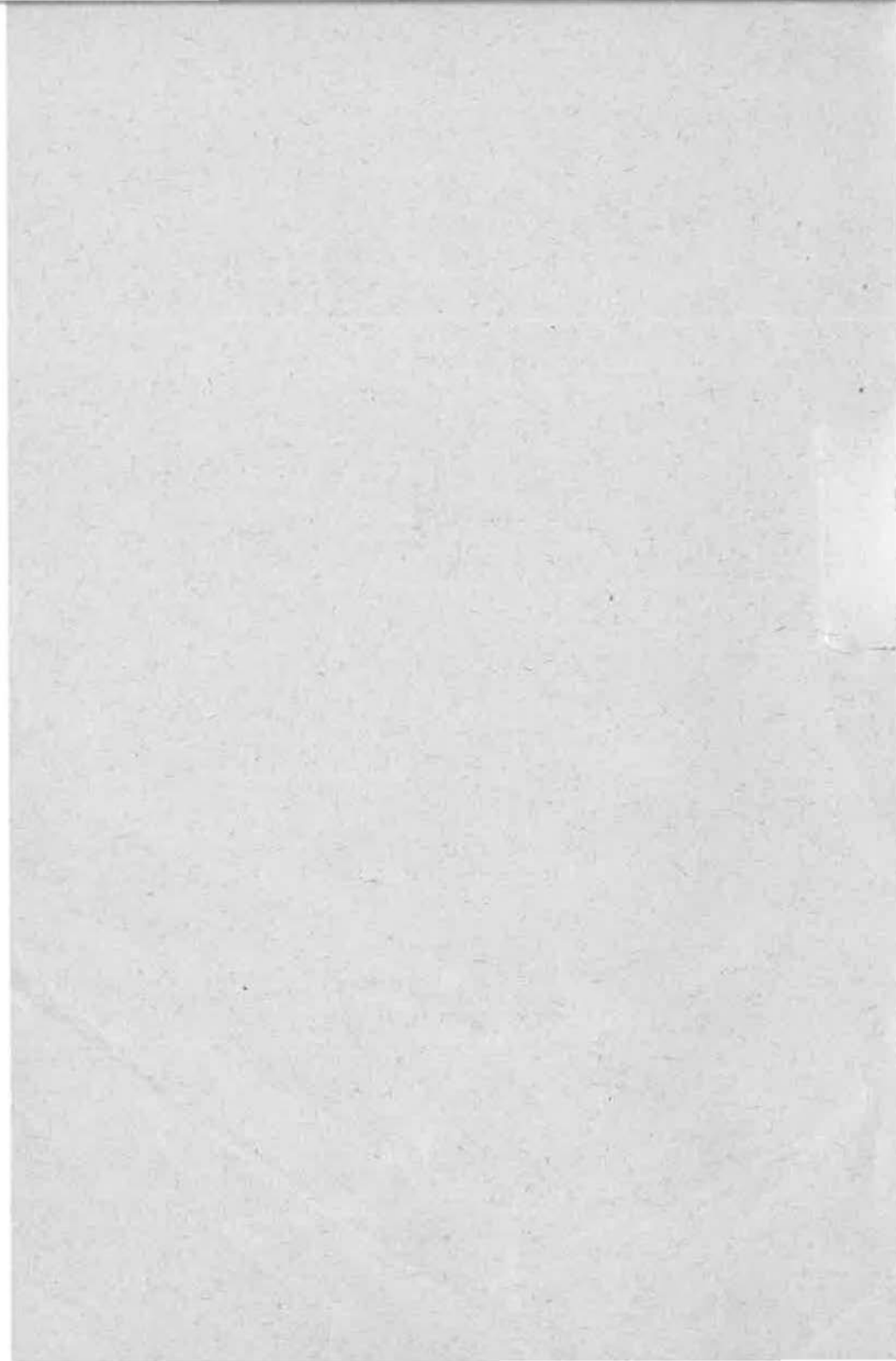


COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE
SESSION DE 1954.

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES,

RAPPORT ET ANNEXES.



PRESIDENT
du Comité International des Poids et Mesures
M. J. E. SEARS.

LISTE DES MEMBRES
DU
COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE.

Président :

M. J. DE BOER, Membre du Comité International des Poids et Mesures, Professeur à l'Université, *Amsterdam*.

Membres :

Pour la Physikalisch-Technische Bundesanstalt, *Braunschweig* : M. le Dr H. MOSER, Directeur de l'Abteilung III de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt.

Pour le National Research Council, *Ottawa* : M. H. PRESTON-THOMAS, Division of Physics, National Research Council.

Pour le National Bureau of Standards, *Washington* :
M. F. G. BRICKWEDDE, Chief, Heat and Power Division, National Bureau of Standards.

Pour le Conservatoire National des Arts et Métiers, *Paris* :
M. G.-A. BOUTRY, Professeur au Conservatoire National des Arts et Métiers.

Pour le National Physical Laboratory, *Teddington* :
M. J. A. HALL, Senior Principal Scientific Officer au National Physical Laboratory.

Pour le Central Inspection Institute of Weights and Measures, *Tokyo* (pas de délégué présent).

Pour le Kamerlingh Onnes Laboratorium, *Leyde* :
M. le Dr H. VAN DIJK, Conservateur pour la Thermométrie au Kamerlingh Onnes Laboratorium.

Pour l'Institut de Métrologie de l'U. R. S. S., *Moscou* :
M. le Prof. G. KONDRATIEV, Chef de la Section des Mesures Thermiques de l'Institut de Métrologie.

M. le Prof. J. TIMMERMANS, Directeur du Bureau des Étalons physico-chimiques, *Boitsfort-lez-Bruxelles*.

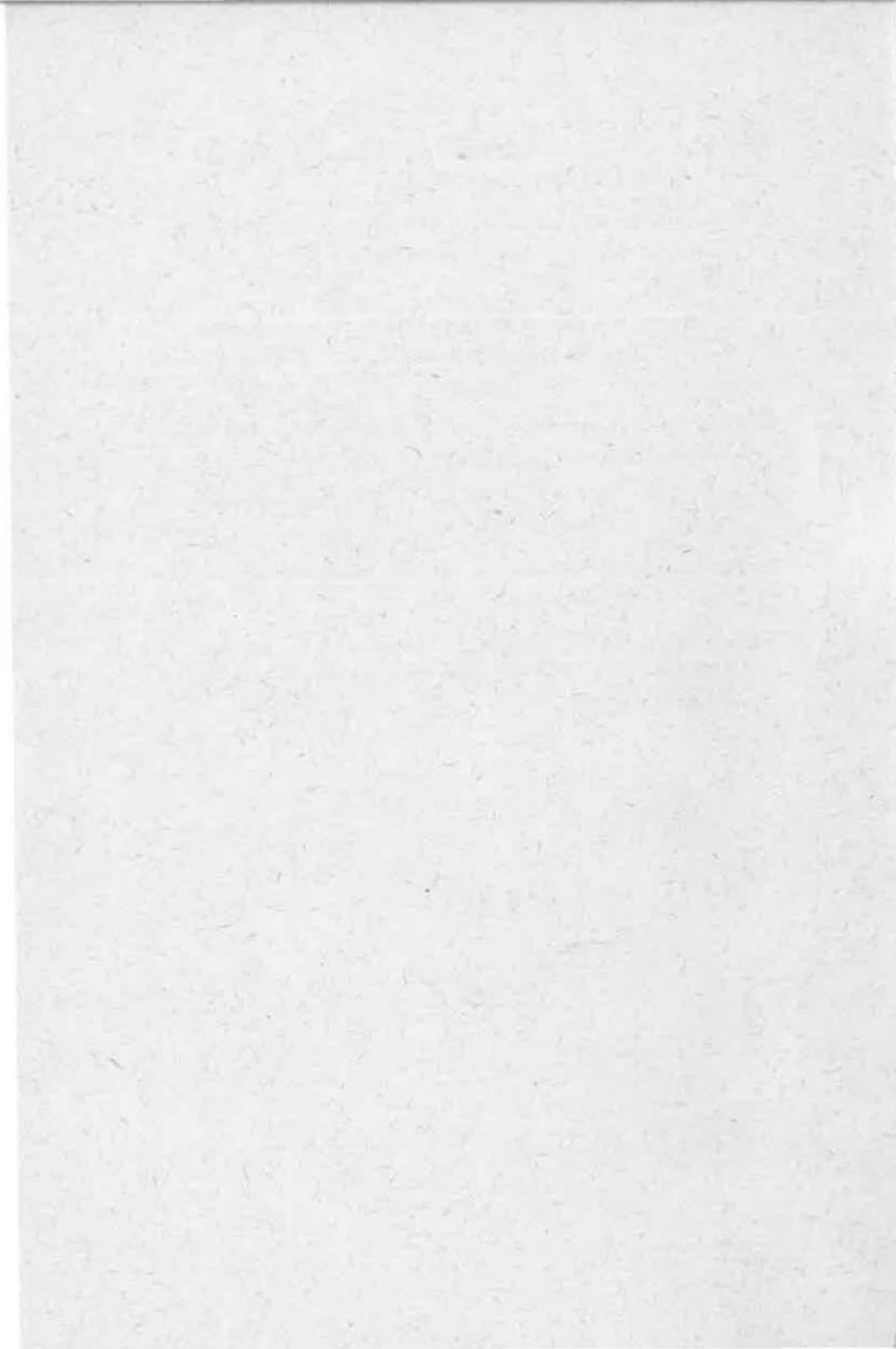
M. le Prof. G. BOZZA, Directeur de l'Institut de Physique, Technique et Mécanique, *Milan*.

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

Invités :

M. le Prof. G. CASSINIS, Secrétaire du Comité International des Poids et Mesures, Recteur de l'École Polytechnique, *Milan*.

- M. C. R. BARBER, Principal Scientific Officer au National Physical Laboratory, *Teddington*.
- M. le Prof. G. D. BOURDOUN, Vice-Président de la Chambre Centrale des Mesures et Instruments de Mesure, *Moscou*.
- M. M. DEBURE, Physicien Principal du Service de Métrologie au Conservatoire National des Arts et Métiers, *Paris*.
- M. le Dr G. J. SZASZ, Officer of Naval Research, Ambassade des États-Unis, *Londres*.
- M. J. TERRIEN, Sous-Directeur du Bureau International des Poids et Mesures, *Sèvres*.
- M. A. BONHOUR, Adjoint du Bureau International des Poids et Mesures, *Sèvres*.
- MM. H. MOREAU, M. GAUTIER, G. LECLERC et K. YOSHIÉ, Assistants du Bureau International des Poids et Mesures, *Sèvres*.
-



ORDRE DU JOUR

DE LA

SESSION

1. *Définition des points fixes; leur température dans l'échelle Kelvin.*

- a. Définition de l'atmosphère normale; g normal.
- b. Température de fusion de la glace T_0 .
- c. Température d'autres points fixes.
- d. Circulation de thermomètres à résistance pour comparaison internationale de l'intervalle fondamental 0-100° C.

2. *Échelles thermodynamiques.*

Échelle à un seul point fixe.

3. *Perfectionnement des techniques.*

- a. Thermomètre à gaz.
- b. Thermomètre à effet Johnson.
- c. Pyrométrie monochromatique ou à rayonnement total aux températures inférieures à T_{Au} .
- d. Emploi du thermomètre à résistance de Pt au-dessus de T_{Sb} .

4. *Échelle Internationale.*

Changements éventuels (domaine pyrométrique non limité au visible, critères des thermocouples, extension de l'emploi du thermomètre à résistance, extension de l'Échelle aux basses températures).

5. *Points secondaires.*
 6. *Nomenclature des échelles de température.*
 7. *Rôle du B. I. P. M., équipement, crédits et personnel nécessaires.*
 - a. *Projet de comparaison de lampes pyrométriques.*
 - b. *Comparaisons dans tout le domaine de l'Échelle Internationale.*
 8. *Publications aux Procès-Verbaux du Comité Consultatif de Thermométrie.*
 9. *Questions diverses.*
-

COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE.

SESSION DE 1954

PROCÈS-VERBAL

DE LA PREMIÈRE SÉANCE,

TENUE AU BUREAU INTERNATIONAL.

Lundi 12 juillet 1954.

PRÉSIDENCE DE M. J. DE BOER.

La séance est ouverte à 15^h 10^m.

Sont présents : M. CASSINIS, Secrétaire du Comité International des Poids et Mesures, MM. BOZZA, BRICKWEDDE, VAN DIJK, HALL, KONDRATIEV, MOSER, PRESTON-THOMAS, TIMMERMANS, VOLET, Membres du Comité Consultatif de Thermométrie.

Excusé : M. BOUTRY.

Assistent à la séance : MM. BARBER, BOURDOUN, DEBURE, SZASZ, TERRIEN, A. BONHOURS, MOREAU, GAUTIER, LECLERC, YOSHIE, invités.

M. VOLET souhaite la bienvenue aux savants qui sont venus participer aux travaux de cette quatrième session du Comité Consultatif de Thermométrie, et salue la présence de M. CASSINIS, Secrétaire du Comité International des Poids et Mesures.

Conformément au Règlement, le Comité International doit choisir parmi ses membres le Président du Comité Consultatif de Thermométrie ; il n'a pas eu de difficultés à trouver dans son sein un président hautement qualifié, en la personne de M. le Professeur DE BOER, qui a été élu à l'unanimité.

M. DE BOER, très touché de l'honneur qui lui a été fait, confesse qu'il a hésité à accepter, étant surtout théoricien et intéressé aux questions de définitions et de nomenclature. Étant moins habitué au langage des expérimentateurs, il demande à ceux-ci de lui prêter un concours indulgent pour mener à bien les tâches de ce Comité.

M. VOLET fait part de la démission de M. SWIETOSLAWSKI ; le Comité International aura à désigner son remplaçant. Il a reçu les excuses du Directeur du Central Inspection Institute of Weights and Measures du Japon qui s'est trouvé dans l'impossibilité d'envoyer un délégué et qui demande que M. K. YOSHIE, assistant au Bureau International des Poids et Mesures, puisse le suppléer. M. YOSHIE a donc été invité à assister aux séances. Enfin, M. BOUTRY, souffrant, s'est également excusé.

Le quorum prévu par le Règlement étant atteint, M. le PRÉSIDENT ouvre la séance. A l'unanimité sont désignés, comme Rapporteur pour l'établissement du compte rendu à présenter au Comité International, M. HALL, et comme Secrétaire pour la rédaction des Procès-Verbaux, M. TERRIEN.

M. le PRÉSIDENT, en tenant compte des documents distribués depuis l'établissement de l'Ordre du Jour provisoire, propose, avec l'assentiment unanime du Comité, de discuter d'abord les points 1b, 2 et 6. Il engage la discussion sur le point 1b : quelle est, d'après les expé-

riences connues, la valeur numérique la plus probable de la température T_0 du point de fusion de la glace dans l'échelle Kelvin ?

M. VOLET propose que l'on appelle *point de glace* la température conventionnelle inférieure de 0,01 degré à celle du point triple de l'eau et que l'on réserve l'expression *point de fusion de la glace* pour désigner la température réalisée physiquement à l'équilibre entre de l'eau et de la glace.

M. BOZZA reconnaît l'intérêt du point triple mais remarque que les mesures au thermomètre à gaz sont faites dans le mélange eau-glace, et non au point triple. M. VAN DIJK confirme la justesse de cette observation.

La distinction proposée par M. VOLET ne soulève pas d'objection.

Sur l'invitation de M. le PRÉSIDENT, M. TERRIEN résume, d'après les documents reçus, l'état de la question concernant les valeurs de T_0 obtenues jusqu'ici.

M. VAN DIJK fait observer que la valeur moyenne $T_0 = 273,174^\circ \text{K}$, obtenue au Massachusetts Institute of Technology, est fondée sur des coefficients du viriel assez différents de ceux qui sont admis ailleurs. Si l'on recalcule les résultats de Leyde de façon qu'ils soient comparables à ceux du Massachusetts Institute of Technology, on obtient 273,144. La valeur moyenne de Oishi, non arrondie, est 273,148.

Répondant à une demande de M. VOLET, M. MOSER confirme que la valeur recalculée 273,149 résulte d'un ensemble homogène de mesures faites à la Physikalisch-Technische Reichsanstalt, et que cette dernière valeur est plus probable que la valeur publiée primitivement.

M. KONDRATIEV résume l'opinion des physiciens russes ;

Panalyse des résultats publiés conduit à une valeur plus proche de 273,15 que de 273,16. Le résultat des expériences préliminaires avec un thermomètre à azote en U. R. S. S. est $273,16 \pm 0,02$. Mais 273,15 est peut-être une valeur plus probable; 273,17 paraît trop élevé, et les expériences du Massachusetts Institute of Technology semblent affectées d'erreurs systématiques. Il faudrait de nouvelles expériences dans plusieurs pays pour qu'on arrive à une valeur plus sûre. Pour le moment, malgré leurs efforts, les savants de l'U. R. S. S. ne peuvent exprimer une opinion plus précise et désirent garder la valeur 273,15 recommandée par ce Comité Consultatif en 1939.

M. BRICKWEDDE signale que le document du National Bureau of Standards (Annexe T 3, p. T 39) a été écrit avant que ne fussent connus les nouveaux calculs de J. OTTO (Annexe T 6, p. T 78).

M. Van DIJK, poursuivant son exposé des résultats non arrondis, communique les valeurs des quatre laboratoires calculées avec les coefficients du viriel déterminés par chacun d'eux (colonne *a*) et celles calculées en adoptant les mêmes coefficients moyens (colonne *b*) :

	(a).	(b).
P. T. B.	273,149° K	273,149° K
Leyde.	144	147
Japon.	148	148
M. I. T.	174	171
Moyenne. ...	<u>273,154</u>	<u>273,154</u>

Dans chaque colonne, les résultats sont bien comparables; leur moyenne est 273,154 dans les deux cas. Après discussion, il est décidé que la moyenne doit être établie comme elle vient d'être présentée, chacune des

quatre déterminations ayant le même poids. La moyenne arrondie au centième de degré est donc $273,15$.

M. le PRÉSIDENT constate que tous les Membres du Comité s'accordent pour adopter $273,15^{\circ}\text{K}$, comme valeur la plus probable de la température du point de fusion de la glace dans l'échelle Kelvin.

M. le PRÉSIDENT aborde la définition de l'échelle thermodynamique à un seul point fixe. Il lit les récentes recommandations de l'Union Internationale de Physique Pure et Appliquée et de l'Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée (Annexe T 1, p. T 51), qui, l'une et l'autre, soulignent l'urgence d'une décision, mais laissent à la Conférence Générale la responsabilité du choix de la valeur à attribuer par définition à la température du point triple de l'eau (T_{tr}) dans cette nouvelle échelle. Expérimentalement, comme il vient d'être constaté, la valeur la plus probable de T_{tr} est $273,15 + 0,01 = 273,16$ dans l'ancienne échelle thermodynamique, et l'on devrait conserver cette valeur. Mais parmi toutes les tables thermodynamiques en usage dans le monde, la plupart sont établies en Allemagne et surtout aux États-Unis, et elles sont fondées sur $T_{tr} = 273,17$. Des raisons pratiques pourraient donc faire préférer cette dernière valeur.

M. BRICKWEDGE, répondant à la question : « Pourquoi les savants américains ont-ils utilisé $273,16^{\circ}\text{K}$ pour T_0 au lieu de la valeur $273,15^{\circ}\text{K}$ recommandée par le Comité Consultatif ? » dit que les Procès-Verbaux des séances des Comités Consultatifs de 1939 et 1948 montrent que les mesures de T_0 faites par le Professeur Beattie du M. I. T. n'avaient pas été jointes à celles des autres laboratoires pour l'obtention de la moyenne qui a conduit à la valeur $273,15^{\circ}\text{K}$ et que, de plus, les tables des meilleures valeurs des constantes physiques fondamentales

publiées aux États-Unis, par exemple les dernières éditions des tables du Professeur R. T. Birge, donnaient 273,16° K comme valeur la meilleure de T_0 .

Bien que la valeur la plus probable de T_{tr} soit 273,16, M. MOSER conserve une légère préférence pour 273,17, car c'est la valeur adoptée jusqu'ici par les physiciens allemands, et l'incertitude expérimentale ne permet pas d'affirmer que cette dernière valeur soit fausse. Il se rangera cependant à l'avis de la majorité.

D'après M. Van DIJK, rien ne s'oppose à l'adoption de 273,16, valeur en accord avec les recommandations du Comité Consultatif de Thermométrie depuis sa première session en 1939, et qui a été adoptée pour cette raison par plusieurs laboratoires. Compte tenu de la précision exigée, les tables fondées sur $T_{tr} = 273,17$ sont utilisables sans changement, car une erreur relative d'environ 1/30 000 est actuellement négligeable dans tous les cas.

M. HALL prévoit que les inconvénients d'une valeur de T_{tr} mal choisie seraient graves à l'avenir; l'existence de tables fondées sur une certaine valeur est un argument secondaire. M. VOLET appuie ce point de vue et fait remarquer que les tables numériques doivent se conformer à nos décisions et non nos décisions aux tables numériques.

D'après M. TIMMERMANS, il n'y a pas à choisir; la valeur la plus probable étant reconnue, il faut s'y conformer, sinon nos décisions seront jugées incohérentes, et il en résultera nécessairement une confusion parmi ceux qui doivent consulter les délibérations de notre Comité. Pourtant, avant que le Comité prenne une décision, il voudrait s'assurer qu'elle sera suivie.

MM. BRICKWEDDE et MOSER pensent que les physiciens

de leur pays se rallieront à la décision de la Conférence Générale des Poids et Mesures.

Après une longue discussion, M. le PRÉSIDENT consulte chacun des Membres; à l'unanimité, la valeur 273,16 est adoptée pour la température du point triple de l'eau dans l'échelle thermodynamique à un seul point fixe.

La séance est interrompue quelques instants. A la reprise, M. le PRÉSIDENT présente au Comité le projet d'une proposition n° 1 dont il a rédigé un texte provisoire, afin de concrétiser la décision qui vient d'être prise.

M. BRICKWEDDE attire l'attention sur les variations possibles de la composition isotopique de l'eau. Le point triple de l'eau lourde pure (D_2O) est environ $4^\circ C$ et les procédés utilisés pour la purification de l'eau ont pour effet certain de changer sa composition isotopique. Ces changements sont petits il est vrai, mais ils pourraient devenir significatifs à l'avenir.

Il est décidé que des remarques de ce genre ont leur place dans la troisième Partie (Recommandations) de l'Échelle Internationale de Température.

La suite de la discussion de la proposition 1 est renvoyée à la prochaine séance.

M. le PRÉSIDENT met à l'étude le point 6 de l'Ordre du Jour et ouvre la discussion en faisant un exposé relatif à la désignation des diverses températures, avec leurs symboles, proposés par MM. MOSER, TERRIEN et lui-même (cf. Annexes T 8, T 9 et T 10, p. T 88, 90 et 94).

M. BOZZA estime superflu l'emploi du mot *degré* placé devant Kelvin et Celsius. On pourrait le supprimer, ainsi que l'a proposé la Commission Italienne de Métrologie.

M. VOLET appuie vivement ce point de vue, car non

seulement le mot *degré* est inutile, mais il est par ailleurs employé avec plusieurs sens différents. Cela n'empêcherait pas de conserver les symboles °K et °C.

M. BRICKWEDDE signale qu'au National Bureau of Standards on a essayé de supprimer le signe °, mais qu'on a été amené à le rétablir.

M. le PRÉSIDENT observe que C et K sont les symboles du coulomb et du kayser; il serait donc nécessaire de conserver le signe °.

Le Comité Consultatif ne désire pas se prononcer formellement sur ce point.

M. MOSER précise qu'il n'y a que deux échelles (thermodynamique et pratique), même si l'on considère quatre températures; ajouter ou retrancher 273,15 change l'origine, non l'échelle.

M. BRICKWEDDE voudrait que soient sanctionnées deux températures seulement : une température thermodynamique en °K et une température internationale en °C, ce qui éviterait les adjonctions (int. 1948), (therm.), etc.

M. TIMMERMANS objecte que les praticiens ont besoin de températures absolues et n'utilisent que l'Échelle Internationale; il leur faut donc une température Kelvin internationale, avec le symbole simple T, car on ne pourra les obliger à écrire T' comme cela vient d'être proposé par M. le PRÉSIDENT.

M. Van DIJK ajoute qu'il faudra toujours exprimer les petites différences entre l'Échelle Internationale et l'Échelle thermodynamique, et que les quatre températures sont bien utiles. De plus, les très basses températures continueront à être exprimées en °K même lorsque l'Échelle Internationale sera étendue à ce domaine.

MM. BRICKWEDDE et MOSER ayant proposé de remplacer le qualificatif « international » par « pratique », parce que l'Échelle thermodynamique est aussi internationale, MM. HALL et TERRIEN objectent que le qualificatif « international » évoque bien le même sens qu'il avait par exemple dans « ampère international », etc. et que son usage est bien établi à la suite des décisions de la Conférence Générale depuis 1927.

M. le PRÉSIDENT constate que la majorité est en faveur du maintien du qualificatif « international » et tous les Membres s'y rallient.

M. MOSER demande ensuite comment on distinguera l'échelle thermodynamique utilisée jusqu'ici et l'échelle thermodynamique à un seul point fixe, qui sont différentes en principe.

M. VOLET ne voit guère l'utilité pratique de sanctionner deux désignations car, actuellement, les deux échelles ne sont pas discernables eu égard à la précision des mesures et, si elles le deviennent un jour, la première échelle sera déjà abandonnée. Le Professeur Giaque lui-même a d'ailleurs déconseillé, avec un désintéressement auquel nous tenons à rendre hommage, la désignation *degré Giaque*, qui avait été proposée à la fois pour faire la distinction envisagée et pour rappeler la part essentielle prise par l'éminent physicien américain dans l'établissement de l'échelle thermodynamique sur une base qu'avait déjà préconisée l'illustre Kelvin.

M. le PRÉSIDENT reporte la suite de la discussion à la séance suivante et aborde le point 1 a de l'Ordre du Jour : Définition de l'atmosphère normale.

