9. LABORATOIRE ÉLECTROTECHNIQUE DE TOKIO. — <i>Propositions du Laboratoire Electro- technique.....</i>	75
P 10. INSTITUT DE MÉTROLOGIE DE L'U. R. S. S. — <i>Sur la définition de l'unité photomé- trique fondamentale en vue de l'adop- tion d'un nouvel étalon de lumière;</i> par M. P. M. Tikhodeev.....	78
P 11. <i>Lettre du Professeur U. Bordoni.....</i>	80
P 12. LABORATOIRE ÉLECTROTECHNIQUE DE TOKIO. — <i>Sur la lampe-étalon photométrique;</i> par M. Z. Yamauti.....	82

COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE
AUPRÈS DU COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
Séssion de 1939

	Pages.
Liste des Membres du Comité consultatif de Thermométrie.....	T 3
Procès-verbal de la première séance, mardi 11 juillet 1939.....	T 5-T 18
Bienvenue aux Membres du Comité consultatif de Thermométrie	T 5
Élection du Secrétaire et du Rapporteur.....	6
Nomination de trois spécialistes comme membres du Comité consultatif.....	6
Thermométrie des basses températures (Position du point de fusion de la glace dans l'échelle Kelvin. — Adoption de la Résolution s'y rapportant).....	7
Échelle thermométrique au-dessous de $-190^{\circ}\text{C}..$	9
Proposition concernant la définition de l'échelle thermodynamique absolue.....	10
L'Échelle internationale de Température (Projet établi par le N. B. S.). Discussion de la 2 ^e partie : Définition de l'Échelle.....	12
Points fixes fondamentaux et points fixes primaires.	12
Intervalle compris entre le point de fusion de la glace et le point de solidification de l'antimoine..	13
Intervalle compris entre -190°C et le point de fusion de la glace.....	15
Intervalle compris entre le point de solidification de l'antimoine et le point de solidification de l'or...	16
Températures situées au-dessus du point de solidification de l'or (Constante C_2).....	17

	Pages.
Procès-verbal de la deuxième séance, mercredi 12 juillet 1939.	T 19-T 32
L'Échelle internationale de Température. Discussion de la 3 ^e partie : Modes opératoires recommandés et renseignements complémentaires...	T 19
Point de fusion de la glace.....	20
Point d'ébullition de l'eau.....	21
Températures situées au-dessus du point de solidification de l'or.....	23
Relation entre l'échelle Kelvin et l'échelle internationale de température.....	23
Points secondaires.....	23
Emploi de la lettre <i>t</i> pour désigner la température.....	25
M. Pérard est chargé d'harmoniser, avec les décisions prises, la 1 ^{re} partie du Projet : Introduction.....	25
L'unité de chaleur.....	26
Résolution concernant la définition de l'unité de chaleur.....	31
Prochaine session.....	32
Clôture de la session.....	32
Premier Rapport du Comité consultatif de Thermométrie au Comité international des Poids et Mesures; par M. J. E. Sears.	T 33-T 54
Projet de rédaction de l'échelle internationale de température de 1939.....	39
Première Partie : Introduction.....	39
Deuxième Partie : Définition de l'échelle internationale de température de 1939.....	41
Troisième Partie : Modes opératoires recommandés et renseignements complémentaires.....	44
Annexes des Procès-Verbaux du Comité consultatif de Thermométrie	T 55-T 124
T 1. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. — <i>Proposition relative à la définition de l'échelle thermodynamique absolue</i>	55

	Pages.
T 2. NATIONAL BUREAU OF STANDARDS. — <i>Projet d'une échelle internationale de température de 1939</i>	60
Mémoire sur le projet de rédaction.....	61
Projet de rédaction de l'échelle internationale de température de 1939 :	
Première Partie : Introduction.....	T 66
Deuxième Partie : Définition de l'échelle internationale de température de 1939.....	68
Troisième Partie : Modes opératoires recommandés et renseignements complémentaires.....	70
T 3. NATIONAL BUREAU OF STANDARDS. — <i>Données détaillées concernant l'échelle de température dans le domaine défini au moyen du couple thermoélectrique</i>	80
T 4. NATIONAL BUREAU OF STANDARDS. — <i>L'échelle internationale des températures et quelques constantes physiques s'y rapportant; par M. H.-T. Wensel</i>	88
T 5. NATIONAL PHYSICAL LABORATORY. — <i>Commentaires sur le projet d'une échelle internationale de température de 1939, présenté par le National Bureau of Standards</i>	89
T 6. NATIONAL PHYSICAL LABORATORY. — <i>Remarques sur le Mémoire de H.-T. Wensel « L'échelle internationale de température et quelques constantes physiques s'y rapportant »</i>	93
T 7. PHYSIKALISCH-TECHNISCHE REICHSANSTALT. — <i>Réponse aux propositions du National Bureau of Standards sur une modification de l'échelle internationale de température</i>	98
T 8. DÉLÉGATION FRANÇAISE. — <i>Remarques relatives au projet de modification de la convention provisoire sur l'échelle internationale des températures; présentées par MM. G. Ribaud et G. Boutry</i>	101

T 9. <i>Amendements et commentaires au projet d'une échelle internationale de température de 1939</i> , par M. W. H. Keesom.	105
T 10. NATIONAL PHYSICAL LABORATORY. — <i>Le point de solidification du rhodium. Résumé des récentes recherches exécutées au N. P. L.</i>	108
T 11 <i>Note sur la calorie, unité de chaleur</i> ; par M. W. H. Keesom.....	T 110
T 12 INSTITUT DE MÉTROLOGIE DE L'U. R. S. S. — <i>La calorie 20° et son rapport à l'unité absolue</i>	121
T 13 NATIONAL BUREAU OF STANDARDS. — <i>Mémoire sur la définition de l'unité de chaleur</i>	122
EXTRAIT DE LA LETTRE-CIRCULAIRE adressée par le Président et le Secrétaire du Comité international des Poids et Mesures aux Ambassades et Légations, aux membres du Comité international et des Comités consultatifs, et aux Bureaux nationaux intéressés.....	I
TABLES DES MATIÈRES.....	III-XV

PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS

112790 Quai des Grands-Augustins, 55.

Dépôt légal, imprimeur, 1946, n° 275.

Dépôt légal, éditeur, 1946, n° 122.

Achévé d'imprimer le 21 avril 1947.