M. VOLET signale que le Comité International des Poids et Mesures a été sollicité par l'Organisation Internationale

de Normalisation (I. S. O.) de donner une définition de la pression atmosphérique normale. Il constate que, dans les publications du Bureau International, on trouve en effet cinq définitions successives de cette grandeur; mais il lui paraît évident, sans qu'on ait eu besoin de le spécifier, que chacune de ces définitions a remplacé la définition précédente. Dans ces conditions, il lui semble que la seule définition que le Comité International puisse actuellement recommander est celle qui est donnée dans le texte de l'Échelle Internationale de Température sanctionnée par la Conférence Générale de 1948, c'est-à-dire : 1 atmosphère normale = 1 013 250 dynes par centimètre carré (nous préférerions dire aujourd'hui : 101 325 newtons par mètre carré). On ne peut arguer que cette définition paraît ne s'appliquer qu'aux besoins de la thermométrie, car toutes les définitions antérieures ont elles-mêmes été données en vue de préciser la position des points fixes thermométriques.

La thermométrie à gaz peut se dispenser de définir une *unité* de pression, car elle ne considère que des *rappports* de pression. Elle a, au contraire, besoin de définir une pression de référence pour les points fixes. C'est sous cet aspect de *repère* que l'on doit considérer la pression atmosphérique normale, d'autant plus que, comme *unité*, cette grandeur ne fait partie d'aucun système cohérent.

Quoique la pression atmosphérique normale apparaisse maintenant comme parfaitement définie, M. VOLLET estime qu'il reste en ce moment nécessaire de préciser un point particulier concernant la réalisation pratique de ce repère. Cette réalisation se fera toujours au moyen d'une colonne de mercure, c'est-à-dire qu'il restera indispensable de connaître la valeur de la gravité au lieu où l'on opère. Or, la plupart des physiciens n'ont pas la possibilité de faire

une mesure absolue de la gravité, qui est toujours une opération longue et difficile. On prend alors la gravité dans un système de référence qui, depuis un demi-siècle, est le *système de Potsdam*. Or, on sait maintenant que ce système aura besoin d'être corrigé; mais, en attendant que les expériences qui permettront de déterminer cette correction soient terminées, si l'on veut que les mesures thermométriques restent comparables entre elles, il convient que tous les physiciens conservent le système de Potsdam pour l'expression de la gravité locale. Les géodésiens ont déjà pris une telle décision.

A propos de l'atmosphère normale, M. MOSER voit, dans le texte de l'Échelle Internationale (*Comptes Rendus des Séances de la Neuvième Conférence Générale*, 1948, p. 93, § 3, *Pression*), deux définitions.

M. VOLET répond que la définition primaire est donnée dans la Deuxième partie (définition de l'Échelle), au bas de la page 90 : c'est 1 013 250 dynes/cm². Le passage cité par M. MOSER fait partie des recommandations pratiques.

M. MOSER propose alors une inversion dans le passage cité, qui deviendrait : « 3. *Pression*. — Les points fixes sont donnés comme la température d'équilibre à une pression de 1 013 250 dynes/cm². A cette pression correspond celle qu'exerce... ».

Le Comité est d'accord pour proposer que ce changement soit introduit à la prochaine révision de l'Échelle Internationale.

La séance est levée à 19^h.

PROCÈS-VERBAL

DE LA DEUXIÈME SÉANCE,

TENUE AU BUREAU INTERNATIONAL.

Mardi 13 juillet 1954.

PRÉSIDENCE DE M. J. DE BOER.

La séance est ouverte à 9^h 40^m.

Sont présents : M. CASSINIS, Secrétaire du Comité International des Poids et Mesures, MM. BOZZA, BRICKWEDDE, VAN DIJK, HALL, KONDRATIËV, MOSER, PRESTON-THOMAS, TIMMERMANS, VOLET, Membres du Comité Consultatif de Thermométrie.

Excusé : M. BOUTRY.

Assistent à la séance : MM. BARBER, BOURDOUN, DEBURE, SZASZ, TERRIEN, A. BONHOURE, MOREAU, GAUTIER, LECLERC; J. BONHOURE, YOSHIË, invités.

M. le PRÉSIDENT reprend la discussion sur le projet de proposition 1.

M. VOLET attire l'attention sur l'expression « échelle à un *seul* point fixe », qui laisse supposer qu'une échelle thermodynamique pourrait avoir plusieurs points fixes. Or, une échelle fondée sur les principes de la thermodynamique ne peut avoir qu'un point fixe. L'échelle en usage

actuellement est fondée, non sur *deux points fixes*, mais sur *un intervalle fixe* auquel on a attribué la valeur conventionnelle 100 degrés.

MM. BRICKWEDDE et HALL comprennent que la nuance désirée par M. VOLET s'exprimerait dans la langue anglaise en remplaçant « a single point » par « one point ».

M. VAN DIJK, sans s'opposer à cette proposition, fait observer que l'intervalle de 100 degrés est limité par deux points fixes, et que la nouvelle échelle thermodynamique est elle-même fondée sur deux points fixes, l'un réalisable, le point triple de l'eau, l'autre étant le zéro absolu.

La suppression de « seul » est adoptée.

M. BOZZA pense que dans l'expression « Échelle à un point fixe fondamental » le mot *fondamental* est superflu.

M. KONDRATIEV rappelle que l'Échelle Internationale distingue les points fixes fondamentaux, dont la valeur est fixée exactement par convention, les points fixes primaires, et les points fixes secondaires. Le point triple de l'eau, dans l'échelle à un point fixe, est bien un point fixe fondamental.

M. TIMMERMANS propose que les mots « un point fixe fondamental » soient soulignés, afin de mettre en évidence que l'on ne s'appuie plus sur un intervalle fondamental.

Cette proposition ne rencontre pas d'objection.

Après quelques autres remarques de MM. BRICKWEDDE, VAN DIJK, GAUTIER, HALL, MOSER, TIMMERMANS, VOLET, la proposition 1 est adoptée à l'unanimité sous la forme suivante :

PROPOSITION 1.

Le Comité Consultatif de Thermométrie recommande que l'on définisse désormais l'échelle thermodynamique au moyen d'un point fixe fondamental, le point triple de l'eau.

Après avoir considéré soigneusement tous les résultats numériques obtenus jusqu'ici, le Comité Consultatif de Thermométrie estime que la valeur la meilleure pour la température du point triple de l'eau est 273,16° K dans l'échelle thermodynamique utilisée jusqu'à maintenant.

En conséquence, il recommande que l'on attribue par définition à la température du point triple de l'eau, dans l'échelle thermodynamique à un point fixe fondamental, la valeur numérique 273,16° K exactement.

M. VOLET remarque que la décision qui vient d'être prise obligera à réviser le texte de l'Échelle Internationale. Il insiste pour que cette révision se limite à la première partie qui sert d'introduction, et non à la deuxième partie qui contient la Définition de l'Échelle Internationale et qu'il ne lui paraît pas opportun de changer pour le moment.

M. le PRÉSIDENT, au nom du Comité Consultatif, prie M. BRICKWEDDE de préparer la révision de l'Introduction de l'Échelle Internationale, en tenant compte de ce qui aura été adopté à cette session.

M. le PRÉSIDENT revient à la désignation des températures dont la discussion n'a pas été achevée; les désignations qui seront adoptées seront publiées aux Procès-Verbaux, mais il ne semble pas justifié de les présenter dans une proposition formelle.

MM. HALL et KONDRATIEV ne voudraient pas que l'on abrège °C (Int. 1948) en °C (1948); cette simplification ne justifie pas une révision des décisions de la Conférence Générale.

Après quelques autres remarques de MM. BRICKWEDDE, HALL, MOSER, TIMMERMANS, l'accord unanime se fait sur les désignations et les abréviations présentées sous la forme du tableau suivant, dans lequel les flèches indiquent

le sens de passage de la température définie en premier lieu à la température dérivée par changement d'origine.

ÉCHELLE INTERNATIONALE (1).

Température internationale t indication de l'unité : °C (Int. 1948) degré Celsius international 1948	→ 	Température internationale Kelvin $T_{int} = t + 273,1500$ indication de l'unité : °K (Int. 1948) degré Kelvin international 1948
---	----------------------	--

ÉCHELLE THERMODYNAMIQUE (1).

Température thermodynamique Celsius $t_{th} = T - 273,1500$ indication de l'unité : °C (therm.) degré Celsius thermodynamique	← 	Température thermodynamique T indication de l'unité : °K degré Kelvin
--	----------------------	---

M. le PRÉSIDENT aborde le point 1d : « Circulation de thermomètres à résistance pour comparaison internationale de l'intervalle fondamental 0-100° C », comparaison recommandée par le Comité Consultatif de Thermométrie en 1952. Les résultats présentés ont été obtenus avec deux thermomètres ; le thermomètre S 167 du National Bureau of Standards a circulé des États-Unis en Angleterre, puis en Allemagne et en Hollande, avec retour en Angleterre,

(1) Note ajoutée en cours d'impression. — Dans sa session d'octobre 1954, le Comité International des Poids et Mesures a apporté quelques modifications à ce tableau : remplacement de « indication de l'unité » par « indication » et de « 273,1500 » par « 273,15 (exactement) ». (Voir *Procès-Verbaux C.I.P.M.*, XXIV, 1954, 3^e Séance [2^e Rapport de la Commission des Travaux]).

enfin en U. R. S. S. où il se trouve actuellement. Le thermomètre R 13 du National Physical Laboratory a suivi le même itinéraire, sauf qu'il n'a pas été étudié aux États-Unis.

M. HALL présente des tableaux et des graphiques résumant les résultats des comparaisons déjà effectuées (cf. Annexes T 11 à T 15, p. T 96 à T 116).

M. Van DIJK précise que dans les résultats donnés à l'Annexe T 14, la résistance a été mesurée à Leyde avec plusieurs intensités de courant, et que l'extrapolation à un courant nul conduit à

$$R_0 = 25,479\ 07\ \Omega \text{ pour le thermomètre S167}$$

et

$$R_0 = 28,638\ 75\ \Omega \text{ pour le thermomètre R 13,}$$

valeurs un peu différentes de celles qui ont été obtenues avec un courant de 1 mA, et qui avaient été publiées seules. À 100° C, toutes les mesures ont été faites avec un courant de 1 mA.

M. BARBER résume les résultats de ces échanges de thermomètres : la stabilité a été bonne, malgré une légère augmentation de la résistance à 0°C. Sur la valeur de $\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100 R_0}$, l'accord des quatre laboratoires montre que l'intervalle fondamental 0° C-100° C est le même à 0,001 degré près. Ces échanges devront se poursuivre avec le Japon, l'Australie, l'Afrique du Sud, le Canada, etc.

Le Comité s'accorde pour estimer très satisfaisante cette concordance.

M. KONDRATIEV pense que les thermomètres actuellement en U. R. S. S. seront disponibles en août ou septembre 1954 et pourront être transmis à l'Australie ou au Japon.

Il insiste sur la nécessité d'opérer avec un courant faible pour des mesures précises.

M. MOSER demande si les résistances ont été mesurées en ohm absolu.

M. HALL sait que les mesures de Leyde se rapportent à la même résistance étalon que les mesures du National Physical Laboratory; toutes deux sont liées à la valeur de l'ohm absolu réalisé au N. P. L. Il faudrait aussi que les laboratoires précisent dans quel système la valeur de la gravité a été déterminée; il peut en résulter des différences de plusieurs dix-millièmes de degré sur la température d'ébullition de l'eau.

M. HALL demande l'avis du Comité sur un projet formé par M. STIMSON, visant à faire circuler d'autres thermomètres d'une façon analogue afin de comparer l'intervalle entre le point d'ébullition de l'oxygène et le point triple de l'eau.

M. Van DIJK recommande que ces thermomètres ne soient pas portés à la température du point du soufre, car cela diminuerait leur stabilité.

Le Comité approuve ce projet de comparaison internationale et laisse au B. I. P. M. le soin d'organiser le programme des échanges, compte tenu des occasions qui s'offriront de transporter les instruments avec sécurité.

M. HALL insiste sur la nécessité de ne confier les thermomètres à résistance de platine qu'à un physicien ayant pleine connaissance des conséquences des moindres chocs et qui n'abandonne son précieux colis à aucune main étrangère, comme il l'a fait lui-même de Teddington à Braunschweig et à Léninegrad; il préfère le voyage par

mer ou chemin de fer, où les accélérations sont moins fortes qu'en avion. Il accueille avec faveur la suggestion de M. TIMMERMANS de joindre à chaque thermomètre une fiche d'instructions pour le transport.

M. VOLET pense que les vibrations sont aussi pernicieuses que les chocs. Les bateaux sont loin d'en être exempts et le voyage dure plus longtemps.

M. le PRÉSIDENT demande à M. VOLET de lire le projet de proposition qu'il a rédigé concernant la réalisation pratique de l'atmosphère normale. Ce projet, précisé selon une remarque de M. CASSINIS, est adopté après discussion sous la forme suivante :

PROPOSITION 2.

Le Comité Consultatif de Thermométrie recommande que les valeurs de la gravité qui interviennent dans la détermination pratique de la pression atmosphérique normale, soient exprimées dans le système de Potsdam, jusqu'à ce que la Conférence Générale des Poids et Mesures ait sanctionné un changement de ce système.

Au cours de la discussion, il est apparu que ces questions de système gravimétrique ne sont pas très familières aux spécialistes en thermométrie; M. CASSINIS donne à ce sujet quelques éclaircissements ⁽²⁾.

M. HALL signale que les travaux effectués au National Physical Laboratory sont basés sur le résultat de la mesure absolue exécutée à Teddington par Clark, et non sur le système de Potsdam.

⁽²⁾ Le système de Potsdam repose sur la valeur $9,81274 \text{ m/s}^2$ obtenue par Kühnen et Furtwängler pour l'intensité de la pesanteur à l'Institut Géodésique de Potsdam (1898-1904).

Cependant, M. BRICKWEDDE pense que pour des comparaisons thermométriques internationales, il serait probablement avantageux d'indiquer dans les rapports deux séries de constantes d'étalonnage des thermomètres, l'une fondée sur la valeur de g dans le système de Potsdam, l'autre sur la valeur de g utilisée normalement. Toutefois, la différence entre ces deux étalonnages sera probablement très petite (³).

M. le PRÉSIDENT aborde l'examen du point 3 de l'Ordre du Jour : Perfectionnement des techniques.

M. KONDRATIEV attire l'attention (Annexe T 16, p. T 122) sur la possibilité d'employer le thermomètre à résistance de platine au-dessus de 630° C, avec un fil de platine de 0,5 mm de diamètre dont la résistance est environ 0,1 à 0,2 Ω à 0° C. Les thermomètres à résistance construits en U. R. S. S. se sont montrés assez stables; de tels instruments devraient pouvoir remplacer avantageusement le couple thermoélectrique de l'Échelle Internationale, et il est souhaitable que leur étude soit poursuivie dans plusieurs pays. Cette technique a d'ailleurs été employée avec succès par d'autres expérimentateurs.

D'autre part, les formules d'interpolation pourraient être modifiées (*cf.* Annexe T 16).

M. PRESTON-THOMAS présente une Note de E. H. McLaren (Annexe T 20, p. T 152) sur la reproductibilité du point de solidification du zinc; sur la suggestion de M. HALL, il est convenu que cette Note sera complétée

(³) M. BRICKWEDDE a rendu compte par lettre que la valeur de g utilisée au N. B. S. est fondée sur une moyenne des mesures de g faites au N. B. S. par P. R. Heyl et de celles de Clark à Teddington, ainsi que de celles de Potsdam.

par des courbes de fusion montrant comment la pureté du zinc a été contrôlée (Annexe T 21, p. T 157).

M. TIMMERMANS rappelle que Rossini a indiqué une méthode précieuse pour calculer le pourcentage d'impuretés des corps par l'étude des courbes de fusion et de solidification; cette méthode est bien connue des chimistes, elle l'est peut-être moins des physiciens à qui elle pourrait cependant être très utile.

M. HALL pense, lui aussi, qu'on arrivera à remplacer le couple par le thermomètre à résistance. En prévision de ce changement important de l'Échelle Internationale, plusieurs points sont à considérer.

Le document de l'U. R. S. S. (Annexe T 16) propose de conserver le point du soufre comme point fixe primaire dans le domaine actuel du thermomètre à résistance, et d'étalonner au point triple de l'eau, au point de solidification du zinc et à celui de l'or les thermomètres utilisés jusqu'à 1063° C.

Il serait peut-être préférable de choisir entre le point du soufre et celui du zinc; dans les six années à venir, des expériences en vue de ce choix sont désirables, celles du N. R. C. à Ottawa sur le zinc apportent déjà une excellente contribution dans ce sens.

Pour l'emploi au point de l'or, la stabilité paraît la meilleure avec du fil de platine de 0,5 mm de diamètre, comme l'a montré M. KONDRATIEV, et aussi M. MOSER dans des expériences publiées en 1930; mais il faut aussi, pour le raccordement à l'échelle pyrométrique, un élément sensible de petites dimensions.

M. HALL présente ensuite des résultats non publiés, contemporains de ceux de M. MOSER, et qui sont en bon

accord avec ceux obtenus en U. R. S. S. Il avait utilisé deux thermomètres S3 et S7, à fil de platine fin (0,1 mm de diamètre) sur croisillon de silice; la pureté du platine était moins bonne qu'aujourd'hui et le point du soufre n'était pas très bien réalisé. Une incertitude de 0,01 degré aurait entraîné une incertitude de 0,1 degré du point de l'or. La variation de résistance à 0° C, après un séjour de 6 heures à 1000° C, était de l'ordre de $3 \cdot 10^{-5}$, soit environ 0,01 degré.

Le tableau suivant résume les résultats obtenus par M. HALL à cette époque avec ces thermomètres :

	S 3.	S 7.
$\frac{R_{100}}{R_0}$	1,389 6	1,390 6
t_{Au}	1 062,12°	1 062,14°
t_{Ag}	960,12	960,13

Si l'on recalcule t_{Ag} en supposant l'étalonnage fait à 1 063° C, on trouve $t_{Ag} = 960,9^{\circ}$, valeur égale à celle qui a été obtenue en U. R. S. S.

M. HALL commente enfin les formules d'interpolation proposées dans l'Annexe T16; afin d'éclairer le Comité sur les études à envisager dans le proche avenir, il présente un graphique (*fig. 1*) où sont tracés les écarts entre deux formules quadratiques d'interpolation et une formule cubique s'appuyant sur les points 0, 100, 444,6, 1063° C. Ces deux formules quadratiques sont, l'une la formule actuelle et l'autre, une formule calculée d'après les points 0, 444,6, 1063°. Les constantes du thermomètre sont choisies de telle sorte qu'en se servant de la formule quadratique actuelle, on arrive à la valeur 1062° pour le point de l'or. On pourra adopter plus tard soit une seule formule, soit une division du domaine 0-1063° C en deux régions.

En résumé, M. HALL envisage des expériences sur le point du zinc, sur la meilleure forme à donner au thermomètre à résistance, avec peut-être un fil de diamètre intermédiaire, et une étude des formules d'interpolation.

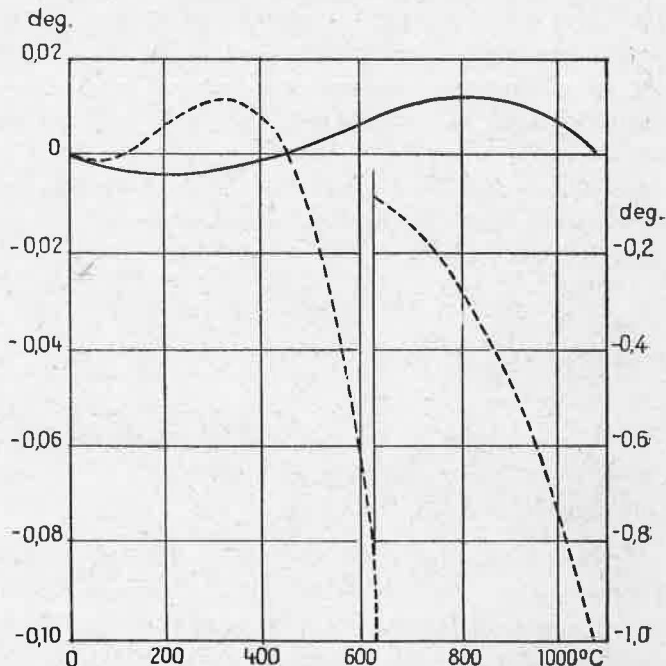


Fig. 1.

Comparaison, dans le domaine 0-1063° C, des formules d'interpolation

du thermomètre à résistance N° R11 (Constantes observées : $\frac{R_{100}}{R_0} = 1,392\ 404\ 6$, $\frac{R_{444,6}}{R_0} = 2,654\ 896$; constante présumée :

$\frac{R_{1063}}{R_0} = 4,568\ 955$).

Différences comptées à partir d'une formule du 3° degré s'appuyant sur 0-100-444,6-1063° C.

En abscisses : Température en °C.

En ordonnées : Différences, en degré, entre les formules quadratiques et la formule cubique.

- Formule du 2° degré s'appuyant sur 0-100-444,6° C.
- Formule du 2° degré s'appuyant sur 0-444,6-1063° C.

M. le PRÉSIDENT s'enquiert des programmes de travaux prévus dans les autres Laboratoires.

M. BRICKWEDDE dit que le National Bureau of Standards a déjà à son programme d'importantes mesures sur les écarts entre l'Échelle Internationale et l'échelle thermodynamique, et que le Comité Consultatif de Thermométrie devrait définir officiellement le programme qu'il juge opportun de recommander aux Laboratoires.

M. MOSER rappelle ses expériences publiées en 1930 ⁽⁴⁾ avec des thermomètres à résistance de platine semblables à ceux de M. Kondratiev. Avec une formule quadratique, ses thermomètres indiquaient au point de l'or une température de 1062° environ, voisine de celle obtenue par M. Hall, et qui diffère de 1 degré de la valeur adoptée pour ce point dans l'échelle thermodynamique Celsius. M. MOSER a publié dans ce même Mémoire une formule du 3^e degré suffisamment précise pour tout le domaine de 0 à 1063° C. Il a enfin montré que, conformément à la règle de Matthiessen, les variations de la résistance électrique $R_t - R_0$ sont moins sensibles aux modifications éventuelles du platine que les résistances elles-mêmes, et peuvent servir avantageusement pour une graduation du thermomètre avec des étalonnages moins fréquents. A son avis, le thermocouple sera abandonné à l'avenir dans la définition de l'Échelle Internationale. Mais il faudrait au préalable contrôler l'exactitude de la température thermodynamique du point de l'or, dont l'incertitude atteint peut-être 3 degrés; de nouvelles mesures au thermomètre à gaz sont urgentes.

⁽⁴⁾ H. MOSER, *Über die Temperaturmessung mit dem Platinwiderstandthermometer bis 1100°* (*Ann. Physik*, 5^e série, t. 6, 1930, p. 852-874).

Répondant à une question de M. HALL, M. KONDRATIEV prévoit que, dans un ou deux ans, les physiciens russes auront sans doute fait, en même temps que MM. Moser et Otto, de nouvelles mesures au thermomètre à gaz de la température thermodynamique du point de l'or, dont l'incertitude actuelle est sérieuse. Ces mesures absolues devraient être menées parallèlement à l'expérimentation du thermomètre à résistance de platine qui, d'après les observations faites en U. R. S. S., en Angleterre et en Allemagne, sera certainement utilisable jusqu'à 1063° C, après que plusieurs Laboratoires auront essayé différents modes de construction et diverses techniques d'emploi.

M. le PRÉSIDENT, résumant cette discussion, conclut qu'il serait souhaitable que fussent étudiés les thermomètres à résistance de platine aux températures élevées, et que l'on déterminât avec précision la température des points de solidification de l'or, de l'argent et du zinc dans l'échelle thermodynamique.

La séance est levée à 12^h 20^m.

PROCÈS-VERBAL

DE LA TROISIÈME SÉANCE,

TENUE AU BUREAU INTERNATIONAL.

Mardi 13 juillet 1954.

PRÉSIDENTE DE M. J. DE BOER.

La séance est ouverte à 15^h 10^m.

Sont présents : M. CASSINIS, Secrétaire du Comité International des Poids et Mesures, MM. BOZZA, BRICKWEDDE, VAN DIJK, HALL, KONDRATIEV, MOSER, PRESTON-THOMAS, TIMMERMANS, VOJET, Membres du Comité Consultatif de Thermométrie.

Excusé : M. BOUTRY.

Assistent à la séance : MM. BARBER, BOURDOUN, DEBURE, SZASZ, TERRIEN, A. BONHOURE, MOREAU, GAUTIER, LECLERC, J. BONHOURE, YOSHIE, invités.

M. le PRÉSIDENT demande si l'on approuve le texte distribué d'un projet de proposition résumant le programme de travail établi à la suite des échanges de vues de la séance précédente. Après une courte discussion, cette proposition est adoptée à l'unanimité sous la forme suivante :

PROPOSITION 3.

Le Comité Consultatif de Thermométrie estime que, dans un proche avenir, il peut être désirable de réviser l'Échelle Internationale de Température dans la région comprise entre

les points du soufre et de l'or, afin d'obtenir une meilleure reproductibilité, une bonne continuité et une meilleure concordance avec l'échelle thermodynamique. Pour cette raison, le Comité Consultatif de Thermométrie recommande que les laboratoires intéressés fassent des études dans cette région de température. En particulier, il conviendrait d'étudier l'utilité du point de fusion du zinc comme point fixe primaire, les températures thermodynamiques du point de fusion de l'or et des différents points secondaires, ainsi que l'utilisation de thermomètres à résistance de platine.

Poursuivant l'étude du point 3 de l'Ordre du Jour, M. le PRÉSIDENT s'enquiert s'il y a d'autres travaux en cours au thermomètre à gaz, ou par une autre méthode thermodynamique.

M. MOSER fait part de la construction, actuellement achevée, d'un thermomètre à gaz d'un type nouveau et qui permettra d'obtenir, dans un an peut-être, des résultats aux points de l'or, de l'argent, du soufre et du zinc. La précision espérée est de quelques dixièmes de degré au point de l'or; l'accroissement de précision est donc de l'ordre de 10. M. MOSER pense que la valeur admise pour le point de l'or est trop faible de 2 ou 3 degrés. Le réservoir de ce thermomètre est en silice, et la pression intérieure qu'il subit est équilibrée par une pression extérieure égale grâce à une seconde enveloppe. La correction d'espace nuisible est de 1 à 2 pour mille; elle est calculable. M. MOSER a l'intention de publier une description de cet appareil à l'occasion du Symposium des Hautes Températures qui doit avoir lieu à Washington du 28 au 30 octobre 1954.

M. BRICKWEDDE informe le Comité que E. W. Hogue a continué un travail au National Bureau of Standards sur le thermomètre à bruit de fond électrique utilisant l'effet Johnson, et a amélioré les circuits électriques du thermo-

mètre à bruit de fond réalisé initialement par J. B. Garrison et A. W. Lawson à l'Université de Chicago.

M. HALL attire l'attention sur une publication récente de R. Aumont, J. Romand et B. Vodar sur le même sujet ⁽⁵⁾.

M. le PRÉSIDENT demande s'il y a des observations à présenter concernant le domaine des basses températures.

M. Van DIJK signale l'utilité de fixer le point secondaire constitué par la température d'ébullition de l'hydrogène de composition normale (à la température ordinaire) en para et ortho. En 1952, on a constaté que la meilleure valeur, dans l'échelle Kelvin, était 20,38° K, mais faute d'avoir fixé la valeur de T_0 , on n'avait pas pu énoncer cette température dans l'échelle Celsius. Avant que ce point ne devienne primaire dans une extension future de l'Échelle Internationale, il est utile de se mettre d'accord sur sa valeur pour fournir une base aux recherches destinées à l'établissement de la relation entre la résistance du platine et la température.

M. BRICKWEDDE confirme l'avis qui vient d'être exprimé.

M. HALL remarque que les Procès-Verbaux donnent toutes les indications nécessaires, sans qu'il soit besoin de les formuler en une proposition spéciale; on les retrouvera, dans six ans peut-être, lorsqu'on décidera de refondre l'Échelle Internationale.

M. KONDRATIEV signale la proposition de l'Institut des Mesures et Instruments de Mesure à Moscou concernant l'extension de l'Échelle Internationale de Température au-dessous du point d'ébullition normal de l'oxygène. Les collaborateurs de l'Institut de Moscou, le Professeur

(5) *C. R. Acad. Sc.*, t. 238, 1954, p. 1293.

P. G. Strelkov, A. S. Borovik-Romanov et M. P. Orlova, ont effectué la comparaison directe de thermomètres à résistance de platine avec le thermomètre à hélium décrit dans les *Procès-Verbaux du Comité International des Poids et Mesures*, XXIII-B, 1952, p. T 32, dans l'intervalle de température compris entre 10° et 90,19° K. Les résultats de cette comparaison sont résumés dans le tableau de l'Annexe T 18 (voir ce volume, p. T. 141), qui donne la résistance relative $W = R_t/R_0$ du platine en fonction de la température exprimée en degrés Kelvin.

M. TIMMERMANS, se référant au document qu'il a présenté (Annexe T 24, p. T 171), et dans lequel il indique les conditions que doivent satisfaire les substances à utiliser pour constituer des points thermométriques secondaires, insiste sur l'utilité de tels points fixes, par exemple au voisinage de 20° C et de 38° C; mais des expériences doivent être faites dans plusieurs laboratoires, avec des matériaux d'origines diverses et purifiés par différentes méthodes, avant de pouvoir utiliser de tels repères avec confiance.

Sur l'invitation de M. le PRÉSIDENT, M. VOLET commente le point 7 de l'Ordre du Jour. Le Bureau International a joué un rôle important, avec Pernet, Chappuis et Guillaume, dans les débuts de la thermométrie de précision; mais, par suite de diverses circonstances et surtout faute de crédits, cette tradition s'est un peu perdue. L'Échelle Internationale, échelle pratique pour les industriels croyait-on d'abord, est devenue un instrument très précis pour les usages scientifiques, et il est anormal que le Bureau International n'ait pas les moyens de la réaliser. Nos thermomètres de référence sont encore les thermomètres à mercure comparés au thermomètre à gaz par Chappuis. Les physiciens du Bureau International sont parfaitement

capables de travailler en thermométrie de précision; ils ont besoin de réaliser l'Échelle Internationale pour les travaux dont le Bureau a la charge et ils pourraient aussi mener des études pour lesquelles les Laboratoires nationaux trouvent difficilement le temps nécessaire, étant accaparés par les travaux courants. Le Bureau International a établi un programme de travail, il a étudié des plans d'appareils, les Laboratoires nationaux sont prêts à l'aider et à le conseiller. Le Comité Consultatif de Thermométrie pourrait, s'il le juge utile, émettre le vœu que les crédits nécessaires soient accordés au Bureau International par la Conférence Générale.

M. le PRÉSIDENT, au nom de tous, souhaite que l'équipement dont parle M. VOLET puisse être réalisé rapidement.

M. HALL désire vivement que le Bureau International soit muni d'un pont pour thermomètre à résistance. Il est lui-même en correspondance suivie avec le Bureau International, et un pont conforme aux exigences modernes pourrait être acquis au prix d'environ 3 000 000 francs français, somme considérable en comparaison de la dotation du Bureau International. Il approuve le vœu exprimé par M. VOLET. En 1952, le Comité Consultatif de Thermométrie avait déjà émis l'opinion qu'il était très souhaitable que le Bureau International ait les moyens matériels d'utiliser lui-même le thermomètre à résistance offert par le National Physical Laboratory, et qu'il puisse en tirer une précision analogue à celle des meilleures comparaisons effectuées dans le monde.

M. TIMMERMANS juge ce souhait trop limité, et s'accorde avec M. HALL pour ne pas le restreindre à l'acquisition d'un pont de Smith et à l'utilisation de thermomètres à résistance.

M. KONDRATIEV précise la question : non seulement l'équipement du Bureau International est insuffisant pour la comparaison des thermomètres à résistance, mais il lui faudrait encore les appareils et le personnel nécessaires pour la comparaison des lampes étalons pyrométriques, étalons très importants pour la technique. Ces problèmes se posent d'une façon concrète.

M. le PRÉSIDENT met aux voix la proposition 4 suivante, qui est adoptée à l'unanimité :

PROPOSITION 4.

Le Comité Consultatif de Thermométrie recommande que le Bureau International des Poids et Mesures soit équipé en vue de pouvoir réaliser l'Échelle Internationale de Température dans toute son étendue et avec la plus haute précision possible.

M. le PRÉSIDENT ayant abordé le projet de comparaison de lampes pyrométriques, M. BARBER rappelle qu'un échange entre le National Physical Laboratory et l'Australie est en cours ; mais le personnel du National Physical Laboratory est trop limité pour prendre à sa charge des comparaisons plus étendues (*cf.* Annexe T 25, p. T 177).

M. MOSER sait que le Deutsches Amt für Mass und Gewicht désire participer à des comparaisons de lampes pyrométriques, et que la Physikalisch-Technische Bundesanstalt y prendrait part également.

M. HALL a vu en Hollande des lampes spéciales ; leur ampoule est munie d'une fenêtre plane dont on peut mesurer la transmission ; pour des comparaisons internationales, elles conviendraient mieux que les lampes qu'il utilise et qui sont fabriquées en Angleterre.

M. HALL suggère que les Laboratoires intéressés corres-

pendent entre eux pour essayer d'organiser de telles comparaisons.

M. BRICKWEDDE rappelle qu'en 1952, le Comité Consultatif de Thermométrie a estimé que les critères de pureté du thermocouple figurant dans l'Échelle Internationale devaient être modifiés, et a proposé de nouvelles formules.

M. KONDRATIEV a constaté en U. R. S. S. que les critères proposés en 1952 élimineraient le platine le plus pur, tandis que les propriétés du platine moins pur sont conformes à ces critères. Une nouvelle révision sera donc sans doute nécessaire. M. KONDRATIEV ne peut répondre dès maintenant à M. BRICKWEDDE, qui demande comment les critères de 1952 devraient être modifiés pour que le platine pur expérimenté en U. R. S. S. soit inclus dans les tolérances.

M. VAN DIJK s'étonne, car la pureté du platine utilisé par Corruccini aux États-Unis était caractérisée par un rapport $\frac{R_{100}}{R_0}$ égal à 1,392 7; or, d'après M. KONDRATIEV, le rapport relatif au platine le plus pur a été trouvé en U. R. S. S. égal à 1,392 5; ce dernier platine serait donc un peu moins pur que celui de Corruccini.

M. MOSER suggère que ce désaccord pourrait provenir d'une différence dans la proportion de rhodium.

M. KONDRATIEV pense que cette discordance pourrait s'expliquer encore par le fait que l'allure de la courbe qui exprime la relation entre la force électromotrice d'un thermocouple et la température varie notablement pour des thermocouples étalons, tandis que la pureté des composants ne diffère pas beaucoup.

M. DE BOER, d'accord avec M. KONDRATIEV, conclut que de nouvelles expériences sont encore nécessaires avant

que l'on ne revienne sur les critères proposés en 1952, et qu'il est sage de ne pas modifier l'Échelle Internationale sur la foi de résultats encore discutés.

Parmi les questions diverses de l'Ordre du Jour, M. VOLET tient à signaler au Comité les travaux d'intérêt pratique pour la mesure des températures ordinaires, effectués au Bureau International des Poids et Mesures et concernant particulièrement les thermomètres à mercure avec enveloppe de silice fondue (Annexe T 26, p. T 182).

La stabilité de la silice autorise l'espoir de reproduire l'Échelle Internationale avec une précision de 0,001 degré par le moyen de simples thermomètres à mercure. Les expériences de M. Moreau au Bureau International sont très encourageantes. La difficulté actuelle est de se procurer des capillaires suffisamment réguliers. Leur fabrication est en progrès en France, en Allemagne et en Angleterre.

M. HALL dit qu'il est heureux de collaborer avec le Bureau International dans ces recherches. Il signale qu'en plus de leur intérêt pour les mesures courantes, ces thermomètres à mercure en silice offrent le moyen de comparer avec une précision extrême la dilatabilité de ces deux corps. Des recherches de ce genre sont amorcées avec M. Moreau.

Répondant à M. TIMMERMANS, M. Moreau précise que la silice est beaucoup plus stable que le verre Iéna 16^{III}. La position du zéro d'un thermomètre n'a pratiquement pas varié après des chauffes à 400° C pendant plusieurs heures; même après 600° C environ, les phénomènes d'hystérésis ne se manifestent que par des déplacements du zéro de quelques centièmes de degré.

M. MOSER signale que l'on trouve en Allemagne des thermomètres en silice contenant du gallium ; ils sont d'une précision moindre, mais permettent des mesures jusqu'à 1 000° C.

M. VOLET mentionne encore un travail récent de M. Leclerc au Bureau International, sur l'emploi des thermistances en thermométrie de précision (Annexe T 27, p. T 183). Les conclusions de cette étude précisent les limitations d'emploi dues à l'instabilité de ces instruments ; leur domaine d'utilisation reste celui de la mesure des petits intervalles de température.

M. le PRÉSIDENT signale qu'il a reçu de l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO/TC 12) une lettre demandant au Comité Consultatif de Thermométrie de bien vouloir proposer une définition du « degré Kelvin » qui, après avoir été sanctionnée par la Conférence Générale des Poids et Mesures, pourrait être donnée dans les Recommandations de l'I. S. O.

M. le PRÉSIDENT dit que l'I. S. O. a déjà proposé une définition qui, mise à jour à la suite de l'adoption de l'échelle thermodynamique à un point fixe fondamental, deviendrait la suivante : « l'unité de température thermodynamique est définie, suivant les principes de la thermodynamique, en attribuant au point triple de l'eau la valeur numérique 273,16 degrés Kelvin exactement, ce point fixe étant défini en accord avec les décisions de la Conférence Générale des Poids et Mesures ».

M. VOLET voit dans cette rédaction plutôt la définition d'une *échelle* que celle d'une *unité*.

Il aurait préféré que l'on dise : « Le degré Kelvin (ou, plus simplement : le kelvin) est la variation de température qui provoque dans une certaine masse de gaz par-

fait un changement du produit $p\nu$ égal à $\frac{1}{273,16}$ de la valeur que ce produit prend à la température du point triple de l'eau ». Mais M. DE BOER objecte qu'il lui semble préférable de ne pas introduire la notion de gaz parfait dans la définition du degré de température. Il estime, de plus, que cette définition méconnaît le caractère intensif de la température.

M. TIMMERMANS ne comprend pas ce qu'est une unité de température.

M. le PRÉSIDENT reconnaît que cette grandeur possède un caractère particulier; la température est une grandeur intensive, et non extensive.

M. HALL et M. VOLET préféreraient parler d'unité *d'intervalle de température*, et non de *température*.

Après d'autres échanges de vues, M. DE BOER propose une seconde version : « Le degré Kelvin de l'échelle thermodynamique est défini, suivant les principes de la thermodynamique, en attribuant au point triple de l'eau la valeur numérique exacte 273,16 », et demande l'avis des Membres. Ceux-ci ne paraissant pas tous satisfaits, il est convenu de considérer cette définition comme une simple suggestion présentée à l'I. S. O.

Le Comité décide enfin que tous les documents présentés à l'occasion de cette session (à l'exception de deux qui ont été retirés par leurs auteurs parce qu'ils n'étaient plus d'actualité), étant rédigés sous une forme assez concise, devront être publiés intégralement en Annexes aux Procès-Verbaux.

M. VOLET prie les délégués de faire connaître très rapidement leurs observations au sujet du procès-verbal des séances qui leur sera envoyé dans quelques jours.

M. TIMMERMANS demande alors la parole et dit : « Ce n'est pas la compétence, ni l'ancienneté, mais mon âge qui me donne le privilège de féliciter notre Président pour la façon magistrale dont il a conduit nos débats. Il nous a dit au début qu'il avait hésité à accepter cette tâche, craignant de mal connaître les sujets à discuter ; mais il nous a montré au contraire sa grande compétence. Avec un aimable sourire, il est parvenu en trois séances à résoudre des difficultés qui auraient demandé à une conférence diplomatique peut-être un mois de débats. Je le remercie, au nom de vous tous, et me réjouis que son jeune âge nous garantisse de le voir conserver longtemps la présidence de ce Comité ».

M. le PRÉSIDENT remercie M. TIMMERMANS de ses paroles si bienveillantes. Il remercie aussi M. VOLET de son hospitalité et les délégués qui ont tous contribué au succès de cette session.

M. BRICKWEDDE joint sa voix à celle de M. TIMMERMANS. Il rappelle aussi que, il y a juste cent ans, Kelvin avait suggéré le changement de définition de la température thermodynamique qui vient d'être accepté par notre Comité. Il y a quatre-vingts ans, Mendéléév avait fait une proposition semblable. Il se plaît à célébrer ensemble ces deux grands précurseurs.

La séance est levée à 17^h 10^m.

QUATRIÈME RAPPORT
DU
COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE
AU
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES.

Par J. A. HALL, Rapporteur.

Le Comité a tenu trois réunions, le lundi 12 juillet et le mardi 13 juillet 1954 à Sèvres, au Bureau International des Poids et Mesures.

Étaient présents à ces réunions : M. DE BOER, Président; M. CASSINIS, Secrétaire du Comité International des Poids et Mesures, MM. BOZZA, BRICKWEDDE, VAN DIJK, HALL, KONDRATIEV, MOSER, PRESTON-THOMAS, TIMMERMANS, VOLET, Membres du Comité Consultatif de Thermométrie; MM. BARBER, BOURDOUN, DEBURE, SZASZ, TERRIEN, A. BONHOURE, MOREAU, GAUTIER, LECLERC, YOSHIE, invités.

M. TERRIEN fut nommé Secrétaire et M. HALL Rapporteur de la session.

Le Comité a appris avec regret la démission de M. SWIETOSLAWSKI, et il a été informé des excuses du

Directeur du Central Inspection Institute of Weights and Measures du Japon, qui s'est trouvé dans l'impossibilité d'envoyer un délégué, et qui a demandé que M. K. YOSHIE, assistant au Bureau International des Poids et Mesures, puisse suivre les travaux du Comité pour lui en rendre compte.

POINT DE FUSION DE LA GLACE.

Le Comité a accepté que l'expression *point de fusion de la glace* soit réservée pour la température réalisée physiquement à l'équilibre entre de l'eau et de la glace, et que la température conventionnelle inférieure de 0,01 degré à celle du point triple de l'eau soit appelée *point de glace*.

VALEUR DU POINT TRIPLE DE L'EAU DANS L'ÉCHELLE KELVIN.

Le Comité a soigneusement examiné les valeurs expérimentales connues de T_0 (valeur du point de glace dans l'échelle Kelvin actuelle, dans laquelle l'intervalle entre le point de glace et le point de vapeur est 100 degrés). Les résultats les plus importants comprennent un groupe de trois valeurs (Université de Leyde, P. T. B., Tokyo Institute of Technology) voisines de 273,15° K et une valeur (M. I. T.) voisine de 273,17° K. La moyenne des quatre valeurs, arrondie au centième de degré le plus proche, étant 273,15° K, ce nombre a été adopté à l'unanimité comme représentant la valeur la plus probable.

On a discuté ensuite la valeur la plus convenable à adopter pour le point triple de l'eau dans la nouvelle

échelle Kelvin à un point fixe. Il a été signalé que des tables existantes sont établies sur la base de $273,17^{\circ}\text{K}$, mais il a été admis que, ces tables n'étant pas en général exactes à $1/30\,000$ en valeur relative, il serait préférable d'adopter la valeur $273,16^{\circ}\text{K}$, afin de rester en conformité avec la valeur la meilleure du point de glace sur laquelle on venait de s'accorder.

La proposition suivante a été adoptée à l'unanimité :

PROPOSITION I.

Le Comité Consultatif de Thermométrie recommande que l'on définisse désormais l'échelle thermodynamique au moyen d'un point fixe fondamental, le point triple de l'eau.

Après avoir considéré soigneusement tous les résultats numériques obtenus jusqu'ici, le Comité Consultatif de Thermométrie estime que la valeur la meilleure pour la température du point triple de l'eau est $273,16^{\circ}\text{K}$ dans l'échelle thermodynamique utilisée jusqu'à maintenant.

En conséquence, il recommande que l'on attribue par définition à la température du point triple de l'eau, dans l'échelle thermodynamique à un point fixe fondamental, la valeur numérique $273,16^{\circ}\text{K}$ exactement.

Il a été convenu que l'on apporterait à l'Introduction de l'Échelle Internationale de Température les légères modifications nécessaires pour la mettre en harmonie avec la proposition précédente.

Le Comité a approuvé à l'unanimité les désignations et les abréviations présentées au tableau suivant, dans lequel les flèches indiquent le sens du passage de la température définie en premier lieu à la température dérivée par changement d'origine.

ÉCHELLE INTERNATIONALE (1).

Température internationale t indication de l'unité : °C (Int. 1948) degré Celsius international 1948	→ 	Température internationale Kelvin $T_{int} = t + 273,1500$ indication de l'unité : °K (Int. 1948) degré Kelvin international 1948
--	----------------------	---

ÉCHELLE THERMODYNAMIQUE (1).

Température thermodynamique Celsius $t_{th} = T - 273,1500$ indication de l'unité : °C (therm.) degré Celsius thermodynamique	← 	Température thermodynamique T indication de l'unité : °K degré Kelvin
---	----------------------	---

RÉALISATION DE L'ATMOSPHÈRE NORMALE.

Le Comité a reconnu l'intérêt qu'il y aurait à rapporter toutes les mesures manométriques à un système gravimétrique de référence commun. Le « système de Potsdam » répond à cette condition, et bien que l'on sache qu'il n'est pas tout à fait exact, son adoption garantirait que les mesures de différents laboratoires sont en tout cas cohérentes. Le Comité a donc adopté la proposition suivante :

PROPOSITION 2.

Le Comité Consultatif de Thermométrie recommande que les valeurs de la gravité qui interviennent dans la détermination pratique de la pression atmosphérique normale, soient exprimées dans le système de Potsdam, jusqu'à ce que la Conférence Générale des Poids et Mesures ait sanctionné un changement de ce système.

(1) Voir note (1), page T 23.

INTERCOMPARAISON DE THERMOMÈTRES A RÉSISTANCE.

Il a été rendu compte des mesures faites sur des thermomètres à résistance de platine au point triple et au point d'ébullition de l'eau au National Physical Laboratory, au National Bureau of Standards, au Massachusetts Institute of Technology, à la Physikalisch-Technische Bundesanstalt et à l'Université de Leyde; les résultats ont montré que ces laboratoires sont d'accord sur l'intervalle fondamental à $\pm 0,001$ degré près.

Les thermomètres, après leur étude en cours à l'Institut de Métrologie Mendéléev (U. R. S. S.), doivent servir à de nouvelles mesures dans d'autres Laboratoires, en particulier à l'Institute of Technology (Japon) et au National Standards Laboratory (Australie).

La mise en train d'une autre intercomparaison de thermomètres au point triple de l'eau et au point d'ébullition de l'oxygène a été approuvée.

INTERCOMPARAISON DE LAMPES A RUBAN DE TUNGSTÈNE.

On a approuvé le projet d'une intercomparaison des échelles des divers laboratoires nationaux au-dessus du point de l'or par échange de lampes à ruban de tungstène.

EXTENSION DE L'ÉCHELLE DU THERMOMÈTRE A RÉSISTANCE AU-DESSUS DE 630,5° C.

Le Comité a pris connaissance des résultats de mesures rapportés par l'Institut de Métrologie Mendéléev, la P. T. B. et le N. P. L. aux points de solidification de l'or et de l'argent au moyen du thermomètre à résistance

de platine. Tous ces résultats sont en excellent accord. Des expériences relatées par le National Research Council du Canada et par l'Institut de Métrologie Mendéléév laissent penser qu'il pourrait être avantageux de remplacer le point d'ébullition du soufre par le point de solidification du zinc en tant que point fixe primaire. Le Comité a en conséquence adopté à l'unanimité la proposition suivante :

PROPOSITION 3.

Le Comité Consultatif de Thermométrie estime que, dans un proche avenir, il peut être désirable de réviser l'Échelle Internationale de Température dans la région comprise entre les points du soufre et de l'or, afin d'obtenir une meilleure reproductibilité, une bonne continuité et une meilleure concordance avec l'échelle thermodynamique. Pour cette raison, le Comité Consultatif de Thermométrie recommande que les laboratoires intéressés fassent des études dans cette région de température. En particulier, il conviendrait d'étudier l'utilité du point de fusion du zinc comme point fixe primaire, les températures thermodynamiques du point de fusion de l'or et des différents points secondaires, ainsi que l'utilisation de thermomètres à résistance de platine.

THERMOMÈTRES A MERCURE A ENVELOPPE DE SILICE.

Il a été signalé au Comité que les thermomètres à mercure en silice construits pour le Bureau International des Poids et Mesures montrent une stabilité qui autorise l'espoir de mesures de température avec une exactitude de 0,001 degré. Le National Physical Laboratory collabore à l'étude de ces thermomètres par des comparaisons au thermomètre à résistance de platine. Ces mesures constitueraient une méthode sensible pour l'étude de la dilatabilité relative du mercure et de la silice fondue.

ÉQUIPEMENT DU BUREAU INTERNATIONAL.

Le Comité a exprimé avec vigueur l'opinion que le Bureau International devrait être équipé convenablement pour qu'il puisse réaliser l'Échelle Internationale avec une exactitude aussi grande que possible, et a adopté à l'unanimité la proposition suivante :

PROPOSITION A.

Le Comité Consultatif de Thermométrie recommande que le Bureau International des Poids et Mesures soit équipé en vue de pouvoir réaliser l'Échelle Internationale de Température dans toute son étendue et avec la plus haute précision possible.

ANNIVERSAIRES.

A l'issue de ses travaux, le Comité a tenu à rappeler le centième et le quatre-vingtième anniversaire des propositions d'échelle thermodynamique à un point fixe de J. P. JOULE et W. THOMSON (Lord Kelvin), et de D. I. MENDÉLÉEV.

ANNEXE T 1.

RÉSOLUTIONS

DE L'UNION INTERNATIONALE
DE PHYSIQUE PURE ET APPLIQUÉE (U.I.P.P.A.)
ET DE L'UNION INTERNATIONALE
DE CHIMIE PURE ET APPLIQUÉE (U.I.C.P.A.)

La sixième Assemblée Générale de l'U. I. P. P. A., réunie à Amsterdam du 8 au 10 juillet 1948, a adopté à l'unanimité les résolutions suivantes sur la recommandation de sa Commission « SUN » (Symboles, Unités, Nomenclature) :

« a. Il est proposé que la définition de l'échelle thermodynamique absolue de température soit basée sur un seul point fixe. La détermination numérique de ce point devrait être choisie une fois pour toutes par le Comité International des Poids et Mesures, de façon que l'accord soit aussi étroit que possible avec l'échelle Kelvin actuelle de température. »

« b. Il est proposé que ce point fixe soit le point triple de l'eau ».

Le 4 août 1953, à Stockholm, le Conseil de l'U. I. C. P. A. a sanctionné la résolution suivante soutenue par sa Commission de Thermodynamique chimique et approuvée par la Section de Chimie physique :

« 1. L'U. I. C. P. A. note avec satisfaction que le Comité International des Poids et Mesures a déjà adopté en principe la proposition Giauque-Kelvin tendant à définir l'échelle thermodynamique absolue par un point fixe réalisable, le point triple de l'eau, et le zéro absolu de température. »

« 2. L'U. I. C. P. A. demande au Comité International des Poids

et Mesures de donner suite, lors de sa session de 1954, à son adoption de principe en choisissant la valeur numérique à assigner au point fixe réalisable. »

« 3. L'U. I. C. P. A. propose que, dans le choix de la valeur numérique de la température absolue du point triple de l'eau, le Comité International des Poids et Mesures prenne en considération les points suivants : (a) que la valeur soit choisie au centième de degré le plus proche de façon qu'elle donne au degré la même grandeur que dans l'échelle Celsius actuelle; (b) que, si deux valeurs satisfont également la condition précédente, l'on décide en faveur de celle qui change le moins les tables de données thermodynamiques existant actuellement. »

En juillet 1954, à Londres, l'U. I. P. P. A. a adopté la résolution suivante sur la recommandation de sa Commission « SUN » :

« L'U. I. P. P. A. a accueilli favorablement la décision de la Conférence Générale des Poids et Mesures de 1948, admettant le principe d'une échelle thermodynamique de température basée sur un seul point fixe, qui sera le point triple de l'eau;

« regrette que la valeur numérique qui doit être assignée à ce point fixe ne soit pas encore fixée;

« souligne qu'il serait préférable de choisir immédiatement et définitivement la valeur numérique qui doit être assignée au point triple de l'eau, plutôt que d'attendre le résultat d'autres expériences, ou une analyse plus approfondie des résultats existants. »

ANNEXE T 2.

National Bureau of Standards
et Massachusetts Institute of Technology
(États-Unis d'Amérique).

SUR LA TEMPÉRATURE
DU POINT DE FUSION DE LA GLACE
DANS L'ÉCHELLE KELVIN

par H. F. STIMSON et J. A. BEATTIE.

(Traduction.)

A la Neuvième Conférence Générale des Poids et Mesures la résolution suivante a été adoptée : « Le Comité Consultatif admet le principe d'une échelle thermodynamique absolue ne comportant qu'un seul point fixe fondamental, constitué actuellement par le point triple de l'eau pure, dont la température absolue sera fixée ultérieurement. L'introduction de cette nouvelle échelle n'affecte en rien l'usage de l'Échelle Internationale, qui reste l'échelle pratique recommandée. »

Le fait de spécifier le point triple de l'eau au lieu du point de fusion de la glace comme point fixe fondamental n'introduit aucune incohérence, car une résolution précédente adoptée à la même session établit que : « En l'état actuel de la technique, le point triple de l'eau est susceptible de constituer un repère thermométrique avec une précision plus élevée que le point de fusion de la glace. En conséquence, le Comité Consultatif estime que le zéro de l'échelle thermodynamique centésimale doit être défini comme étant la température inférieure de 0,0100 degré à celle du point triple de l'eau pure. » La différence entre le point de fusion de la glace et le point triple de l'eau étant donnée, la valeur de l'un résulte directement de la valeur de l'autre.

Dans son Rapport concernant la réunion du Comité Consultatif de Thermométrie de juin 1952, p. T 27, J. A. Hall déclare que : « L'opinion unanime a été qu'il n'était pas possible de décider avec certitude entre les valeurs 273,15° K et 273,16° K pour le point de fusion de la glace dans l'échelle Kelvin et qu'il était préférable, en tous cas, d'attendre que les travaux actuellement en cours au Massachusetts Institute of Technology fussent achevés. »

Les travaux du Massachusetts Institute of Technology, mentionnés ci-dessus, ont été achevés pendant l'été 1952 et des thèses ont été rédigées sur ces travaux : une de Joseph T. Vanderslice (octobre 1952), une de James G. Tewksbury (octobre 1952) et une plus ancienne (1943) de Edward R. Kane, relative à des travaux effectués il y a une dizaine d'années. Ces thèses sont déposées à la bibliothèque du Massachusetts Institute of Technology, où l'on peut en obtenir des copies sur microfilms; nous en présentons ici les résultats.

Les expériences ont été faites avec deux appareillages distincts qui seront désignés par « rouge » et « vert », en utilisant de l'hélium dans des ampoules de verre Iéna 1363^{III}. Le verre 1363^{III} est un verre thermométrique dont la dépression est si petite que son effet devrait être négligeable pour la thermométrie à gaz dans l'intervalle de température compris entre 0° C et 100° C.

Les deux mêmes ampoules ont été utilisées dans les expériences de 1952 et dans celles de 1941 et 1942, mais le manomètre et les tubes de connexion étaient entièrement nouveaux. Le volume des ampoules « rouge » et « verte » était environ 1 029 cm³ et 1 088 cm³ respectivement et le volume des espaces nuisibles correspondants était environ 1,5 et 1,2 cm³. L'ampoule des thermomètres était enfermée dans une enveloppe d'acier contenant le même gaz que l'ampoule et maintenue à la même pression. Malgré ces précautions, les résultats font apparaître quelque erreur systématique inexplicable.

La thèse de Kane donne les résultats de cinq séries d'observations pour chacun des deux thermomètres à gaz, le « rouge » et le « vert ». Chaque série comprend huit paires de déterminations de pression, l'une à 100° C et l'autre à 0° C le jour suivant. Les mesures ont été faites à cinq pressions nominales au point de fusion de la glace dans l'ordre suivant : 650 mm, 800 mm, 490 mm, 360 mm et 1 000 mm de mercure. On a corrigé l'imperfection du

thermomètre à gaz par la méthode donnée dans les *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, t. 77, 1945, p. 255, et l'imperfection du gaz thermométrique par les formules de Keyes concernant le second coefficient du viriel et publiées dans *Temperature, its Measurement and Control in Science and Industry* (1941). Les résultats suivants ont été obtenus finalement :

Pression (mm Hg) à ° C.	Rouge (° K).	Vert (° K).
650.....	273,1618	273,1624
800.....	1690	1756
490.....	1775	1829
360.....	1796	2059
1000.....	1535	1747
Moyenne.....	<u>273,1683</u>	<u>273,1803</u>
Moyenne générale...	<u>273,1743° K</u>	

La thèse de Vanderslice expose les résultats de deux séries de dix paires de déterminations de pression, une avec chacun des deux thermomètres à gaz à la pression nominale de 1000 mm au point de fusion de la glace. On a tenu compte des imperfections du gaz par des corrections utilisant quatre formules différentes; ces corrections se dispersent sur un domaine total de 0,014 degré, mais pour la comparaison avec les résultats de Kane, nous ne donnons ici que ceux qui utilisent la formule de Keyes. Les corrections qui utilisent les formules de Keyes fournissent des valeurs plus élevées que celles de la moyenne des quatre formules, la différence étant quatre à sept millièmes de degré. Les formules de Keyes ont donné les valeurs suivantes :

Pression (mm Hg).	Rouge (° K).	Vert (° K).
1000.....	273,193	273,183
Moyenne....	<u>273,188° K</u>	

La thèse de Tewksbury donne les résultats de trois séries de cinq paires de déterminations de pression, avec le thermomètre à gaz « rouge » seulement, aux pressions nominales au point de glace de 600 mm, 700 mm (1) et 700 mm (2). Les résultats, corrigés

de l'imperfection du gaz par les formules de Keyes, sont les suivants :

Pression (mm Hg).	Rouge (° K).
600.....	273,179
700 (1).....	273,186
700 (2).....	273,208
Moyenne.....	<u>273,191</u>

Les résultats relatés par Tewksbury sont obtenus uniquement par le thermomètre à gaz « rouge », tandis que les autres résultats du MIT ont été obtenus avec les deux thermomètres. Les valeurs de T_0 obtenues avec l'ampoule « verte » étant apparemment plus basses, on a soupçonné qu'un peu de mercure était entré dans l'ampoule avant les mesures à la pression nominale au point de glace de 600 et 700 mm. Lorsque les expériences ont été achevées et que les ampoules ont été enlevées, on a trouvé du mercure dans l'ampoule verte, ce qui confirmait ce soupçon.

Si la quantité de mercure présent dans l'ampoule était suffisante pour saturer tout son volume, sa pression partielle serait environ 0,273 mm à 100° C, mais seulement 0,0002 mm à 0° C. Ce mercure ne s'échapperait pas rapidement par diffusion car, même si tout le mercure était à l'état de vapeur à 100° C, il faudrait plusieurs semaines pour qu'il diffuse à travers l'hélium. Ce mercure provoquerait un excès de pression pendant les mesures à 100° C et il en résulterait un abaissement de la valeur déduite pour T_0 d'environ 0,2 degré, même lorsque la pression au point de glace atteignait 1000 mm. Si la quantité de mercure présent était assez faible pour saturer partiellement le volume de l'ampoule à 100° C, l'erreur qui en résulte sur la valeur de T_0 ne serait qu'une partie de celle qui vient d'être indiquée. De toute évidence c'est ce qui s'est produit.

D'autres causes d'erreur, telles que la présence de gaz adsorbé sur les parois de l'ampoule, l'introduction d'air dans l'hélium de l'ampoule par des fuites, ou une mauvaise évacuation de l'espace au-dessus du mercure dans la longue branche du manomètre, conduiraient toutes à des valeurs trop basses de T_0 , mais il est difficile d'imaginer des causes vraisemblables d'erreur systématique qui fourniraient des valeurs trop élevées de T_0 .

Le coefficient de dilatation thermique moyen d'échantillons du

verre Iéna 1565^{III} dont étaient constituées les ampoules a été déterminé par interférométrie au Massachusetts Institute of Technology en 1938, et l'on a obtenu $9,31 \cdot 10^{-6}$ par degré C. Après l'achèvement des mesures de 1952, on a effectué plusieurs autres déterminations sur les ampoules elles-mêmes en les remplissant de mercure à 0° C, en les chauffant à 100° C et en pesant le mercure chassé. La moyenne de ces dernières valeurs de la dilatation thermique est $9,23 \cdot 10^{-6}$ par degré C. Cette valeur confirme celle qui a été obtenue par les interférences, cependant la valeur $9,31 \cdot 10^{-6}$ a été choisie pour le calcul de T_0 . Les thèses de 1952 indiquent quand même que si l'on avait utilisé la dilatation la plus basse, la valeur de T_0 aurait été augmentée de 0,008 degré.

Les écarts types des moyennes pour les valeurs de T_0 dans les expériences du MIT sont plus grands lorsque la pression dans l'ampoule était plus basse, comme prévu. La moyenne des écarts types des résultats moyens, pour 15 séries de paires de mesures, ne s'élève qu'à environ 0,0035 degré. Et pourtant, trois des séries des déterminations du MIT fournissent des valeurs de T_0 qui sont environ 0,02 degré plus élevées que l'ensemble des autres séries.

Les valeurs données dans la thèse de Kane présentent une marche nette avec le temps. La tendance vers des valeurs de plus en plus élevées pour les quatre premières pressions au point de glace peut avoir eu pour cause des dérives excessives de la résistance des bobines du pont pendant les mois d'hiver. Les dernières mesures de pression au point de glace ont été faites à la fin du printemps et les valeurs obtenues sont plus basses. Dans l'appareil du MIT, on a réalisé le point de fusion de la glace et le point d'ébullition de l'eau dans un bain liquide agité dont la température était déterminée avec plusieurs thermomètres à résistance de platine et un pont de Mueller. Ces instruments n'ont pas été étalonnés aussi fréquemment que nous désirerions maintenant qu'ils l'eussent été, de telle sorte qu'il subsiste quelque doute sur les températures effectivement réalisées. Les thèses de 1952 se prêteraient moins à cette critique, car les instruments ont cette fois été étalonnés plus fréquemment.

Pour chacune des trois premières pressions au point de glace de la thèse de Kane, les résultats obtenus avec le thermomètre « rouge » et avec le « vert » présentent une concordance assez

bonne, mais aux deux dernières pressions au point de glace, le thermomètre « vert » fournit des valeurs qui sont plus élevées de plus de 0,02 degré. Ce désaccord ne peut pas être attribué à une dérive du pont puisque les mesures ont été faites avec le même pont, les deux ampoules étant dans le même bain au même moment. Dans la thèse de Tewksbury, la seconde série de mesures, à la pression au point de fusion de la glace de 700 mm, avec l'ampoule du thermomètre « rouge » fournit également une valeur élevée. Ces différences dans les valeurs de T_0 provenant de divers remplissages des ampoules thermométriques sont très déconcertantes. Elles impliquent des erreurs systématiques, cela est vrai, mais puisqu'aucune n'a encore été capable d'expliquer de telles différences, il semble que la seule conclusion possible soit que des erreurs systématiques peuvent encore rester inexpliquées dans toute thermométrie à gaz et que la valeur exacte de T_0 est beaucoup plus incertaine qu'on ne le soupçonnait lorsque Hall a fait la déclaration citée plus haut dans son Rapport concernant la réunion de 1952.

Nous pouvons nous résumer de la façon suivante. Les mesures du MIT avec de l'hélium dans des ampoules de verre Iéna 1365^{III} ont donné les valeurs moyennes suivantes pour T_0 : 273,174°K (1942) et 273,190°K (1952), la moyenne étant 273,182°K. Les mesures publiées précédemment par le MIT avec de l'azote dans des ampoules de silice vitreuse ont donné la valeur moyenne 273,166°K (1937). La moyenne des résultats moyens obtenus avec l'hélium et avec l'azote est 273,174°K. A notre avis, cette dernière valeur représente la meilleure estimation de la température absolue du point de fusion de la glace que l'on puisse déduire de tout le travail effectué au MIT.

(12 février 1954.)

ANNEXE T 3.

National Bureau of Standards (États-Unis d'Amérique).

PROPOSITION
CONCERNANT L'ÉCHELLE GIAUQUE-KELVIN

(Traduction.)

Le National Bureau of Standards demande au Comité Consultatif de Thermométrie auprès du Comité International des Poids et Mesures qu'il choisisse un nombre pour la température du point triple de l'eau en vue de définir une échelle thermodynamique absolue de température fondée sur un seul point fixe (proposition Giauque-Kelvin), et qu'il prenne les dispositions nécessaires pour rendre effective cette nouvelle définition en 1954, si possible.

En 1948, le Comité Consultatif de Thermométrie a proposé les deux résolutions suivantes, qui ont été approuvées par la Neuvième Conférence Générale des Poids et Mesures (1948).

« 1. En l'état actuel de la technique, le point triple de l'eau est susceptible de constituer un repère thermométrique avec une précision plus élevée que le point de fusion de la glace.

« En conséquence, le Comité Consultatif estime que le zéro de l'échelle thermodynamique centésimale doit être défini comme étant la température inférieure de 0,0100 degré à celle du point triple de l'eau pure. »

« 2. Le Comité Consultatif admet le principe d'une échelle thermodynamique absolue ne comportant qu'un seul point fixe fondamental, constitué actuellement par le point triple de l'eau pure, dont la température absolue sera fixée ultérieurement.

« L'introduction de cette nouvelle échelle n'affecte en rien l'usage de l'Échelle Internationale, qui reste l'échelle pratique recommandée ».

La Sixième Assemblée Générale de l'Union Internationale de Physique Pure et Appliquée, réunie à Amsterdam du 8 au 10 juillet 1948, a adopté à l'unanimité les résolutions suivantes sur la recommandation de sa Commission Symboles, Unités, Nomenclature :

(Voir le texte de ces résolutions à l'Annexe T 1, p. T 51).

Le 4 août 1953, le Conseil de l'Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée a sanctionné la résolution suivante soutenue par sa Commission de Thermodynamique Chimique et approuvée par la Section de Chimie Physique :

(Voir le texte de cette résolution à l'Annexe T 1, p. T 51).

Le National Research Council des États-Unis a créé, en juin 1953, un Comité Spécial de l'Échelle de Température afin de rassembler les opinions des savants américains intéressés par l'adoption de la définition proposée d'une échelle thermodynamique fondée sur un *seul* point fixe reproductible. Ce Comité du National Research Council a trouvé et noté dans son Rapport que les savants américains intéressés sont fortement favorables à :

1° Donner suite dès maintenant à la résolution adoptée en 1948 par la Neuvième Conférence Générale des Poids et Mesures, en fait, sanctionner la définition de l'échelle thermodynamique fondée sur un *seul* point fixe réalisable, choisir et adopter officiellement un nombre défini pour le point triple de l'eau et prendre toute disposition nécessaire pour faire entrer en vigueur la nouvelle définition en 1954 par accord international.

2° Choisir 273,17° K pour la température du point triple de l'eau dans la nouvelle échelle thermodynamique.

3° Donner la priorité à l'obtention d'un accord international en 1954 sur un nombre pour le point triple et sur la mise en vigueur de la nouvelle définition de l'échelle thermodynamique, de préférence à un accord sur la valeur 273,17° K.

Les désirs des savants américains au sujet de l'échelle thermodynamique, tels qu'ils sont rapportés ci-dessus par le National Research Council, seront soutenus par le National Bureau of Standards au Comité Consultatif de Thermométrie. Le National Bureau of Standards insiste auprès du Comité Consultatif et du Comité International des Poids et Mesures pour que la mise en vigueur de la nouvelle définition soit rendue possible en 1954 par accord international.

Les avantages d'une échelle thermodynamique fondée sur un *seul* point fixe réalisable sont les suivants :

1^o L'utilisation d'un thermomètre à gaz pour les mesures fondamentales de température sera simplifiée. Les inexactitudes dans son utilisation causées par les incertitudes dans la détermination du point d'ébullition de l'eau seront éliminées.

2^o La relation entre la température du point triple de l'eau dans l'échelle thermodynamique et dans l'Échelle Internationale de Température (0,01 °C) sera fixée par définition.

3^o Les erreurs probables de deux constantes physiques fondamentales, la constante des gaz R et la constante de Boltzmann k , seront diminuées. En effet, la détermination de ces constantes implique l'usage d'une échelle thermodynamique absolue

$$R = \frac{(pV)_T}{T} \quad \text{et} \quad k = \frac{R}{N_0}$$

Selon la nouvelle définition, R serait évalué au point triple de l'eau, point pour lequel T aura une valeur spécifiée sans aucune erreur expérimentale. A présent, l'incertitude sur la température thermodynamique absolue du point de fusion de la glace doit être ajoutée à l'incertitude sur R et k .

Les raisons essentielles pour lesquelles les savants américains préfèrent 273,17° K pour le point triple de l'eau dans la nouvelle échelle sont (1) :

(1) Ce paragraphe a été écrit avant qu'aient été reçus les documents de M. H. Van Dijk et de M. J. Otto (Annexes T 5, p. T 66 et T 6, p. T 78).

1° L'usage s'est établi aux Etats-Unis, depuis 1939, d'utiliser pour le point de fusion de la glace la valeur $273,16^{\circ}$ K. Pratiquement toutes les tables usuelles de propriétés thermodynamiques sont fondées sur $273,16^{\circ}$ K pour le point de fusion de la glace. Si l'on choisit $273,17^{\circ}$ K pour le point triple de l'eau, ces tables continueront à être utilisables sans changement.

2° Les Américains croient réellement que $273,17^{\circ}$ K est la « meilleure » valeur actuelle pour le point triple de l'eau ($273,16^{\circ}$ K pour le point de fusion de la glace). Toutes les tables américaines des « meilleures » valeurs des constantes physiques fondamentales depuis 1939 donnent $273,16^{\circ}$ K pour le point de fusion de la glace. De plus, $273,16^{\circ}$ K se trouve compris entre, d'une part, les deux valeurs expérimentales basses $273,15^{\circ}$ K du Kamerlingh Onnes Laboratorium, Université de Leyde, et de l'Université de Tokyo, et d'autre part la valeur élevée $273,17$ à $273,18^{\circ}$ K pour le point de fusion de la glace rapportée par le Professeur J. A. Beattie (Massachusetts Institute of Technology) (2). En outre, la valeur la « meilleure » que nous recommandons, $273,16^{\circ}$ K pour le point de fusion de la glace, coïncide avec la valeur obtenue par la Physikalisch-Technische Reichsanstalt d'après les mesures de ce laboratoire.

J. P. Joule et William Thomson ont recommandé en 1854 (3) la définition de l'échelle thermodynamique fondée sur un *seul* point fixe réalisable et, dans la référence citée, ils ont écrit que cette définition « doit être adoptée finalement ». Quelle date conviendrait mieux que cette année-ci — exactement cent ans plus tard — pour faire ce changement que Joule et Thomson prévoyaient devoir se réaliser finalement ?

(3 mars 1954.)

(2) Cf. Annexe T 2, p. T 53.

(3) J. P. JOULE et W. THOMSON, *Phil. Trans. Roy. Soc.*, t. 144, 1854, p. 321.

ANNEXE T 4.

Tokyo Institute of Technology (Japon).

COMMENTAIRES SUR LA PROPOSITION
DU NATIONAL BUREAU OF STANDARDS
CONCERNANT
LA MEILLEURE VALEUR DU POINT DE GLACE

par J. OISHI.

A la réunion de 1952 du Comité Consultatif de Thermométrie auprès du Comité International des Poids et Mesures, on a été d'accord pour que la meilleure valeur de T_0 , température du point de fusion de la glace dans l'échelle thermodynamique, soit choisie pour le moment en tenant compte des expériences postérieures à 1929. Les résultats des mesures à considérer sont donnés dans le tableau suivant, les valeurs de T_0 étant celles qui ont été adoptées par les divers laboratoires d'après leurs propres mesures.

Laboratoire.	Année.	T_0 .
P. T. R. (1).....	1929-1930	273,158° K
Leiden (2).....	1934	273,147
T. I. T. (*) (3).....	1937-1942	273,15
M. I. T. (4).....	1939-1952	273,174

(4) Tokyo Institute of Technology.

(1) HECSE, OTTO, MOSER.

H. MOSER et J. OTTO, *Procès-Verbaux des Séances du Comité*

A la fin du mémorandum du National Bureau of Standards (*cf.* Annexe T 3, p. T 39), on trouve à la page T 62, dans le paragraphe 2 de la partie concernant les « raisons essentielles pour lesquelles les savants américains préfèrent $273,17^{\circ}$ K pour le point triple de l'eau ($273,16^{\circ}$ K pour le point de fusion de la glace) dans la nouvelle échelle » : « Les Américains croient réellement que $273,17^{\circ}$ K est la « meilleure » valeur actuelle pour le point triple de l'eau ($273,16^{\circ}$ K pour le point de fusion de la glace). Toutes les tables américaines des « meilleures » valeurs des constantes physiques fondamentales depuis 1939 donnent $273,16^{\circ}$ K pour le point de fusion de la glace. De plus, $273,16^{\circ}$ K se trouve compris entre, d'une part, les deux valeurs expérimentales basses $273,15^{\circ}$ K du Kamerlingh Onnes Laboratorium, Université de Leyde, et de l'Université de Tokyo, et d'autre part la valeur élevée $273,17$ à $273,18^{\circ}$ K pour le point de fusion de la glace rapportée par le Professeur J. A. Beattie (Massachusetts Institute of Technology). En outre, la valeur la « meilleure » que nous recommandons, $273,16^{\circ}$ K pour le point de fusion de la glace, coïncide avec la valeur obtenue par la Physikalisch-Technische Reichsanstalt d'après les mesures de ce laboratoire ».

Il a été mis en évidence par Cragoe ⁽⁵⁾ que les mesures de la Physikalisch-Technische Reichsanstalt de 1929 comportaient des erreurs systématiques assez grandes dans les déterminations de pression. D'après l'analyse graphique faite par van Dijk ⁽⁶⁾ à Leyde, on doit aussi s'attendre à obtenir la valeur $273,15^{\circ}$ K pour la température absolue du point de glace si les erreurs systématiques sont éliminées de leurs mesures. Tenant compte de cette suggestion, Otto à la Physikalisch-Technische Bundesanstalt procède à de nouveaux calculs et il est probable qu'il aboutira à

Consultatif de Thermométrie, 1952, Annexe T 5, p. T 157.

⁽²⁾ KEESOM, VAN DER HORST, TAGONIS, VAN DIJK.

H. VAN DIJK, *Procès-Verbaux des Séances du Comité Consultatif de Thermométrie*, 1952, Annexe T 3, p. T 37.

⁽³⁾ KINOSHITA, OISHI.

⁽⁴⁾ BEATTIE, BENEDICT, BLAISDELL, KAYE, KANE, VANDERSLICE, TEWKSBURY, STIMSON.

H. F. STIMSON et J. A. BEATTIE, *voir ce volume*, Annexe T 2, p. T 53.

⁽⁵⁾ C. S. CRAGOE, *Temperature*, Reinhold Publ. Corp., New York, 1941, p. 89.

⁽⁶⁾ H. VAN DIJK, Communication privée, 1953.

corriger lui-même la valeur indiquée au tableau, valeur qui se rapprochera de $273,15^{\circ}$ K. Si la situation devenait telle que les trois laboratoires, P. T. R., Leyde, T. I. T., obtenaient $273,15^{\circ}$ K et que seul le M. I. T. présente des valeurs trop élevées ($273,17^{\circ}$ K à $273,18^{\circ}$ K), la proposition américaine de choisir $273,16^{\circ}$ K en tant que la meilleure valeur de T_0 recevrait-elle l'approbation internationale? Le Comité Consultatif de Thermométrie n'a pas cessé, *depuis sa première réunion de 1939*, de recommander $273,15^{\circ}$ K comme la meilleure valeur de T_0 . Je ne crois pas qu'il y ait aucun motif certain pour changer cette valeur qui existe aujourd'hui si l'on tient compte du degré d'incertitude actuel dans la détermination de la température par le thermomètre à gaz. Il me paraît prématuré actuellement de réviser la meilleure valeur de T_0 , car je crois que l'on devrait en premier lieu rechercher pourquoi les valeurs du M. I. T. sont les seules à être beaucoup plus élevées que celles des trois autres laboratoires.

(5 avril 1954.)

ANNEXE T 5.

Kamerlingh Onnes Laboratorium (Pays-Bas).

SUR LA TEMPÉRATURE ABSOLUE
DU POINT DE GLACE

par H. VAN DIJK.

(Traduction de l'allemand.)

On n'est pas encore arrivé à une décision sur la meilleure valeur de la température absolue du point de glace; c'est pourquoi je désire montrer qu'en utilisant les résultats publiés par

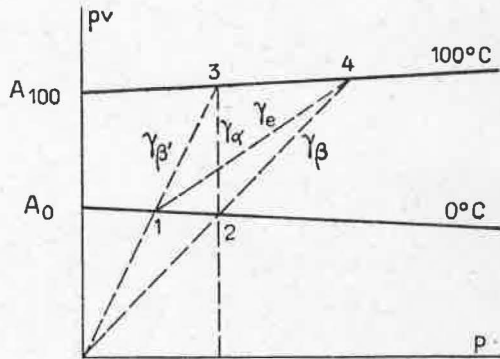


Fig. 1.

Heuse et Otto en 1929 et 1930, concernant la température absolue du point de glace, on peut obtenir pour cette température une valeur plus exacte que celle qui a été donnée autrefois par Heuse et Otto [1] puis par Moser et Otto [2]; cette valeur

plus exacte est en meilleur accord avec les derniers résultats des mesures de Leyde.

Cragoe a montré à ce sujet que les résultats sur He, H₂ et N₂ contiennent certaines erreurs systématiques qu'il faudrait corriger. D'après lui, ces erreurs sont des erreurs dans les rapports de pression [1]. On peut montrer qu'il en est bien ainsi.

Dans la mesure sur une certaine masse de gaz interviennent

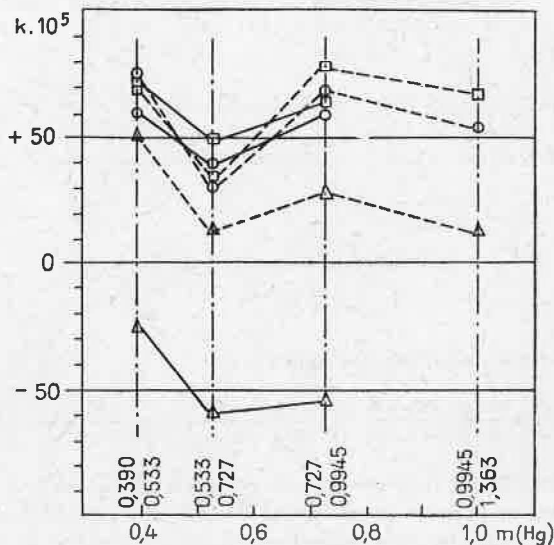


Fig. 2.

Δ N₂; \square H₂; \circ He.
 k_0 —; k_{100} - - -

toujours quatre valeurs du produit $p\nu$. Ces quatre valeurs se placent dans le diagramme $p\nu - p$ comme l'indique la figure 1. Heuse et Otto ont déjà calculé la pente de l'isotherme 0° C d'après les valeurs de $p\nu$ et de p des points 1 et 2. On peut calculer de même la pente de l'isotherme 100° C d'après les valeurs $p\nu$ des points 3 et 4. Si l'on trace la courbe de pentes obtenues pour diverses masses de gaz en fonction de la plus petite (ou de la plus grande) des deux pressions auxquelles les valeurs de $p\nu$ correspondantes ont été déterminées, on voit aussitôt d'après la figure 2 que les valeurs des pentes contiennent des

erreurs systématiques, ces erreurs étant parallèles pour les isothermes à 100° et à 0° C.

Si l'on appelle v_0 le volume de la masse de gaz à 0° C et sous la pression unité et si l'on désigne par a et b deux points voisins sur l'isotherme, la pente k est donnée par

$$(1) \quad k = \frac{1}{v_0} \frac{p_b v_b - p_a v_a}{p_b - p_a} = \frac{\frac{p_b}{p_a} \frac{v_b}{v_a} - 1}{\frac{p_b}{p_a} - 1} \frac{v_a}{v_0}.$$

Soient ε , ζ et δ les erreurs relatives de $\frac{p_b}{p_a}$, $\frac{v_b}{v_a}$ et $\frac{v_a}{v_0}$, et $\frac{\pi_b}{\pi_a}$, $\frac{v_b}{v_a}$ et $\frac{v_a}{v_0}$ les valeurs exactes correspondantes; l'expression de k peut s'écrire

$$k = \frac{\frac{\pi_b}{\pi_a} (1 + \varepsilon) \frac{v_b}{v_a} (1 + \zeta) - 1}{\frac{\pi_b}{\pi_a} (1 + \varepsilon) - 1} \frac{v_a}{v_0} (1 + \delta)$$

ou avec une exactitude suffisante :

$$k = \frac{\pi_b v_b - \pi_a v_a}{v_0 (\pi_b - \pi_a)} \left[1 + \frac{\pi_b v_b (\varepsilon + \zeta)}{\pi_b v_b - \pi_a v_a} - \frac{\pi_b \varepsilon}{\pi_b - \pi_a} + \delta \right].$$

La première des trois corrections est de beaucoup la plus considérable, car $\pi_b v_b$ est presque égal à $\pi_a v_a$. C'est pourquoi nous ne considérerons que cette correction, ce qui permet d'écrire :

$$k = \frac{\pi_b v_b - \pi_a v_a}{v_0 (\pi_b - \pi_a)} + \frac{\pi_b}{\pi_b - \pi_a} \frac{v_b}{v_0} (\varepsilon + \zeta).$$

Les erreurs notables sur la valeur des pentes ne peuvent donc provenir que d'erreurs sur les rapports de pression ou sur les rapports de volume. Les erreurs systématiques proviennent des pressions et non des volumes; ceci est très vraisemblable car k_0 et k_{100} , lorsque p_a et p_b ont la même valeur sur les deux isothermes, présentent des écarts dans le même sens; ceci devient certain lorsque l'on calcule le rapport $\frac{T_{100}}{T_0}$ d'après deux valeurs de $p v$ prises sur des isothermes différentes, en utilisant une valeur constante de k_0 et de k_{100} . Lorsque la pression est la même pour

les deux valeurs de $p\nu$, $\frac{T_{100}}{T_0}$ (ou $1+100\gamma_\alpha$) ne montre aucune erreur systématique en fonction de p (fig. 3) mais, lorsque les

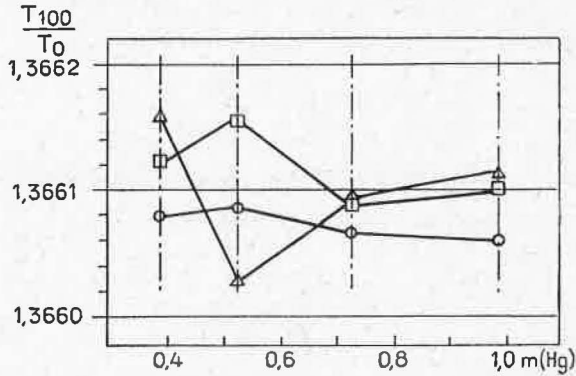


Fig. 3.

$$\frac{T_{100}}{T_0} = 1 + 100\gamma_\alpha.$$

\triangle N₂; \square H₂; \circ He.

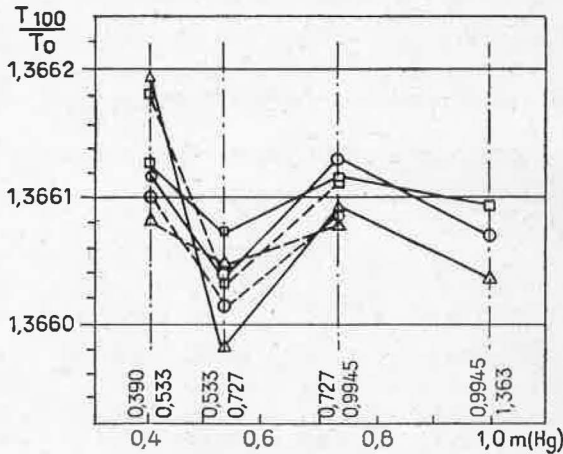


Fig. 4.

$(1+100\gamma_\beta)$ —; $(1+100\gamma_\alpha)$ - - -.

\triangle N₂; \square H₂; \circ He.

volumes sont les mêmes (ou très voisins) apparaissent à nouveau des erreurs systématiques dans le même sens que celles des valeurs de k (fig. 4). C'est bien ce que l'on pouvait prévoir, car les expressions $(1 + 100\gamma\beta)$ et $(1 + 100\gamma\beta_0)$ sont proportionnelles au rapport $\frac{p_b}{p_a}$ et indépendantes de $\frac{v_a}{v_b}$, tandis que

$$(1 + 100\gamma) = \frac{P_{100} v_{100}}{P_0 v_0} (1 + k_0 p_0) - k_{100} p_{100}.$$

Comme l'a montré Cragoe on peut calculer l'erreur sur $\frac{p_b}{p_a}$.

On obtient facilement d'après l'équation (1)

$$\frac{p_b}{p_a} = \frac{\frac{v_a}{v_0} - k}{\frac{v_b}{v_0} - k}.$$

On peut donc obtenir une valeur plus exacte de $\frac{p_b}{p_a}$ d'après les

valeurs connues de $\frac{v_a}{v_0}$ et $\frac{v_b}{v_0}$ lorsqu'on adopte les valeurs assez bien connues de k provenant d'autres expériences. C'est ce que nous avons fait pour les valeurs $\frac{p_b}{p_a}$ de l'isotherme 0° C et de l'isotherme 100° C, et nous avons calculé les valeurs $\frac{p_b}{p_a}$ du tableau I.

Dans ce tableau $\left(\frac{p_b}{p_a}\right)_1$ a été calculé d'après le volume et $\left(\frac{p_b}{p_a}\right)_2$ d'après la distance observée des pointes du manomètre.

TABLEAU I.

p_a .	p_b .	$\left(\frac{p_b}{p_a}\right)_1$.	$\left(\frac{p_b}{p_a}\right)_2$.	$\Delta\left(\frac{p_b}{p_a}\right)$.	$\Delta\gamma$.
0,390 24	0,533 10	1,366 056	1,366 082	-26.10 ⁻⁶	-26.10 ⁻⁸
0,533 10	0,727 17	1,364 096	1,364 041	+55	+55
0,727 17	0,994 50	1,367 621	1,367 631	-10	-10
0,994 50	1,362 80	1,370 368	1,370 337	+31	+31
0,390 24	0,727 17	1,863 432	1,863 392	+40	+29
0,533 10	0,994 50	1,865 566	1,865 505	+61	+45
0,727 17	1,362 80	1,874 144	1,874 115	+29	+21

Si l'on utilise les nouvelles valeurs obtenues de $\frac{p_b}{p_a}$ pour le calcul de $(1 + 100\gamma_\beta)$ et $(1 + 100\gamma_e)$, les erreurs systématiques disparaissent entièrement comme le montre la figure 5. De plus, si l'on calcule $(1 + 100\gamma_e)$ avec les valeurs anciennes et les valeurs nouvelles de $\frac{p_b}{p_a}$ et que l'on porte les résultats sur un gra-

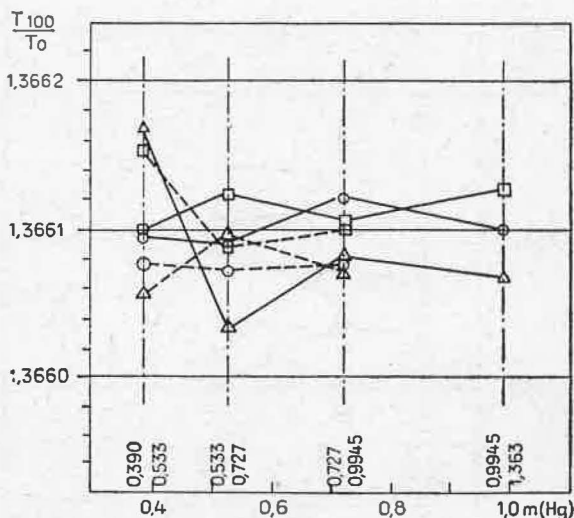


Fig. 5.

$(1 + 100\gamma_\beta)_e$ ———; $(1 + 100\gamma_e)_e$ - - - - -
 △ N₂; □ H₂; ○ He.

phique (fig. 6) il devient clair que les anciennes valeurs $\frac{p_b}{p_a}$ donnent des valeurs de γ_e trop petites. En général, les erreurs systématiques de $\frac{p_b}{p_a}$ ont conduit à des valeurs trop petites de γ_β , γ_β , et γ_e , et après la correction des valeurs de $\frac{p_b}{p_a}$ la valeur moyenne de γ , tirée de γ_α , γ_β , γ_β , et γ_e , se situe au voisinage de 0,003 6610. En utilisant pour le calcul de γ les valeurs originales de k de Heuse et Otto [2], nous avons obtenu 0,003 660 94 pour la moyenne établie selon les recommandations de Moser et Otto [3].

Comme on peut le voir d'après les graphiques, les valeurs de γ qui ont été calculées pour N_2 avec les valeurs de k utilisées par Heuse et Otto sont plus petites en général que les valeurs calculées pour He, H_2 et Ne. A notre avis, la cause de ces valeurs trop petites de γ pour N_2 provient des valeurs de k utilisées par Heuse et Otto; ces valeurs sont différentes de celles qui ont été trouvées *expérimentalement* à Berlin pour 0 et $100^\circ C$ [4] et de

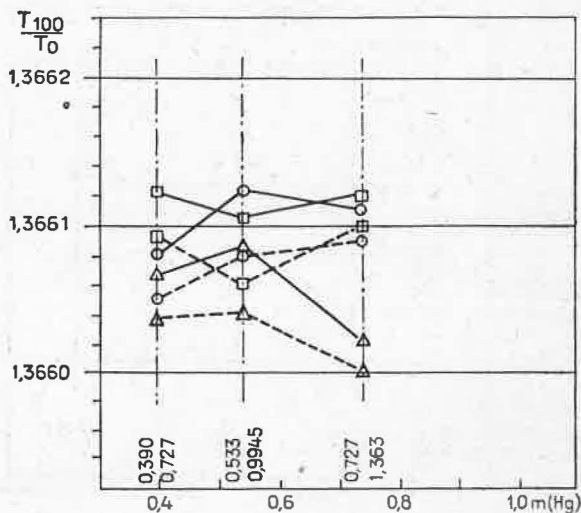


Fig. 6.

$(1 + 100\gamma_e)$ — ; $(1 + 100\gamma_e)$ - - -
 $\triangle N_2$; $\square H_2$; $\odot He$.

celles qui ont été obtenues par Keesom et Tuyn [3], par Keyes [6], par Cragoe et Oishi [7]. Si l'on utilise pour N_2 les valeurs moyennes établies par Oishi, on trouve comme moyenne générale d'après les résultats cités par Heuse et Otto :

$$\gamma = 0,003\ 661\ 01.$$

Ceci donne pour la température du point de glace :

$$T_0 = 273,149^\circ K \text{ (1)}.$$

(1) Ainsi que je l'ai appris après l'établissement de ce rapport, le

Le tableau II contient les valeurs calculées par nous d'après les résultats originaux de Heuse et Otto ainsi que leurs valeurs moyennes. Le tableau III contient les valeurs moyennes que l'on obtient lorsqu'on utilise pour les valeurs de k_0 et de k_{100} relatives à N_2 les valeurs moyennes calculées par Oishi.

Heuse et Otto n'ont utilisé autrefois qu'une partie des résultats expérimentaux pour le calcul de γ . Il n'ont calculé que $\bar{\bar{\gamma}}_{\alpha\beta}$. De même Moser et Otto [3] ont, semble-t-il, fixé une valeur de $\bar{\bar{\gamma}}_{\alpha\beta}$ pour conclure. Ce faisant, ils n'ont pas éliminé les erreurs signalées par Cragoe dans les rapports de pression et ils n'ont pas utilisé pour k_0 et k_{100} les meilleures valeurs que l'on connaisse actuellement.

Les moyennes générales

$$10^8 \cdot \bar{\bar{\gamma}}_{\alpha\beta} \beta_e = 366\ 101 \quad \text{et} \quad 10^8 \cdot \bar{\bar{\gamma}}_{\alpha\beta} \beta_e = 366\ 103$$

sont presque égales. Parmi les moyennes données primitivement par Heuse et Otto c'est $\bar{\gamma}_\alpha$ qui se rapproche le plus de notre moyenne générale, car $\bar{\gamma}_\alpha$ ne contient pas l'erreur des rapports de pression.

Si l'on utilise la valeur de γ calculée par nous d'après les résultats originaux de Heuse et Otto, il ne reste plus aucune différence entre les meilleurs résultats obtenus à Berlin, à Tokyo et à Leyde, qui tous donnent pour T_0 une valeur égale à 273,15° K ou une valeur inférieure de quelques millièmes de degré. Seul Beattie et ses collaborateurs ont trouvé au M. I. T. une valeur plus élevée de T_0 par une méthode moins directe. D'après la Note de H. F. Stimson et J. A. Beattie (*cf.* Annexe T 2, p. T 53), il apparaît que cette méthode, en tout cas pour l'hélium, n'a pas donné de résultats très reproductibles. Si l'on doit donc recommander en 1954 une valeur internationale pour T_0 , c'est toujours 273,15 °K qui reste la meilleure valeur que l'on puisse choisir. Cette dernière s'accorde également, ainsi qu'on l'a indiqué au Comité Consultatif de Thermométrie de 1952 [8], avec une valeur moyenne dans laquelle est considérée la valeur obtenue par Beattie pour N_2 .

Docteur Otto est arrivé indépendamment au même résultat par un nouveau calcul tout à fait semblable (*cf.* Annexe T 6, p. T 78).

TABLEAU II.

Gaz.	Pression à 0°C (m Hg).	Coefficient de pression $10^4 \cdot \gamma_a$.	d'après la distance observée des pointes du manomètre.			d'après les volumes.		
			$10^4 \cdot \gamma_{\beta}$.	$10^4 \cdot \gamma_{\beta}$.	$10^4 \cdot \gamma_c$.	$10^4 \cdot \gamma_{\beta}$.	$10^4 \cdot \gamma_{\beta}$.	$10^4 \cdot \gamma_c$.
He.	$10^5 \cdot P_0$.	39 024	366 077	366 120	366 050	366 076	366 094	366 079
		53 310	086	034	078	072	089	123
		72 717	069	130	090	075	120	111
	99 450	062	067	-	-	098	-	-
	$10^8 \cdot \bar{\gamma}$	366 073 ₃	366 068	366 088	366 073	366 074	366 100	366 104
	$10^8 \cdot \bar{\gamma}$	071	067 ₅	088 ₅	077	074	102	107
H ₂ ...	$10^5 \cdot P_0$.	39 024	366 123	366 124	366 093	366 153	366 098	366 122
		53 310	154	068	060	086	123	105
		72 717	086	115	099	098	105	120
	99 450	103	094	-	-	125	-	-
	$10^8 \cdot \bar{\gamma}$	366 116	366 106	366 100	366 084	366 112	366 113	366 116
	$10^8 \cdot \bar{\gamma}$	112	100	099	085	107	115	116

TABLEAU II (suite).

Gaz.	Pression à 0° C (m Hg).		Coefficient de pression		$\frac{p_h}{p_a}$ d'après la distance observée des pointes du manomètre.		$\frac{p_h}{p_h}$ d'après les volumes.		
	$10^8 \cdot \gamma_a$	$10^8 \cdot \gamma_{\beta}$	$10^8 \cdot \gamma_{\beta}$	$10^8 \cdot \gamma_c$	$10^8 \cdot \gamma_{\beta}$	$10^8 \cdot \gamma_c$	$10^8 \cdot \gamma_{\beta}$	$10^8 \cdot \gamma_c$	
N ₂ .	$10^8 \cdot p_0$	39 024	366 081	366 194	366 037	366 055	366 168	366 066	
		53 310	041	5 978	040	096	033	085	
		72 717	079	6 091	001	069	081	022	
		99 450	—	034	—	—	065	—	
N ₂ .	$10^8 \cdot \bar{\gamma}$	366 096	366 067	366 074	366 026	366 073	366 087	366 058	
		095	067	062	022	074	078	053	
Ne.	$10^8 \cdot p_0$	99 450	366 111	366 086	366 075	366 101	366 117	366 096	
		$10^8 \cdot \bar{\gamma}$	366 102	366 085 ₅	366 087	366 064 ₄	366 090	366 104	366 093 ₅
		$10^8 \cdot \bar{\gamma}$	096	082	083	063	087	101	093
		$10^8 \cdot \bar{\gamma}_{\alpha\beta\beta_2}$	$10^8 \cdot \bar{\gamma}_{\alpha\beta}$	$10^8 \cdot \bar{\gamma}_{\alpha\beta}$	$10^8 \cdot \bar{\gamma}_{\alpha\beta}$	$10^8 \cdot \bar{\gamma}_{\alpha\beta\beta_2}$	$10^8 \cdot \bar{\gamma}_{\alpha\beta\beta_2}$	$10^8 \cdot \bar{\gamma}_{\alpha\beta\beta_2}$	$10^8 \cdot \bar{\gamma}_{\alpha\beta\beta_2}$
$10^8 \cdot \bar{\gamma}_{\alpha\beta\beta_2}$	366 085	$10^8 \cdot \bar{\gamma}_{\alpha\beta}$	366 094 ₅	$10^8 \cdot \bar{\gamma}_{\alpha\beta}$	366 103	$10^8 \cdot \bar{\gamma}_{\alpha\beta\beta_2}$	366 097		
$10^8 \cdot \bar{\gamma}_{\alpha\beta\beta_2}$	366 081	$10^8 \cdot \bar{\gamma}_{\alpha\beta}$	366 089 ₅	$10^8 \cdot \bar{\gamma}_{\alpha\beta}$	366 098 ₅	$10^8 \cdot \bar{\gamma}_{\alpha\beta\beta_2}$	366 094		

— Moyenne arithmétique; ~ Moyenne pondérée.

TABLEAU III.

Gaz.	$\gamma_{\alpha} \cdot 10^8$.	$\tilde{\gamma}_{\alpha} \cdot 10^8$.	$\gamma_{\beta} \cdot 10^8$.	$\tilde{\gamma}_{\beta} \cdot 10^8$.	$\tilde{\gamma}_{\beta} \cdot 10^8$.	$\tilde{\gamma}_{\beta} \cdot 10^8$.	$\tilde{\gamma}_{\beta} \cdot 10^8$.	$\tilde{\gamma}_{\alpha} \cdot 10^8$.	$\tilde{\gamma}_{\alpha} \cdot 10^8$.
He	366 073 ₆	366 071	366 074	366 074	366 100	366 102	366 104	366 107	366 107
H ₂	366 116	366 112	366 112	366 107	366 113	366 115	366 116	366 116	366 116
N ₂	366 120	366 122	366 093	366 095	366 110	366 104	366 079	366 075	366 075
Ne	366 122	366 122	366 101	366 101	366 117	366 117	366 096	366 096	366 096
$\tilde{\gamma} \cdot 10^8$	366 108	-	366 095	-	366 110	-	366 099	-	-
$\tilde{\gamma} \cdot 10^8$	-	366 104	-	366 093	-	366 108	-	366 099	-
$\tilde{\gamma}_{\alpha\beta\beta\alpha} \cdot 10^8 = 366 103$ $\tilde{\gamma}_{\alpha\beta} \cdot 10^8 = 366 106$ $\tilde{\gamma}_{\alpha\beta} \cdot 10^8 = 366 109$									
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> $\tilde{\gamma}_{\alpha\beta\beta\alpha} \cdot 10^8 = 366 101$ </div>									

BIBLIOGRAPHIE.

- [1] G. S. CRAGOE, *Temperature*, Reinhold Publishing Corporation, New York, 1941, p. 89.
 - [2] HEUSE et OTTO, *Ann. Physik*, t. 2, 1929, p. 1012 et t. 4, 1930, p. 778.
 - [3] *Procès-Verbaux du Comité Consultatif de Thermométrie*, 1952, Annexe T 5, p. T 57.
 - [4] *loc. cit.* [1]; *Z. Physik*, t. 33, 1925, p. 9 et t. 38, 1926, p. 365.
 - [5] *Comm. Leiden*, Suppl. n° 78, 1936.
 - [6] F. G. KEYES, *Temperature*, 1941, p. 45.
 - [7] J. OISHI, *J. Sc. Res. Inst.*, t. 43, 1949, p. 220.
 - [8] *Procès-Verbaux du Comité Consultatif de Thermométrie* 1952, Annexe T 3, p. T 40.
-

ANNEXE T 6.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Allemagne).

NOUVEAU CALCUL DE LA VALEUR LIMITE
DES COEFFICIENTS DE DILATATION
ET D'AUGMENTATION DE PRESSION
DE L'HÉLIUM, DE L'HYDROGÈNE, DE L'AZOTE
ET DU NÉON,
D'APRÈS LES DERNIÈRES MESURES
DE LA PHYSIKALISCH-TECHNISCHE REICHSANSTALT (1)

par J. OTTO

(Traduction.)

Le calcul des valeurs limites γ , d'après les coefficients de dilatation α et les coefficients d'augmentation de pression β obtenus expérimentalement, nécessite la connaissance des valeurs des pentes $k = \left[\frac{d(pv)}{dp} \right]_{p=0}$ des isothermes 0 et 100° C. Le calcul de la valeur limite $\gamma\beta$ à partir du coefficient d'augmentation de pression β , exige en outre que l'on connaisse avec une grande exactitude le rapport des pressions p_b et p_a entre lesquelles on a déterminé le coefficient d'augmentation de pression.

Cragoe (2) a établi dans son important rapport critique sur *Les pentes des isothermes $p\nu$* que les méthodes de calcul des valeurs k

(1) W. HEUSE et J. OTTO, *Ann. Physik*, (5), t. 2, 1929, p. 1012; t. 4, 1930, p. 778.

(2) C. S. CRAGOE, *Temperature*, Reinhold Publishing Corporation, New York, 1941, p. 89.

sont susceptibles d'amélioration. En outre, il a attiré l'attention sur le fait que l'on peut calculer très exactement le rapport des pressions $\frac{p_b}{p_a}$ (p_a , pression du gaz à 0° C; p_b , pression du gaz à 100° C) nécessaire pour le calcul des valeurs $\gamma\beta$, à partir des volumes correspondant aux pressions p_a et p_b sur l'isotherme 0° C.

Van Dijk a indiqué dans une communication privée comment l'on peut également calculer $\frac{p_b}{p_a}$ à partir des valeurs expérimentales α et β . Il a en outre établi que l'emploi des rapports de pression ainsi obtenus dans le calcul des valeurs de $\gamma\beta$ à partir des valeurs de β , éliminait les écarts systématiques qui se manifestaient précédemment.

Sur la base de ces données, les constantes de l'équation d'état

$$p\nu = A + Bp + Cp^2 + \dots$$

ont été à nouveau calculées par la méthode des moindres carrés pour l'ensemble des isothermes mesurées à la P. T. R. ⁽¹⁾. Comme le domaine de température des isothermes mesurées pour l'ensemble des gaz qui nous intéressent ici, l'oxygène excepté, s'étend sur plusieurs centaines de degrés, les valeurs compensées du deuxième coefficient du viriel B ont été également obtenues par la méthode des moindres carrés (tableau I) à l'aide de la relation

$$B = a + bT + \frac{c}{T} + \frac{e}{T^3}.$$

Ce tableau contient en outre les formules et constantes nécessaires au calcul des valeurs de γ .

Dans le tableau II, on a rassemblé les valeurs nouvellement calculées de $\frac{p_b}{p_a}$ et on les a comparées aux valeurs indiquées par Cragoe et van Dijk. L'accord des valeurs moyennes est tout à fait satisfaisant.

Le tableau III contient le nouveau calcul des valeurs de β à partir des valeurs expérimentales β' indiquées auparavant.

Dans le tableau IV on a rassemblé, afin de les confronter, les valeurs nouvellement calculées et les valeurs primitivement

(¹) Résumé dans WIEN-HARMS, *Handb. Experimentalphysik*, VIII-2 Leipzig, 1929, p. 143 (He), p. 147 (Ne), p. 161 (H₂), p. 167 (N₂), p. 175 (O₂).

obtenues pour γ_α et γ_β . On voit dans les colonnes 3 et 5 que les erreurs systématiques obtenues précédemment pour les valeurs de γ_β sont éliminées et que la dispersion des valeurs individuelles est nettement plus faible qu'auparavant. On remarque en outre que les moyennes des valeurs de γ_α et de γ_β diffèrent moins l'une de l'autre qu'autrefois. C'est pourquoi on doit attribuer une plus grande probabilité à la nouvelle valeur obtenue

$$\underline{T_0 = 273,149^\circ \text{K}},$$

qu'à la valeur indiquée précédemment (*) $T_0 = 273,158^\circ \text{K}$.

TABLEAU I.

Second coefficient du viriel B de l'équation d'état
 $p v = A + B p + C p^2 + \dots$ ($p v = 1$ à 0°C et 1 atm)
et formules pour le calcul des valeurs limites γ .

$$B = A + b T + \frac{c}{T} + \frac{e}{T^3} \quad (T_0 = 273,16^\circ \text{K});$$

$$\gamma_\alpha = \alpha - p_\alpha K_\alpha; \quad K_\alpha = \frac{(k_{100} - k_0)(1 + 100\alpha)}{100(1 - k_0)};$$

$$\gamma_\beta = \beta - p_\beta K_\beta; \quad K_\beta = \frac{(k_{100} - k_0)(1 + 100\beta)}{100(1 - k_0)}.$$

	He.	H ₂ .	N ₂ .	Ne.	O ₂ .
Pour une unité de pression $p = 1 \text{ atm}$.					
$\alpha \cdot 10^3 \dots$	0,638 73	1,274 93	2,642 62	0,953 71	-
$b \cdot 10^6 \dots$	-0,257 57	-0,637 41	-0,638 45	-0,274 34	-
$c \dots \dots$	-0,011 451	-0,129 869	-0,777 795	0,110 184	-
$e \dots \dots$	-1,668 16	-15,056 11	-1977,335	-39,708 0	-
$B_0 \cdot 10^3 \dots$	52,6	62,5	-47,6	47,4	-99,0 (*)
$B_{100} \cdot 10^5 \dots$	51,2	68,9	28,2	55,5	-15,9 (*)
Pour une unité de pression $p = 1 \text{ m Hg}$.					
$k_0 \cdot 10^3 \dots$	69,3	82,2	-62,7	62,3	-130,3
$k_{100} \cdot 10^3 \dots$	67,4	90,6	37,1	73,1	-20,9
$K_\alpha \cdot 10^7 \dots$	-27,3	-21,7	+122,7	-12,0	-
$K_\beta \cdot 10^7 \dots$	-2,6	+11,5	+136,3	+14,7	-

(*) Valeur de B de l'équation d'état.

(*) H. MOSER et J. OTTO, *Procès-Verbaux des Séances Com. Int. des Poids et Mesures*, 1952, XXIII-B, p. T 57.

TABLEAU II.

Résumé des valeurs de $\frac{P_b}{P_a}$.

Gaz.	$\frac{P_b}{P_a}$			Cragoe. (4)	Van Dijk. (5)
	(1)	(2)	(3)		
	Otto.				
	(6) $\frac{P_b}{P_a} = \frac{0,533\ 10}{0,390\ 24} = 1,366\ 082.$				
He.....	1,366 066	1,366 039		1,366 067	
H ₂	1,366 059	1,366 083		1,366 056	
N ₂	1,366 025	1,366 043		1,366 031	
O ₂	1,366 077	-		1,366 076	
Moyenne.....	1,366 057	1,366 055	1,366 036	1,366 057	1,366 056
	(6) $\frac{P_b}{P_a} = \frac{0,727\ 17}{0,533\ 10} = 1,364\ 041.$				
He.....	1,364 092	1,364 091		1,364 093	
H ₂	1,364 096	1,364 127		1,364 094	
N ₂	1,364 091	1,364 080		1,364 100	
O ₂	1,364 057	-		1,364 081	
Moyenne.....	1,364 084	1,364 099	1,364 091	1,364 092	1,364 096
	(6) $\frac{P_b}{P_a} = \frac{0,994\ 50}{0,727\ 17} = 1,367\ 631.$				
He.....	1,367 606	1,367 570		1,367 608	
H ₂	1,367 626	1,367 604		1,367 624	
N ₂	1,367 664	1,367 624		1,367 675	
O ₂	1,367 629	-		1,367 651	
Ne.....	1,367 644	-		1,367 650	
Moyenne.....	1,367 634	1,367 599	1,367 621	1,367 642	1,367 621

TABEAU II.

Résumé des valeurs de $\frac{P_b}{P_a}$ (suite).

Gaz.	$\frac{P_b}{P_a}$			Cragoe. (4)	Van Dijk. (5)
	(1)	(2)	(3)		
	(6)	$\frac{P_b}{P_a} = \frac{1,362\ 80}{0,994\ 50} = 1,370\ 337.$			
He.....		1,370 335			
H ₂		1,370 352			
N ₂		1,370 408			
Ne.....		1,370 368			
Moyenne.....		1,370 366	1,370 366		1,370 368

(1) Calculé à partir des valeurs des volumes V_a et V_b de l'isotherme 0°C à l'aide de la formule

$$\frac{P_b}{P_a} = \frac{V_a - V_b}{V_b - k_0 V_0}$$

(2) Calculé à partir des valeurs α et β d'après la formule

$$\frac{P_b}{P_a} = \frac{\frac{1 + 100\alpha}{P_a} - k_{100}}{\frac{1 + 100\beta}{P_b} - k_{100}}$$

(3) Moyenne générale des valeurs individuelles tirées des colonnes (1) et (2).

(4) D'après Cragoe (*Temperature*, 1941, p. 121), selon la méthode indiquée en (1).

(5) D'après une communication privée de van Dijk, 1952.

(6) Calculé d'après la distance observée des pointes du manomètre.

TABLEAU III.

Nouveau calcul des valeurs de β .

$$1 + \beta t = \frac{\left(\frac{p_b}{p_a}\right)_{\text{calc}}}{\left(\frac{p_b}{p_a}\right)_{\text{obs}}} (1 + \beta' t).$$

Échelon de pression.	$\left(\frac{p_b}{p_a}\right)_{\text{calc}}$	$\left(\frac{p_b}{p_a}\right)_{\text{obs}}$	$\frac{\left(\frac{p_b}{p_a}\right)_{\text{calc}}}{\left(\frac{p_b}{p_a}\right)_{\text{obs}}}$
(1).....	1,366 056	1,366 082	0,999 981
(2).....	1,364 091	1,364 041	1,000 037
(3).....	1,367 621	1,367 631	0,999 993
(4).....	1,370 366	1,370 337	1,000 021
Échelon de pression.		$1 + 100 \beta'$	$1 + 100 \beta$

Hélium.

(1).....	1,366 11	1,366 084
(2).....	1,366 02	1,366 071
(3).....	1,366 11	1,366 100
(4).....	1,366 04	1,366 069

Hydrogène.

(1).....	1,366 17	1,366 144
(2).....	1,366 13	1,366 181
(3).....	1,366 20	1,366 190
(4).....	1,366 21	1,366 239

Azote.

(1).....	1,366 73	1,366 704
(2).....	1,366 71	1,366 761
(3).....	1,367 09	1,367 080
(4).....	1,367 40	1,367 429

Néon.

(4).....	1,366 234	1,366 263
----------	-----------	-----------

TABLEAU IV.

Résumé des valeurs γ obtenues par différentes méthodes de calcul, d'après les mesures de la *Physikalisch-Technische Reichsanstalt* en 1929-1930.

P_a (m Hg).	$\gamma_2 \cdot 10^7$ (1)	$\gamma_2 \cdot 10^7$ (2)	$\gamma_2 \cdot 10^7$ (3)	$\gamma_2 \cdot 10^7$ (4)	$\gamma_3 \cdot 10^7$ (5)
<i>Hélium.</i>					
0,390.....	36 608	36 612	36 609,5	36 607,6	36 609,4
0,533.....	36 609	36 603	36 608,5	36 608,5	36 608,5
0,727.....	36 607	36 613	36 612,0	36 606,8	36 611,9
0,994.....	36 606	36 607	36 609,6	36 606,1	36 609,5
Moyenne....	36 607,2	36 608,6	36 610,0	36 607,0	36 609,9

<i>Hydrogène.</i>					
0,390.....	36 612	36 612	36 609,8	36 612,5	36 609,9
0,533.....	36 615	36 607	36 611,9	36 615,6	36 612,0
0,727.....	36 609	36 611	36 610,5	36 608,8	36 610,6
0,994.....	36 610	36 609	36 612,3	36 610,6	36 612,4
Moyenne....	36 611,0	36 609,6	36 611,3	36 611,4	36 611,5

<i>Azote.</i>					
0,390.....	36 616	36 619	36 616,8	36 616,1	36 617,2
0,533.....	36 602	36 598	36 602,9	36 602,6	36 603,4
0,727.....	36 609	36 609	36 608,1	36 609,8	36 608,9
0,994.....	36 611	36 603	36 606,3	36 612,0	36 607,4
Moyenne....	36 609,3	36 605,9	36 607,6	36 610,1	36 608,4

<i>Néon.</i>					
0,994.....	36 612,2	36 608,6	36 611,5	36 612,8	36 611,7

TABLEAU IV (suite).

	Moyenne de chaque colonne.				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	36 609,5	36 608,1	36 609,9	36 609,9	36 610,2
	(1) et (2).		(1) et (3).		(4) et (5).
Moyenne des colonnes...	36 608,8		36 609,7		36 610,0
T ₀	273,158°K		273,152°K		273,149°K

(1) et (2) Valeurs originales d'après Heuse et Otto (*Ann. Physik*, (5), t. 2, 1929, p. 1027 et (5), t. 4, 1930, p. 779). Lors de la formation des moyennes, chaque valeur individuelle a été affectée d'un poids proportionnel à la pression initiale p_0 .

(3) Valeurs de la colonne (2) calculées d'après les rapports de pression obtenus à partir des valeurs des volumes et des coefficients de dilatation et d'augmentation de pression.

(4) et (5) Valeurs des colonnes (1) et (2) calculées d'après les valeurs de k_0 et k_{100} des isothermes de la P. T. R. obtenues par la méthode des moindres carrés, celles de la colonne (2) étant calculées en tenant compte en outre des nouveaux rapports de pression.

ANNEXE T 7.

Central Inspection Institute of Weights and Measures (Japon).

PROPOSITIONS PRÉSENTÉES AU COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE

1. *Température absolue du point de glace T_0 , et du point triple de l'eau pure T_{1r} .* — Les résultats annoncés tout récemment par le Massachusetts Institute of Technology ne satisfont pas entièrement notre attente. On pourra fixer plus tard la valeur de T_0 (ou de T_{1r}), mais pour le moment nous pensons qu'il est nécessaire d'échanger et de vérifier les rapports et les thèses sur ce sujet, ou de faire de nouvelles expériences. Ainsi, dans les six années à venir, les laboratoires de chaque pays doivent s'efforcer de déterminer la meilleure valeur pour ce point.

2. *Échelle thermodynamique absolue de température, fondée sur un seul point fixe réalisable.* — En cas d'adoption de l'échelle thermodynamique absolue de température fondée sur un seul point fixe réalisable, les différences de température dans cette échelle doivent concorder avec les différences de température dans l'échelle thermodynamique Celsius. Présentement, au point de vue de la précision réalisable, l'échelle thermodynamique absolue de température fondée sur un seul point fixe réalisable est inférieure à l'échelle Celsius. C'est pourquoi, avant d'adopter l'échelle thermodynamique absolue de température fondée sur un seul point fixe réalisable, il faut envisager les moyens d'atteindre dans cette échelle une précision égale ou supérieure à celle obtenue dans l'échelle Celsius utilisée depuis longtemps. Étant déterminée ainsi, cette nouvelle échelle ne nécessite pas la

notation G pour la distinguer des autres et la notation K utilisée jusqu'ici pour l'échelle Kelvin doit lui être appliquée.

3. *Projet de comparaison internationale de l'intervalle fondamental de l'échelle de température, par la circulation de thermomètres à résistance de platine.* — Nous sommes entièrement d'accord sur ce projet, et nous désirons y participer avec le laboratoire du Professeur Oishi (Institute of Technology, Tokyo). Cependant, il nous faut encore le temps d'effectuer les préparatifs nécessaires; aussi il serait souhaitable que l'on nous envoie les thermomètres à résistance de platine en fin de circulation.

4. *Projet de comparaison internationale de l'échelle pyrométrique par échange de lampes à ruban de tungstène.* — Nous approuvons le projet annoncé par la lettre du Bureau International des Poids et Mesures du 27 juin 1953 et nous avons l'intention d'y participer. Vu les circonstances dans notre pays, nous proposons ce qui suit :

- a. Date de mise en vigueur : automne 1955.
- b. Domaine de la température de brillance : 1000-1800° C.
- c. Système optique : verre rouge (longueur d'onde effective de la lumière : environ 0,65 μ).

Nous pourrions envoyer au B. I. P. M. deux lampes étalonnées par notre laboratoire suivant les conditions ci-dessus. .

ANNEXE T 8.

Bureau International des Poids et Mesures.

SUR LA NOTE DE U. STILLE :
QUELQUES REMARQUES DE PRINCIPE
SUR LA DÉSIGNATION
DES ÉCHELLES DE TEMPÉRATURE (1)

Par J. TERRIEN.

Mr. U. STILLE attire l'attention sur la multiplicité des échelles de température et sur l'inconvénient de désigner sous le même nom de degré Celsius le degré de l'échelle thermodynamique et le degré de l'Échelle Internationale. Il demande en conséquence que l'on convienne d'un nom particulier pour chaque échelle, condition nécessaire pour que soient évités des malentendus.

Il me semble difficile de caractériser une échelle de température par un seul nom. En effet, une telle échelle est définie par deux données : 1^o le choix d'une propriété physique variable avec la température; 2^o le choix de la valeur numérique attribuée à deux points fixes. Le plus simple serait donc de spécifier ces deux données par deux qualificatifs. Donnons quelques exemples :

Première donnée : propriété physique utilisée.

a1. Dilatation d'un gaz parfait, ou rendement d'un cycle de Carnot, ou toute autre propriété équivalente : toute échelle ainsi définie serait dite *thermodynamique*.

b1. Dilatation de l'hydrogène dans des conditions spécifiées : cette échelle a déjà été appelée *normale*.

(1) *Procès-Verbaux du Comité International des Poids et Mesures*, 2^e série, t. XXIII-A, 1952, p. 170.

Deuxième donnée : points fondamentaux.

a2. On attribue aux points de solidification et d'ébullition de l'eau les valeurs 0 et 100 : l'échelle est dite *Celsius*.

b2. On attribue au zéro absolu et au point de solidification de l'eau les valeurs 0 et 273,1... : l'échelle pourrait être dite *Giauque*.

c2. On attribue au zéro absolu la valeur 0 et à l'intervalle entre les points de solidification et d'ébullition de l'eau la valeur 100 : l'échelle pourrait être dite *Kelvin*.

Dans le cas de l'Échelle Internationale, dont la définition est exposée dans un texte officiel, son nom suffit pour la désigner sans ambiguïté, mais il faudrait éviter la notation abrégée °C, et s'astreindre à écrire °C (Int. 1948); si à l'avenir l'on étendait l'Échelle Internationale vers des températures très basses, et que l'on veuille éviter des nombres négatifs, des notations telles que °K (Int. ...) pourraient être adoptées. Cette façon de faire équivaldrait à désigner par (Int. ...) la propriété physique ou l'ensemble de quelques propriétés physiques servant à établir l'échelle, et par le symbole C ou K la deuxième convention nécessaire, celle qui fixe la valeur des points fondamentaux.

Nous proposerions volontiers les abréviations suivantes :

- ° C pour les échelles Celsius;
- ° K pour les échelles Kelvin;
- ° G pour les échelles Giauque.

Les températures seraient exprimées alors de la façon suivante, par exemple :

- | | |
|-----------------|-----------------------|
| ° K (Int. 1948) | ° K (thermodynamique) |
| ° C (Int. 1948) | ° C (thermodynamique) |
| | ° G (thermodynamique) |

(Pour une désignation grossièrement approchée, les notations °C et °K suffisent.)

Il semble que cette façon de procéder soit de nature à satisfaire assez simplement les exigences du langage scientifique.

ANNEXE T 9.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Allemagne).

PROPOSITION
EN VUE D'UNE DÉSIGNATION SANS ÉQUIVOQUE
DES GRANDEURS ET DES UNITÉS
DE TEMPÉRATURE
DANS DIFFÉRENTES ÉCHELLES
DE TEMPÉRATURE

Par H. MOSER.

(Traduction.)

Sous le titre « Quelques remarques de principe sur la désignation des échelles de température », U. Stille ⁽¹⁾ a attiré l'attention sur les différences de principe des échelles de température existantes, et sur la nécessité de définir d'une manière non équivoque les différentes grandeurs de température et leurs unités.

Lorsqu'on se penche sur ce problème, il semble intéressant de se limiter au plus petit nombre possible d'échelles de température et aux désignations °K et °C, qui sont les plus usitées. Ce but peut être atteint si l'on fait la remarque suivante : « Par la notion de température Kelvin et Celsius, et par les notations

⁽¹⁾ *Procès-Verbaux du Comité International des Poids et Mesures*, 2^e série, t. XXIII-A, 1952, p. 170.

de degré de température °K et °C on n'avance rien sur l'échelle de température elle-même, mais on exprime uniquement quelque chose sur le point zéro de cette échelle ».

Dans cette hypothèse on peut faire les propositions pratiques suivantes :

1. *Échelles TIT et TIP.* — On a besoin d'au moins deux échelles internationales de température fondamentales différentes, une thermodynamique (théorique) et une pratique. Actuellement on a défini plusieurs échelles thermodynamiques et une échelle pratique internationale de température. Parmi celles-ci, seule la dernière a été désignée par Échelle « Internationale ». Pour simplifier il semble utile de se limiter à *une* seule des échelles thermodynamiques précédentes, par exemple à l'échelle thermodynamique absolue à un seul point fixe, et de la désigner par :

« Échelle Internationale Thermodynamique de Température 1954 »
en abrégé : Échelle TIT 1954 ⁽²⁾.

La possibilité de modifications futures doit être prévue par l'addition d'un millésime, ainsi qu'il a déjà été fait pour l'Échelle Internationale de Température de 1948. Celle-ci, par suite de la définition d'une Échelle TIT, devrait être nommée :

« Échelle Internationale Pratique de Température 1954 »
en abrégé : Échelle TIP 1954 ⁽³⁾.

Nous nous limitons ainsi à deux échelles de température fondamentales différentes, pour les deux grandeurs fondamentales différentes : « Température thermodynamique » et « Température pratique ». On peut proposer les désignations suivantes pour les grandeurs et les degrés de température dans les deux échelles.

	Échelle TIT 1954.	Échelle TIP 1954.
Grandeur	{ T = temp. thermodyn. Kelvin	t = temp. pratique Celsius
Degré	° K (TIT 1954)	° C (TIP 1954)

⁽²⁾ TIT = « Température Internationale Thermodynamique »,
= « Temperature International Thermodynamical ».

⁽³⁾ TIP = « Température Internationale Pratique »,
= « Temperature International Practical ».

2. *Passage de la température Kelvin à la température Celsius.* — Les Échelles TIT et TIP étant fondamentalement différentes, il n'est pas possible de donner une relation mathématique entre T et t. La conversion d'une température Kelvin en température Celsius et inversement est cependant nécessaire. Elle ne peut être effectuée exactement qu'à l'intérieur de la même échelle. Posons

$$T_0 = 273,15 \text{ } ^\circ\text{K (TIT 1954)} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Température} \\ \text{thermodynamique Kelvin} \\ \text{du point de fusion de la glace,} \end{array} \right.$$

et

$$t_0 = 273,15 \text{ } ^\circ\text{C (TIP 1954)} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Valeur, changée de signe,} \\ \text{de la température pratique Celsius} \\ \text{du zéro absolu;} \end{array} \right.$$

nous pouvons alors déduire de T et t, par une simple translation d'échelle, les deux nouvelles grandeurs θ et Θ suivantes :

$$T - T_0 = \theta = \text{Température thermodynamique Celsius en } ^\circ\text{C (TIT 1954)},$$

$$t + t_0 \text{ } ^{(*)} = \Theta = \text{Température pratique Kelvin } ^{(*)} \text{ en } ^\circ\text{K (TIP 1954)}.$$

Comme par ce procédé on n'entreprend aucun changement fondamental d'échelle, mais seulement un changement d'origine (la grandeur « degré de température » reste inchangée), il n'apparaît pas utile d'adjoindre aux grandeurs θ et Θ deux nouvelles échelles de température. Il semble intéressant de ne parler que de deux nouvelles grandeurs obtenues par changement de l'origine.

(¹) D'un point de vue purement théorique, il serait plus logique d'écrire $t - t_0$ et de poser

$$t_0 = -273,15 \text{ } ^\circ\text{C (TIP 1954)} = \left\{ \begin{array}{l} \text{température pratique Celsius} \\ \text{du zéro absolu.} \end{array} \right.$$

Cela risquerait d'amener pratiquement quelques erreurs de signe.

(²) L'introduction de cette température a déjà été proposée par H. F. STIMSON (*Procès-Verbaux des séances du Comité Consultatif de Thermométrie*, 1952, p. T 124).

3. *Résumé systématique :*

Échelle.....	TIT 1954.		TIP 1954.	
	Temp. thermodynam. Kelvin.	Temp. thermodynam. Celsius.	Temp. pratique Celsius.	Temp. pratique Kelvin.
Grandeur....				
Symbole...	T	θ	t	Θ
Relation...	$T = \theta + T_0$	$\theta = T - T_0$	$t = \Theta - t_0$	$\Theta = t + t_0$
Degré.....	° K (TIT 1954)	° C (TIT 1954)	° C (TIP 1954)	° K (TIP 1954)

On montre ainsi la possibilité d'employer là où cela apparaît nécessaire, des désignations d'unités et de température non équivoques.

ANNEXE T 10.

National Bureau of Standards (États-Unis d'Amérique).

COMMENTAIRES SUR LA NOMENCLATURE
DES ÉCHELLES DE TEMPÉRATURE

Par H. F. STIMSON.

(Traduction.)

Pour être utile, la désignation des échelles de température devrait être simple. D'après l'usage établi, les symboles °C et °K désignent maintenant les températures mesurées respectivement à partir du point de glace et à partir du zéro absolu. Un autre usage, peut-être moins répandu que le précédent, est de désigner par °C la température dans l'échelle pratique (Int. 1948) et par °K la température dans l'échelle thermodynamique. Ce dernier usage peut être encouragé. Il peut arriver, en traitant de questions théoriques par exemple, qu'il soit nécessaire et commode de se référer à des échelles particulières, mais, dans ces cas particuliers, on peut désigner les échelles par des noms ou des abréviations qui les spécifient clairement. Ce qui est important, c'est d'éviter toute ambiguïté.

M. Terrien et le Docteur Moser ont commenté la Note du Docteur Stille sur *Quelques remarques de principe sur la désignation des échelles de température*. L'un et l'autre ont proposé le symbole °G pour les températures dans la nouvelle échelle thermodynamique à un seul point fixe; probablement parce que ce symbole honorerait Giauque. L'opinion générale des savants des États-Unis, y compris le Professeur Giauque, semble être que ce symbole ne serait pas nécessaire ni désirable et qu'il

introduirait quelque confusion. Le symbole actuel °K désigne des températures dont les valeurs numériques sont presque identiques aux valeurs qui seraient désignées par le symbole proposé °G. Nous aurions alors la confusion inutile de deux désignations pour des températures de même grandeur.

La nouvelle échelle thermodynamique absolue est en réalité une définition de l'échelle thermodynamique destinée à remplacer l'ancienne échelle Kelvin selon le moyen qui a été précisément proposé par Kelvin, il y a de cela un siècle, dans *Phil. Trans.*, t. 144, 1854, p. 321. Lorsqu'elle sera adoptée, elle sera la première échelle Kelvin dont un point fixe aura une valeur numérique adoptée par accord international.

Dans sa proposition, Kelvin dit que, pour fixer l'unité ou le degré pour la mesure numérique de la température, nous sommes libres de choisir, ou bien un nombre pour le point de glace, ou bien un nombre pour la différence entre le point de glace et le point de vapeur, par exemple 100. Il dit ensuite : « La deuxième méthode est la seule qui puisse convenir dans l'état actuel de la science pour tenir compte de la nécessité de conserver une relation avec la thermométrie pratique en usage jusqu'à présent, mais la première est préférable en théorie et devra être finalement adoptée. » Cette citation convient aujourd'hui si parfaitement que, par respect pour Kelvin, nous ne pouvons mieux faire que de continuer à l'honorer par le symbole °K.

(20 mai 1954.)

ANNEXE T 11.

National Bureau of Standards (États-Unis d'Amérique).

RAPPORT SUR LES COMPARAISONS
DE L'INTERVALLE FONDAMENTAL
EFFECTUÉES AVEC LES THERMOMÈTRES
A RÉSISTANCE ÉTALONS R 10 ET S 167

Par H. F. STIMSON,

(Traduction.)

Le Comité Consultatif de Thermométrie a décidé en juin 1952 que le thermomètre désigné par R10, construit au National Physical Laboratory et donné au Bureau International des Poids et Mesures en 1950, serait utilisé pour contrôler l'identité de l'intervalle fondamental 0-100° C réalisé dans les divers Laboratoires nationaux. On espérait que des mesures pourraient être faites au National Bureau of Standards et au Massachusetts Institute of Technology avec ce thermomètre et avec un autre de fabrication américaine, et que ces deux thermomètres seraient retournés ensuite pour des mesures dans les laboratoires d'Europe. Le thermomètre R10 a été transporté par avion d'Angleterre à Washington entre le 4 et le 5 juillet 1952. Un autre thermomètre, désigné par S167, après avoir joué le rôle d'étalon de travail au N. B. S., a été choisi pour être joint au thermomètre anglais. Le thermomètre S167 avait été fait par C. H. Meyers qui a travaillé à l'amélioration de la construction des thermomètres à résistance de platine pendant de nombreuses années au N. B. S.

Ces deux thermomètres ont été étalonnés au N. B. S. dans la glace et la vapeur d'eau à cinq reprises différentes, en août 1952, au moyen d'un pont de Mueller de la Leeds and Northrup Company. Ils ont été ensuite transportés en automobile au M. I. T. où ils furent étalonnés le 20 août 1952 au moyen d'un pont de Mueller construit par la Eppley Company. Ils furent ensuite étalonnés à nouveau au N. B. S. le 23 août après leur retour en automobile. Pendant les trois semaines suivantes, le manomètre utilisé pour mesurer la pression de la vapeur a été démonté, examiné, vidé de son mercure, et remonté. Le mercure extrait a été analysé à la Division de Chimie du N. B. S., qui a trouvé une quantité d'impuretés inférieure à deux ou trois millièmes, donc négligeable. Le 15 septembre les thermomètres ont été réétalonnés après un nouveau remplissage du manomètre. Après quoi, l'eau de la chaudière a été extraite afin de contrôler sa pureté; sa conductivité a montré qu'elle était encore suffisamment pure. Elle a été remplacée par de l'eau fraîchement distillée et purgée d'air, et un dernier étalonnage a été fait le 17 septembre 1952. Le 18 septembre ces thermomètres ont été remis au Docteur Crittenden afin qu'il les transporte en Europe par bateau.

Avant les mesures destinées à la détermination du coefficient α , quelques essais ont été faits pour savoir à quelle profondeur ces thermomètres devaient être immergés afin que la résistance du thermomètre ne soit pas affectée par le transfert de chaleur venant de la salle. On a constitué un bain de glace avec une petite quantité de glace râpée et d'eau au fond d'un vase à vide dans lequel la bobine du thermomètre plongeait de quelques centimètres. Après mesure de la résistance, on a ajouté de l'eau et de la glace autour de la tige du thermomètre afin d'augmenter la profondeur d'immersion sans changer la position de la bobine dans la glace située tout près d'elle. La profondeur d'immersion a ainsi été augmentée graduellement jusqu'à ce qu'une nouvelle augmentation n'introduise plus de changement de la résistance. Des essais analogues ont été faits par immersion progressive dans le bain de vapeur. Lorsque les résultats de ces expériences sont traduits par une courbe en coordonnées semi-logarithmiques, ils montrent qu'une immersion de 26 cm est nécessaire dans les deux cas pour que l'effet de la tige ne dépasse pas $10 \mu\Omega$ avec le thermomètre R10; pour le thermomètre S167, la profondeur correspondante est inférieure à 12 cm (*fig. 1*).

Dans nos mesures, les thermomètres ont été immergés à environ 33 cm dans le bain de vapeur et dans l'ampoule à point triple, et il ne doit pas subsister d'erreurs dues à une immersion insuffisante.

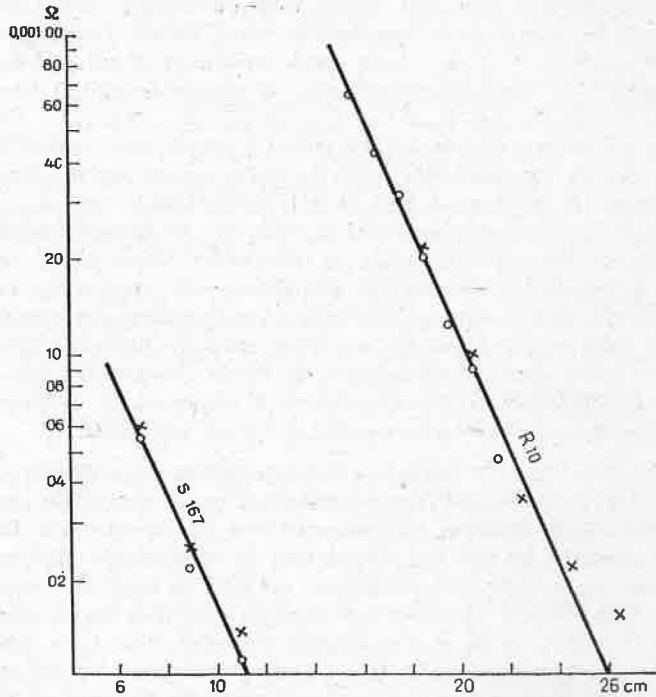


Fig. 1. — Expériences d'immersion dans la glace et la vapeur.

o Glace (30 juillet 1952);

x Vapeur (6 août 1952).

En abscisses : Profondeur d'immersion.

En ordonnées : Variation de la résistance.

Pendant les mesures de la résistance d'un thermomètre dans un bain, le courant électrique chauffe le fil de platine à une température supérieure à celle du bain, d'une quantité proportionnelle à la puissance dégagée dans la bobine. Dans cette discussion, les résistances R_0 et R_{100} sont les résistances lorsque le

platine du thermomètre est à 0° et 100° C, et non pas les résistances mesurées lorsque la paroi extérieure du tube thermométrique est à 0° et 100° C. La résistance de la bobine de platine à la température d'un point fixe peut être obtenue par des mesures avec deux intensités de courant différentes et une extrapolation à intensité nulle. On a utilisé des courants continus dont l'intensité (1,5 et 2,5 mA) était contrôlée par une méthode potentiométrique, et le rapport connu avec une exactitude d'un millième.

A chaque mesure de résistance et à chaque température, trois séries de 10 lectures étaient faites : d'abord 10 lectures à 1,5 mA, puis 10 lectures à 2,5 mA après une attente de quelques minutes pour la stabilisation des températures, enfin 10 nouvelles lectures à 1,5 mA après nouvelle stabilisation. Dans chaque série, la moitié des 10 lectures était faite avec le commutateur du pont dans la position normale (n) et l'autre moitié dans la position inverse (i) dans l'ordre suivant n-i-i-n-n-i-i-n-n-i. D'après ces mesures, un courant de 2 mA augmente la résistance du thermomètre R10 d'environ 460 $\mu\Omega$ et celle du thermomètre S167 d'environ 125 $\mu\Omega$ par rapport à un courant nul.

Le coefficient α est, par définition, $\frac{R_{100} - R_0}{100 R_0}$; lorsqu'un courant de mesure (par exemple 2 mA) parcourt la bobine du thermomètre, les résistances prennent des valeurs plus élevées

$$R_0 + \Delta R_0 \quad \text{et} \quad R_{100} + \Delta R_{100}.$$

Si nous appelons α_Δ le coefficient apparent pour ce courant de mesure, alors

$$\alpha_\Delta = \frac{(R_{100} + \Delta R_{100}) - (R_0 + \Delta R_0)}{100(R_0 + \Delta R_0)}.$$

Cette expression peut s'écrire

$$\begin{aligned} \alpha_\Delta &= \frac{R_{100} - R_0}{100 R_0} + \frac{\Delta R_{100} - \left(\frac{R_{100}}{R_0}\right) \Delta R_0}{100(R_0 + \Delta R_0)} \\ &= \alpha + \frac{\Delta R_{100} - \left(\frac{R_{100}}{R_0}\right) \Delta R_0}{100(R_0 + \Delta R_0)}. \end{aligned}$$

Avec un courant donné de mesure, la puissance dissipée dans une bobine est proportionnelle à sa résistance, et à 100° C la

puissance dissipée est plus grande qu'à 0° C dans le rapport $\frac{R_{100}}{R_0}$.

A 100° C, cependant, la conductivité thermique de l'air est plus grande qu'à 0° C de 30 %, et celle du pyrex de 13,5 %. Dans le thermomètre S167, 15 % de la chute de température entre le platine et l'extérieur s'effectuent dans le verre du tube de pyrex. La chute correspondante dans le verre du thermomètre R10 est probablement inférieure à 5 % de la chute totale. Bien que le rayonnement du platine soit plus grand à 100° C qu'à 0° C, sa contribution au transfert de chaleur est sans doute inférieure à 1 %. La conduction de chaleur dans le croisillon de mica du thermomètre S167 est probablement insignifiante. Le transfert de chaleur entre le platine et l'extérieur du tube thermométrique a donc lieu principalement par l'air et nous pouvons probablement admettre, avec une erreur inférieure à 1 ou 2 %, la valeur 1,29 pour le rapport des quantités de chaleur perdue à 100° C et à 0° C. Nous pouvons donc prendre

$$\Delta R_{100} = \frac{\Delta R_0 \left(\frac{R_{100}}{R_0} \right)}{1,29}.$$

Comme $\frac{R_{100}}{R_0} = 1,392$, nous pouvons écrire avec l'exactitude nécessaire

$$\begin{aligned} \alpha_{\Delta} &= \alpha + \frac{1,392 \Delta R_0 \left(\frac{1}{1,29} - 1 \right)}{100(R_0 + \Delta R_0)} \\ &= \alpha - \frac{0,313 \Delta R_0}{100 R_0} \quad \text{approximativement.} \end{aligned}$$

Avec un courant de 2 mA, on a trouvé pour ΔR_0 les valeurs de 460 $\mu\Omega$ pour R10 et 125 $\mu\Omega$ pour S167. Les valeurs correspondantes de $\alpha - \alpha_{\Delta}$ sont 53.10⁻⁹ et 15.10⁻⁹ respectivement. On comprendra mieux la signification de ces valeurs si l'on considère que 39.10⁻⁹ pour $\alpha - \alpha_{\Delta}$ équivaut à 0,001 degré pour 100 degrés; la valeur de $\alpha - \alpha_{\Delta}$ équivaut donc à environ 0,0014 deg pour R10 et 0,0004 deg pour S167 dans l'intervalle de 100 degrés. Avec un courant de 1 mA, ces valeurs seraient quatre fois plus faibles.

Un étalonnage complet du pont a été fait en mai 1952 avec interpolation des corrections au microhm, le pont étant ajustable

de 10 en 10 $\mu\Omega$. Un étalonnage de contrôle a été fait sur les bobines de 10, 20 et 30 Ω immédiatement après les mesures du 23 août; ce contrôle a été répété le 16 septembre et suivi d'un étalonnage complet les 18 et 24 septembre 1952.

D'après l'étalonnage des thermomètres, on a calculé les valeurs suivantes, en utilisant l'étalonnage du pont du 24 septembre effectué peu après l'achèvement des observations.

Thermomètre R10.

Date.	α .	$R_{100}(\Omega)$.	$R_0(\Omega)$.
1952 :			
5 août	0,003 923 074	38,024 522	27,310 436
6 »	095	549	415
7 »	068	538	460
14 »	070	619	521
15 »	080	655	520
20 » (au M. I. T.)....	072	—	—
23 »	072	705	572
15 septembre.....	003	803	577
17 »	056	922	759

Thermomètre S167.

Date.	α .	$R_{100}(\Omega)$.	$R_0(\Omega)$.
1952 :			
5 août	0,003 924 516	35,477 754	25,478 627
7 »	479	820	741
14 »	476	818	746
15 »	510	840	699
20 » (au M. I. T.)....	518	—	—
23 »	468	848	782
15 septembre.....	463	787	747
17 »	475	835	760

Ces résultats sont représentés à la même échelle pour les deux thermomètres aux figures 2 et 3. L'accord entre les déterminations du M. I. T. et celles du N. B. S. donne quelque confiance dans l'exactitude obtenue à chaque laboratoire.

Une conclusion frappante de ces résultats est que les valeurs obtenues pour la résistance du thermomètre R10 ont augmenté

d'environ 0,0035 degré dans les sept semaines qu'ont duré les expériences. L'augmentation correspondante pour le thermomètre S167 est moins frappante. La variation totale n'est que

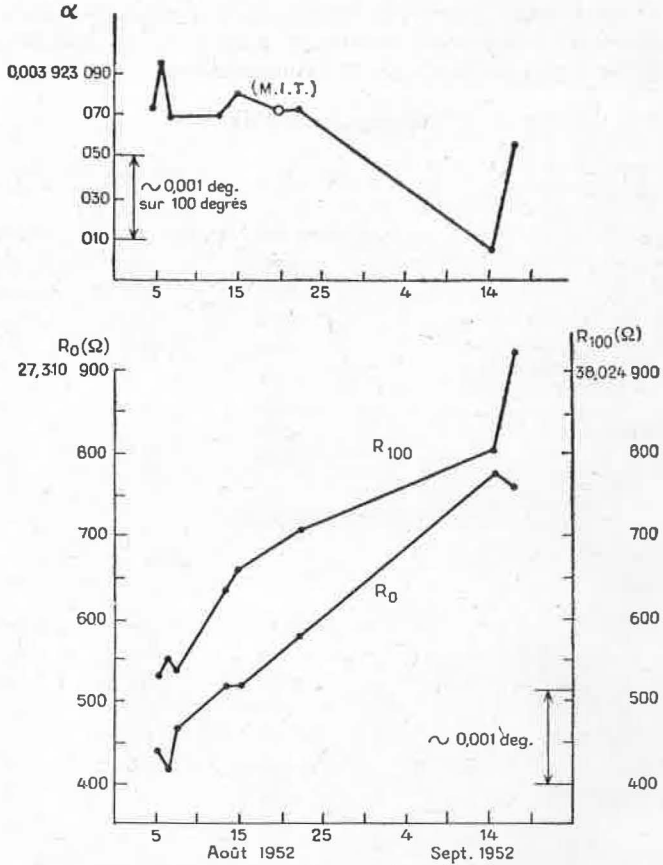


Fig. 2. — Valeurs de α , R_0 et R_{100} à diverses époques pour le thermomètre R10.

de 0,0015 degré et ceci pour les valeurs de R_0 dans les premiers 18 jours.

On pourrait se demander si l'accroissement plus grand des

valeurs de R_0 pour le thermomètre R10 peut s'expliquer par une dérive des résistances du pont. Les résultats concernant les deux thermomètres ont été obtenus dans la même heure avec le même pont. La résistance de R10, cependant, était plus grande que celle de S167 d'environ 7 %, mais il paraît peu probable que la plus grande partie de la dérive se soit produite dans la résistance de

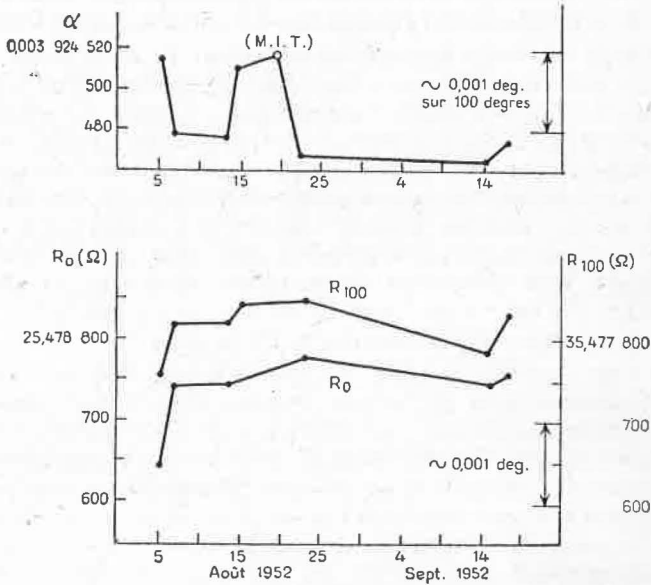


Fig. 3. — Valeurs de α , R_0 et R_{100} à diverses époques pour le thermomètre S167.

certaines bobines de faible valeur du pont sans qu'elle ait été décelée au cours des étalonnages fréquents du pont.

Un accroissement de la valeur de R_0 avec le temps a déjà été observé autrefois. Il y a quelques années, les coefficients de quatre thermomètres du N. B. S. en platine de haute pureté ont été étudiés pendant une période d'environ trois ans. Durant cette période, la valeur de R_0 de ces thermomètres a augmenté de quantités qui équivalent à des variations de température comprises entre 0,002 et 0,015 degré. Le coefficient α restait cependant à peu près constant. L'écart type d'une détermination

unique du coefficient α équivalait à environ 0,0003 degré dans l'intervalle fondamental 0-100° C. Étant donné que des tensions et des impuretés produisent les unes et les autres un abaissement du coefficient α , on en a conclu que les propriétés thermométriques du platine n'avaient pas changé. En conséquence, l'accroissement de R_0 avec le temps a été attribué à des changements de dimensions du fil de platine, par exemple une augmentation de la longueur ou une diminution du diamètre, ou les deux.

L'écart maximum des sept déterminations de α du thermomètre S167 équivalait à 0,0014 degré dans l'intervalle fondamental et l'écart type de chaque détermination équivalait à environ 0,0005 degré. Ceci est presque deux fois plus que ce que l'on attendait d'après les résultats cités ci-dessus pour des thermomètres similaires. Cette incertitude plus grande peut être attribuée soit aux thermomètres, soit aux appareils et techniques utilisés lors de l'étalonnage. Le thermomètre S167 était âgé de moins d'un an, mais d'après nos déterminations antérieures de son coefficient α il fut choisi comme le meilleur de ceux du N. B. S. pour participer aux comparaisons internationales.

L'écart maximum des huit mesures de α pour R10, celle du 15 septembre étant mise à part, équivalait à 0,0010 degré dans l'intervalle fondamental; il devient 0,0023 degré si l'on tient compte de cette dernière mesure. Nous avons soigneusement examiné et comparé tous les résultats, principalement ceux du 15 septembre, sans trouver une raison pour rejeter ces derniers. La valeur de la résistance au point de fusion de la glace à cette date, comparée à la marche des résultats antérieurs, était plus élevée, et la résistance au point d'ébullition de l'eau plus basse d'une quantité encore plus grande. L'effet de ces deux écarts est d'abaisser la valeur de α . Le manomètre ayant été démonté et remonté dans les trois semaines qui ont précédé cette détermination, on peut se demander si la valeur plus basse de R_{100} a été une conséquence de ce démontage. Il ne semble pas car le thermomètre S167, plongé dans le même bain au même moment, ne montrait guère d'abaissement de R_{100} . Nous ne trouvons aucune justification pour exclure cette détermination de notre rapport, bien que sa valeur paraisse peu probable.

Dans cet exposé des déterminations de α pour les thermomètres R10 et S167, nous avons essayé de décrire toutes les circonstances que nous pensons utiles pour une appréciation

définitive au B. I. P. M. Si nous avons oublié quelques renseignements, nous nous efforcerons de les fournir lorsqu'ils seront signalés à notre attention.

— Lorsque ces thermomètres auront achevé leur premier circuit, il serait intéressant qu'ils en fassent un second pour que leur constance soit déterminée à nouveau.

ANNEXE T 12.

National Physical Laboratory (Grande-Bretagne).

COMPARAISON INTERNATIONALE
DE LA MESURE DE L'INTERVALLE
FONDAMENTAL DE L'ÉCHELLE
DE TEMPÉRATURE AVEC LES THERMOMÈTRES
A RÉSISTANCE DE PLATINE S 167 ET R 13

(Traduction.)

Le thermomètre à résistance de platine S167 a été reçu au National Physical Laboratory en septembre 1952, provenant du National Bureau of Standards, en même temps que le thermomètre R10. Chacun de ces deux thermomètres avait été mesuré au N. B. S. et au Massachusetts Institute of Technology en août 1952. Pendant les dernières de ces mesures, R10 est devenu instable et a continué à l'être après son arrivée au N. P. L. Le thermomètre R10 a, en conséquence, été remplacé au N. P. L. par le thermomètre R13 après que ce dernier eut été soumis pendant plusieurs mois à des observations destinées à s'assurer que sa stabilité était suffisante pour les besoins de l'inter-comparaison.

Une série de mesures a été faite sur les deux thermomètres S167 et R13 pendant dix jours, du 5 au 14 janvier 1953, puis une dernière série d'observations a été effectuée le 3 février 1953. Pour les mesures au point triple de l'eau, on a utilisé des ampoules d'origines américaine et britannique et pour le point d'ébullition deux formes différentes de chaudières,

chacune étant en relation avec une atmosphère artificielle d'air maintenue pendant toute la durée d'une observation à une pression très voisine d'une atmosphère normale.

MESURE DE LA RÉSISTANCE. — Le pont de Smith n° 3 utilisé pour la mesure de la résistance est un pont à sept décades, chaque plot de la dernière correspondant à 0,0001 degré pour un thermomètre dont l'intervalle fondamental est 10 ohms. Les bobines de la première décade sont de 1000 ohms et le rapport du pont est 100:1. L'influence des résistances de contact des balais est réduite dans ce rapport et l'effet de la variation de la résistance de contact des sept balais en série est environ 0,05 de la plus petite subdivision du pont, donc négligeable. Le coefficient de température des bobines est environ $4 \cdot 10^{-6}$ par degré à 27° C. Le pont est maintenu à $27^{\circ} \text{C} \pm 0,02$, aucune correction de température n'est donc généralement nécessaire.

Un amplificateur de galvanomètre est utilisé et donne une sensibilité largement suffisante pour une précision de 0,0001 degré avec un courant thermométrique de 0,5 mA seulement. Pour équilibrer le pont on l'ajuste jusqu'à ce que l'inversion du courant dans le pont ne provoque plus de déviation du galvanomètre, ce qui élimine l'influence des forces thermoélectriques légèrement variables.

Le pont est conçu de telle sorte que les résistances des connexions soient en grande partie éliminées. L'erreur résiduelle due à la différence des résistances de connexion de deux thermomètres à l'étude n'était pas assez petite pour que son effet soit négligeable sur une mesure de résistance. On a donc pris la moyenne de deux lectures avec interversion des quatre connexions. Une analyse des résultats a montré par la suite que l'erreur sur l'intervalle fondamental n'aurait pas dépassé 0,0001 degré si les mesures avec connexion normale avaient seules été effectuées.

LE POINT TRIPLE DE L'EAU. — Trois ampoules à point triple ont été utilisées; deux avaient été préparées par le Chemical Research Laboratory, Teddington, et l'autre par le National Bureau of Standards. Ces préparations étaient conformes aux recommandations de l'Échelle Internationale de Température. Chaque observation était faite dans une ampoule dont le manteau de glace avait été fraîchement préparé. On appliquait une

correction pour tenir compte de la profondeur de la bobine thermométrique au-dessous de la surface de l'eau dans l'ampoule.

MESURE DE LA PRESSION. — On a mesuré la pression au point d'ébullition de l'eau avec un baromètre étalon secondaire du type Kew dont le tube avait un diamètre de 15 mm. Dans ce baromètre, le niveau du ménisque supérieur est observé à l'œil par la méthode qui consiste à amener dans le même plan le sommet du ménisque de mercure et les deux arêtes placées devant et derrière ce ménisque. La hauteur est lue sur une échelle divisée avec une précision de 0,005 millibar. Le ménisque inférieur, très large (environ 15 cm de diamètre), n'est pas observé et l'on suppose qu'il reprend toujours la même position par rapport au ménisque supérieur. Ce baromètre est donc un étalon secondaire que l'on étalonne par comparaison avec le baromètre primaire du laboratoire. Afin de contrôler la fidélité du baromètre, des comparaisons ont été faites avec un second instrument du même type pendant les observations du 5 au 14 janvier. L'étalonnage des deux baromètres est resté concordant à 0,002 millibar pendant cette période. Un étalonnage par rapport au baromètre primaire a été fait immédiatement après les observations du 5 au 14 janvier, et les observations du 3 février ont été faites immédiatement après cet étalonnage.

Pour se mettre à l'abri d'erreurs dues à des variations de la forme du ménisque dans la cuvette inférieure, cette cuvette était agitée violemment avant chaque jour d'observation. La hauteur du ménisque supérieur était mesurée à chaque pointé et l'on appliquait une correction de capillarité. La température de la colonne barométrique était mesurée au moyen de trois couples thermoélectriques cuivre-constantan, à trois soudures, attachés en plusieurs points du tube barométrique. Le baromètre était protégé par un écran d'aluminium à double paroi, dont la partie haute pouvait être écartée pour l'observation du ménisque supérieur. La température de la colonne était généralement uniforme à mieux que 0,04 degré.

LES CHAUDIÈRES A VAPEUR. — On a utilisé deux chaudières cylindriques en cuivre et étamées ensuite. Elles étaient munies à la partie basse d'un tube rentrant contenant la résistance de chauffage électrique en bon contact thermique avec le sommet de ce tube. Ce sommet était juste au-dessous de la surface de

l'eau. Le volume de l'une des chaudières était 2,7 fois celui de l'autre; la hauteur de la plus petite (ST) (*fig. 1*) était 47 cm et

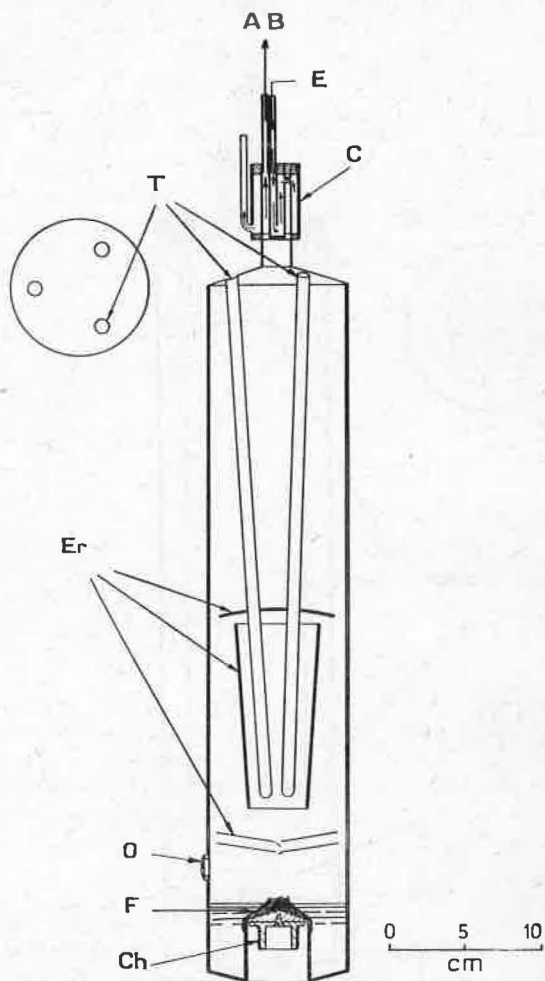


Fig. 1. — Chaudière à vapeur (S. T.).

AB, vers l'atmosphère artificielle et le baromètre; C condenseur; Ch, chauffage; E, eau; Er, écrans contre le rayonnement; F, fils d'argent; O, orifice de remplissage; T, tubes pour thermomètres (3).

son diamètre 9 cm, la hauteur de la plus grande (LT) (*fig. 2*)
était 57 cm et son diamètre 13,5 cm. Dans la paroi supérieure de

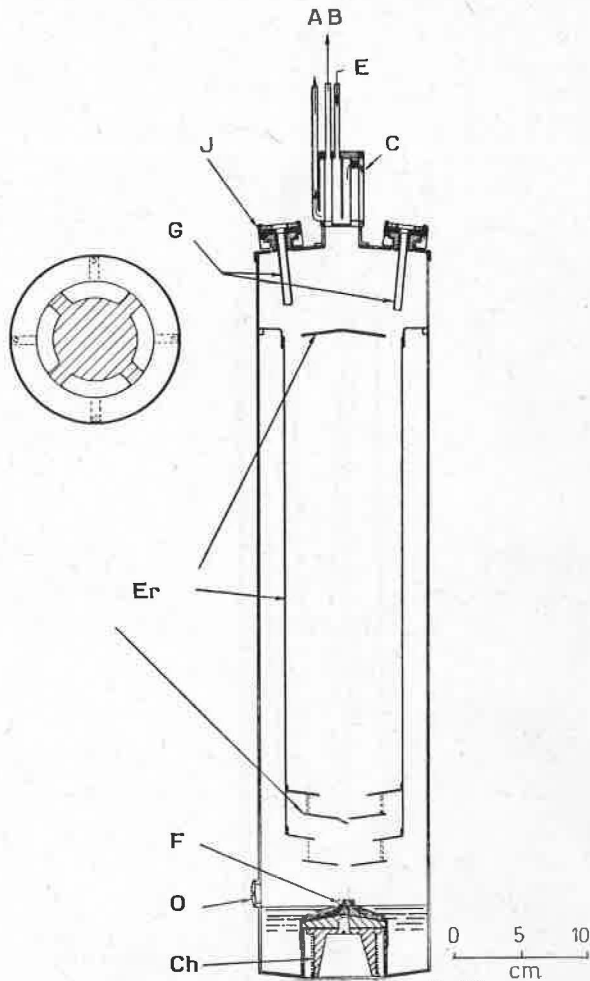


Fig. 2. — Chaudière à vapeur (L. T.).

AB, vers l'atmosphère artificielle et le baromètre; C, condenseur;
Ch, chauffage; E, eau; Er, écrans contre le rayonnement; F, fils
d'argent; G, guides des thermomètres (4); J, joint de caoutchouc;
O, orifice de remplissage.

la petite chaudière étaient scellées trois poches thermométriques en alliage cuivre-nickel (épaisseur des parois 0,15 mm, diamètre 8 mm), tandis que la paroi supérieure de la grande était simplement munie de joints en caoutchouc par lesquels les thermomètres étaient enfoncés directement dans la vapeur. Pour diminuer les pertes dues au rayonnement de la paroi extérieure, la petite chaudière était placée dans un vase de Dewar et la grande était isolée par une couche de laine de verre contenue dans un cylindre d'aluminium concentrique. Dans chacun des appareils les erreurs dues au rayonnement étaient évitées par des écrans intérieurs entourant le thermomètre.

La puissance de chauffage était 170 W pour la petite chaudière et 420 W pour la grande. Elle pouvait être changée dans un large domaine sans que les lectures thermométriques soient affectées. On s'est assuré que la profondeur d'immersion des thermomètres (30 cm environ pour le centre de la bobine thermométrique) était suffisante. Lorsqu'on a remplacé l'eau qui avait été utilisée dans la chaudière pendant au moins 100 heures d'ébullition par de l'eau fraîchement distillée, aucun changement n'a été observé.

MODE OPÉRATOIRE. — Les mesures au point triple étaient faites chaque jour. Les thermomètres étaient ensuite placés ensemble dans l'une des chaudières que l'on maintenait à l'ébullition pendant toute la série des mesures. La chaudière était en relation avec un réservoir de 90 litres par un tube de 3 mm de diamètre, dont une partie horizontale était refroidie à la glace carbonique afin d'éviter que l'humidité n'atteigne le baromètre. Le baromètre était mis en relation avec le réservoir et l'on ajustait la pression très près d'une atmosphère normale. Un observateur maintenait la pression aussi constante que possible, à environ 0,004 millibar (ce qui équivaut à 0,0001 degré), tandis qu'un second observateur lisait le pont, pendant quatre observations. Les connexions du thermomètre étaient alors inversées et l'on faisait quatre nouvelles lectures. La température du baromètre était prise au début et à la fin de chaque série de lectures. On recommençait le tout après permutation des observateurs.

RÉSULTATS. — Les résultats des mesures sont exposés dans le tableau suivant qui donne le coefficient de température α de la résistance des thermomètres pour l'intervalle de tempé-

Valeurs de R₀ et z.

Date.	R ₀ (Ω).	Chaudière LT.		Chaudière ST.	
		Observateur		Observateur	
		NPR z. 10 ³	CRB z. 10 ³	NPR z. 10 ³	CRB z. 10 ³
<i>Thermomètre S 167.</i>					
5/1/53...	-	3,924 508	-	3,924 494	-
6/1/53...	25,479 049	-	3,924 534	-	3,924 519
7/1/53...	25,479 051	3,924 506	-	3,924 495	-
8/1/53...	25,479 044	-	3,924 541	-	3,924 519
9/1/53...	25,479 068	3,924 523	-	3,924 489	-
12/1/53...	25,479 073	-	3,924 554	-	3,924 513
13/1/53...	25,479 043	3,924 514	-	3,924 490	-
14/1/53...	25,479 064	-	3,924 530	-	3,924 509
3/2/53...	25,479 067	3,924 535	3,924 529	3,924 493	3,924 482
		3,924 517	3,924 538	3,924 492	3,924 508
Moyennes.....		3,924 528		3,924 500	
		3,924 514			
<i>Thermomètre R 13.</i>					
5/1/53...	28,638 634	3,924 942	-	3,924 942	-
6/1/53...	28,638 622	-	3,924 940	-	3,924 951
7/1/53...	28,638 634	3,924 937	-	3,924 939	-
8/1/53...	28,638 644	-	3,924 957	-	3,924 951
9/1/53...	28,638 651	3,924 953	-	3,924 925	-
12/1/53...	28,638 662	-	3,924 975	-	3,924 929
13/1/53...	{ 28,638 629 28,638 625 }	3,924 944	-	3,924 926	-
14/1/53...	28,638 642	-	3,924 941	-	3,924 934
3/2/53...	28,638 662	3,924 949	3,924 961	3,924 909	3,924 925
		3,924 945	3,924 955	3,924 928	3,924 940
Moyennes.....		3,924 950		3,924 934	
		3,924 942			

rature $0-100^{\circ}\text{C}$ ($\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100 R_0}$). Les résultats sont donnés séparément pour chaque chaudière et pour l'observateur chargé du réglage du baromètre. La valeur de α étant environ $3,92 \cdot 10^{-3}$, une différence de $0,0001$ degré dans l'intervalle fondamental équivaut à une différence de $3,92 \cdot 10^{-6}$ sur α .

Il existe une différence systématique selon l'opérateur chargé des lectures barométriques, celles de l'observateur CRB conduisant à une valeur moyenne de α plus élevée d'une quantité équivalente à $0,00036$ degré. Il existe également une différence entre les résultats obtenus avec les deux chaudières, la plus grande (LT), dans laquelle les thermomètres sont en contact direct avec la vapeur, donnant des valeurs plus élevées d'une quantité équivalente à $0,0004$ degré d'après le thermomètre R13 et à $0,0007$ degré d'après S167. Ceci pourrait faire soupçonner une perte de chaleur vers le haut dans les poches thermométriques de la petite chaudière, mais aucun gradient de température n'a pu être décelé sur une distance de plusieurs centimètres, autre que celui qui s'explique par la variation de la hauteur de l'ampoule thermométrique par rapport au baromètre. Pendant l'immersion en contact direct avec la vapeur, on a observé des oscillations dans les indications des thermomètres, en particulier avec S167 dont le retard thermique était très petit. Ceci est dû probablement à des impulsions de pression provoquées par l'ébullition, dont l'effet était masqué dans la petite chaudière par l'inertie thermique des poches thermométriques. Ces oscillations équivalaient à environ $0,0002$ à $0,0003$ degré.

ANNEXE T 13.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Allemagne).

COMPARAISON INTERNATIONALE
DES
THERMOMÈTRES A RÉSISTANCE DE PLATINE
R 13 ET S 167

Ci-après sont indiqués les résultats (valeurs moyennes) des mesures effectuées en octobre 1953 sur les deux thermomètres à résistance de platine R 13 et S 167.

	R_0 (Ohm abs.)	R_{100} (Ohm abs.)	$\alpha \cdot 10^3$
R 13.....	28,638 71	39,879 21	3,924 93
S 167.....	25,479 11	35,478 50	3,924 54

Les valeurs des résistances sont extrapolées pour un courant de mesure nul. R_0 a été obtenue par des mesures au point triple de l'eau.

ANNEXE T 14.

Kamerlingh Onnes Laboratorium (Pays-Bas).

RÉSULTATS DES MESURES EFFECTUÉES
SUR LES THERMOMÈTRES
A RÉSISTANCE DE PLATINE R 13 ET S 167

(Lettre du Docteur H. Van DIJK
à M. le Directeur du Bureau International des Poids et Mesures,
16 mars 1954.)

Nous avons reçu ces thermomètres de la P. T. B. et les Docteurs J. A. Hall et C. R. Barber les ont remportés au N. P. L. le 5 février 1954.

N°	R_0 (Ω absolu).	R_{100} (Ω absolu).	$\frac{R_{100}}{R_0}$
R 13	28,638 9 ₅	39,879 2 ₄	1,392 48 ₃ \pm 0,000 005
S 167	25,479 1 ₂	35,478 5 ₃	1,392 45 ₅ \pm 0,000 005

Les résultats de R_0 représentent la moyenne des résultats obtenus au point de fusion de la glace et des résultats déduits des mesures au point triple, en supposant que la température de celui-ci est 0,0100° C.

Les résistances mesurées ont été comparées à une résistance de 10 Ω , elle-même comparée avec une résistance de 10 Ω du N. P. L. connue en ohms absolus. Les valeurs de R_0 et R_{100} se rapportent aux mesures avec un courant de 1 mA (1).

(1) Pour un courant de mesure nul, les valeurs extrapolées de R_0 sont les suivantes (cf. p. T 24) :

R 13 : 28,638 75 Ω abs.
S 167 : 25,479 07 Ω abs.

ANNEXE T 15.

National Physical Laboratory (Grande-Bretagne).

COMPARAISON INTERNATIONALE
DE LA MESURE DE L'INTERVALLE
FONDAMENTAL DE L'ÉCHELLE
DE TEMPÉRATURE AVEC LES THERMOMÈTRES
A RÉSISTANCE DE PLATINE S 167, R 13 ET 109

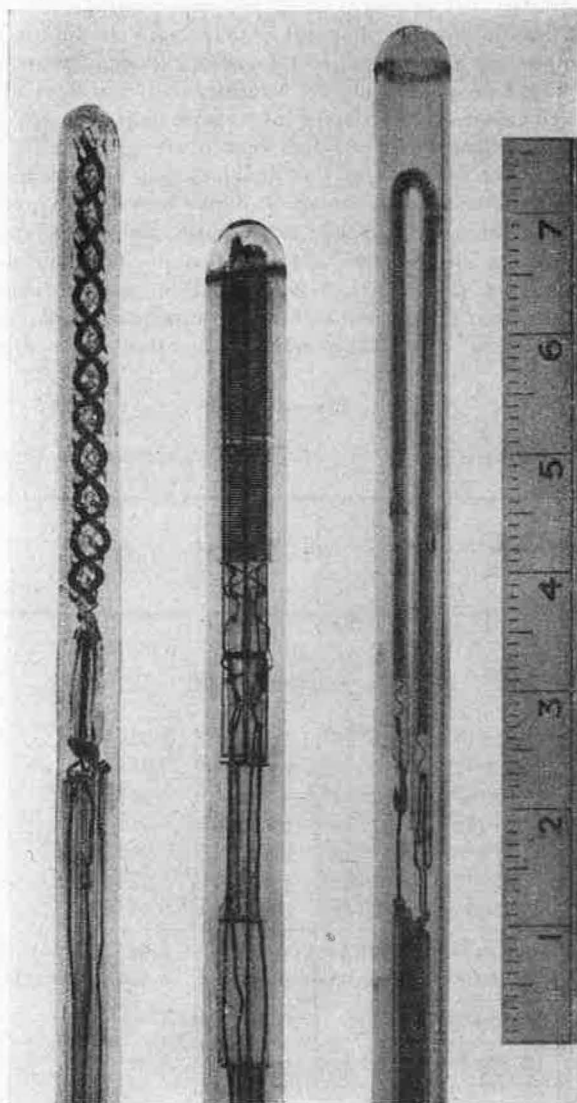
(Traduction.)

Les thermomètres à résistance de platine S 167 et R 13 ont été étudiés précédemment au National Physical Laboratory en janvier 1953 et les résultats de ces mesures ont déjà été communiqués ⁽¹⁾. Depuis, ces thermomètres ont été étalonnés à la Physikalisch-Technische Bundesanstalt et à l'Université de Leiden. Ils ont été retournés au N. P. L. le 6 février 1954.

Le thermomètre à résistance de platine n° 109 a été envoyé au N. P. L. par l'Institut de Métrologie de l'U. R. S. S. à la fin du mois de février 1954, pour être inclus dans l'intercomparaison.

Des mesures ont été faites sur les trois thermomètres pendant la période du 4 au 10 mars 1954. A cette occasion, le point d'ébullition de l'eau a été réalisé, contrairement aux mesures précédentes, en n'utilisant qu'une seule chaudière (L. T.) et avec un observateur seulement (C. R. B.).

⁽¹⁾ Cf. Annexe T 12, p. T 106.



109

S 167

R 13

Pour le reste, l'appareillage et la procédure utilisés sont ceux décrits dans le premier Rapport (1). Le pont de Smith et le baromètre type Kew ont été réétalonnés à l'époque des mesures. L'étalonnage du pont a montré une augmentation de 5 millièmes en valeur relative depuis les mesures de janvier 1953 et le baromètre a montré une variation de + 0,016 millibar.

Les résultats des mesures sont indiqués dans le tableau I. A titre de comparaison, on a également donné les valeurs moyennes obtenues en janvier 1953 par le même observateur avec la même chaudière. On observe une augmentation de la valeur de R_0 pour les deux thermomètres S167 et R13, augmentation de 0,000 13 Ω (0,001 3 deg) pour S167 et de 0,000 21 Ω (0,001 9 deg) pour R13. Les deux thermomètres montrent une diminu-

TABEAU I.

Valeurs de R_0 , R_{100} , ($R_{100} - R_0$) et α pour un courant de mesure nul.

Date.	R_0 (Ω)	R_{100} (Ω)	Intervalle fondamental (Ω)	$\alpha \cdot 10^9$.	
<i>Thermomètre S167.</i>					
4/3/54.....	25,479 184	35,478 503	9,999 319	3,924 505	
5/3/54.....	25,479 175	35,478 413	9,999 238	3,924 475	
8/3/54.....	25,479 186	35,478 448	9,999 264	3,924 483	
9/3/54.....	25,479 191	35,478 458	9,999 267	3,924 484	
	25,479 197	35,478 446	9,999 249	3,924 476	
10/3/54.....	25,479 199	35,478 461	9,999 271	3,924 485	
	25,479 191	35,478 456	9,999 265	3,924 483	
	25,479 188	35,478 455	9,999 268	3,924 485	Moyennes
	0,000 006	0,000 025	0,000 024	0,000 009	Écarts types
29/4/54.....	25,479 190				
Janv. 1953...	25,479 057	35,478 410	9,999 353	3,924 538	
	+0,000 131	+0,000 045	-0,000 085	-0,000 053	Mars 1954-Janv. 1953

TABLEAU I (*suite*).

Date.	R _n (Ω).	R _{100°} (Ω).	Intervalle fondamental (Ω).	z. 10 ³ .	
<i>Thermomètre R13.</i>					
4/3/54.....	28,638 841	39,879 365	11,240 524	3,924 923	
5/3/54.....	28,638 843	39,879 412	11,240 469	3,924 903	
8/3/54.....	28,638 841	39,879 366	11,240 525	3,924 923	
9/3/54.....	28,638 852	39,879 332	11,240 470	3,924 902	
	28,638 858	39,879 339	11,240 483	3,924 906	
10/3/54.....	28,638 857	39,879 362	11,240 505	3,924 914	
	28,638 862	39,879 322	11,240 460	3,924 898	
	28,638 851	39,879 357	11,240 491	3,924 910	Moyennes
	0,000 008	0,000 028	0,000 025	0,000 009	Écart types
29/4/54.....	28,638 873				
Janv. 1953...	28,638 642	39,879 180	11,240 538	3,924 955	
	+0,000 209	+0,000 177	-0,000 047	-0,000 045	Mars 1954-Janv. 1953
<i>Thermomètre 109.</i>					
4/3/54.....	10,156 177	14,141 819	3,985 642	3,924 353	
5/3/54.....	10,156 186	14,141 809	3,985 623	3,924 330	
8/3/54.....	10,156 189	14,141 827	3,985 638	3,924 344	
9/3/54.....	10,156 197	14,141 857	3,985 660	3,924 363	
	10,156 202	14,141 829	3,985 627	3,924 328	
10/3/54.....	10,156 189	14,141 827	3,985 638	3,924 344	
	10,156 197	14,141 827	3,985 630	3,924 329	
	10,156 191	14,141 828	3,985 637	3,924 342	Moyennes
	0,000 008	0,000 014	0,000 011	0,000 012	Écart types
29/4/54.....	10,156 209				

tion correspondante pour la valeur de α , diminution de $5,3 \cdot 10^{-8}$ (0,0014 deg) pour S167 et de $4,5 \cdot 10^{-8}$ (0,0011 deg) pour R13.

Ces changements sont résumés dans le tableau II. Comme ils ont le même sens, et à peu près la même grandeur, il est nécessaire de s'assurer qu'ils ne sont pas causés par des différences dans la détermination des valeurs. Heureusement, un autre thermomètre, R12, a été mesuré en même temps que les thermomètres en cause et a donné une valeur constante de R_0 entre janvier 1953 et mars 1954. Son coefficient α ayant été également trouvé constant, on en conclut que les différences observées

TABLEAU II.

Variation des thermomètres S167, R13 et R12, entre janvier 1953 et mars 1954. (en millionnièmes).

Thermomètre.	R_0 .	R_{100} .	$R_{100}-R_0$.	α .
S167.....	+5,1	+1,3	-8,5	-13,5
R13.....	+7,3	+4,4	-4,2	-11,5
R12.....	+1	+0,5	-1	-2

Description des thermomètres nos 109, S167 et R13.

	109.	S167.	R13.
Nature de la gaine.....	Silice	Verre	Verre
Longueur » (mm)...	467	460	403
Diamètre » (mm)...	6	7	7
Longueur du bulbe (mm)...	41	25	50
Nature et diamètre des conducteurs (mm).....	Platine; 0,3	Or; 0,2	Or; 0,5
Valeur de $R_0(\Omega)$	10,16	25,48	28,64
» α	0,003 924 3	0,003 924 5	0,003 925 0
Gaz de remplissage.....	?	?	Air (p 30 cm Hg à t ambiante)
Effet de chauffage d'un courant de mesure de 1 mA quand le thermomètre est immergé dans une cellule à point triple de l'eau.	0,000 038 Ω (0,001 0 deg)	0,000 048 Ω (0,000 5 deg)	0,000 220 Ω (0,002 0 deg)

pour S167 et R13 sont dues à des changements dans les thermomètres eux-mêmes. Les différences effectivement trouvées pour R12 sont incluses dans le tableau II.

On a obtenu une confirmation supplémentaire de cette conclusion en considérant la mesure des résistances. L'étalonnage du pont de Smith est basé sur une bobine étalon de 10 ohms n° L649. Au moment des étalonnages du pont sur lesquels les résultats de janvier 1953 et mars 1954 sont basés, les valeurs de L649, déterminées par la Division d'Électricité du Laboratoire, étaient 10,005 15 Ω et 10,005 16 Ω ; la différence entre ces deux valeurs est sans importance. Les variations de 5 et 7.10⁻⁶ de la valeur de R₀, pour les deux thermomètres, apparaissent bien ainsi dépasser les différences possibles dans les étalonnages du pont.

En ce qui concerne la stabilité meilleure de R12 par rapport à R13, thermomètre de construction semblable, une explication possible est que R13 a été porté, pendant l'année, un plus grand nombre de fois à 100°C que R12. Celui-ci n'a été en fait utilisé que comme référence de l'intervalle fondamental et n'a été porté à 100°C que huit fois; le reste du temps il était maintenu à la température ambiante.

(5 mai 1954.)

ANNEXE T 16.

Institut de Métrologie du nom de D. I. Mendéléev (U. R. S. S.).

LES MÉTHODES DE RÉALISATION
DE L'ÉCHELLE INTERNATIONALE
DE TEMPÉRATURE
DANS L'INTERVALLE DE 400° A 1063° C.

(Traduction remise.)

Les recherches de l'Institut Scientifique de Métrologie de l'U. R. S. S. sur la réalisation de l'Échelle Internationale de Température dans les domaines compris entre 0 et 630° C et entre 630 et 1063° C démontrent qu'il serait nécessaire de réviser les procédés recommandés par le Règlement de 1948. En laissant de côté l'intervalle de 0 à 400° C qui est réalisé d'une manière satisfaisante à l'aide du thermomètre à résistance de platine, nous nous sommes occupés spécialement de l'intervalle de 400 à 1063° C où sont employés ce thermomètre et le thermocouple étalon. Les procédés actuels pour la réalisation de l'Échelle Internationale dans l'intervalle de 400 à 1063° C conduisent à une répartition non uniforme des erreurs de réalisation entre les points repères de l'Échelle (t_S , t_{Sb} , t_{Ag} , t_{Au}). En outre, la marche de ces erreurs présente une discontinuité au point de solidification de l'antimoine, c'est-à-dire en passant du domaine réalisé à l'aide du thermomètre étalon à résistance au domaine réalisé à l'aide du thermocouple étalon.

Cette conclusion est confirmée par les considérations suivantes.

I. — LA RÉPARTITION DES ERREURS DE RÉALISATION
DE L'ÉCHELLE INTERNATIONALE 1948 ENTRE LES POINTS FIXES.

1. La détermination des constantes a , b , c de la formule d'interpolation

$$(1) \quad e_t = a + bt + ct^2$$

établie par le Règlement de 1948 pour l'intervalle de 630 à 1063° C dans lequel on utilise le thermocouple étalon platine-platine rhodié à 10 %, s'effectue d'après le système d'équations

$$(2) \quad \begin{cases} e_1 = a + bt_1 + ct_1^2, \\ e_2 = a + bt_2 + ct_2^2, \\ e_3 = a + bt_3 + ct_3^2, \end{cases}$$

où e_1 , e_2 , e_3 désignent les forces électromotrices du thermocouple aux points fixes t_1 , t_2 , t_3 .

En substituant dans l'équation (1) les expressions de a , b , c tirées du système (2) nous aurons

$$(3) \quad e_t = e_1 \varphi_1(t) + e_2 \varphi_2(t) + e_3 \varphi_3(t),$$

dans laquelle

$$(4) \quad \begin{cases} \varphi_1(t) = \frac{(t-t_2)(t-t_3)}{(t_1-t_2)(t_1-t_3)}, \\ \varphi_2(t) = \frac{(t-t_3)(t-t_1)}{(t_2-t_3)(t_2-t_1)}, \\ \varphi_3(t) = \frac{(t-t_1)(t-t_2)}{(t_3-t_1)(t_3-t_2)}. \end{cases}$$

Les fonctions φ_1 , φ_2 , φ_3 sont liées par l'égalité

$$(5) \quad \varphi_1(t) + \varphi_2(t) + \varphi_3(t) = 1.$$

On peut démontrer que si l'on désigne par Δe_1 , Δe_2 et Δe_3 les erreurs de graduation du thermocouple en question aux températures t_1 , t_2 et t_3 , l'erreur de graduation Δe_t du thermocouple à une certaine température t , déterminée par l'effet simultané des trois erreurs Δe_1 , Δe_2 et Δe_3 , est donnée par la formule

$$(6) \quad \Delta e_t = \varphi_1(t) \Delta e_1 + \varphi_2(t) \Delta e_2 + \varphi_3(t) \Delta e_3.$$

Les fonctions $\varphi_1(t)$, $\varphi_2(t)$ et $\varphi_3(t)$ peuvent être appelées « fonctions d'influence », car elles expriment l'influence séparée

de chacune des erreurs Δe_1 , Δe_2 et Δe_3 sur la valeur de l'erreur totale Δe_t .

La figure 1 représente les graphiques des fonctions $\varphi_1(t)$, $\varphi_2(t)$ et $\varphi_3(t)$ tracés d'après les résultats du calcul en posant dans les formules (4) $t_1 = 630,5$, $t_2 = 960,8$ et $t_3 = 1063^{\circ}\text{C}$. On voit

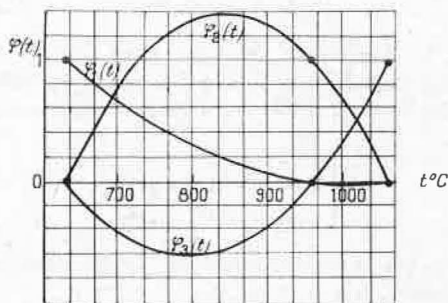


Fig. 1.

sur la figure 1 que la fonction $\varphi_2(t)$, qui caractérise l'influence de l'erreur de graduation du thermocouple au point de solidification de l'argent, a son maximum au voisinage de 850°C ; et que ce maximum atteint 1,38. Autrement dit, une erreur de gra-

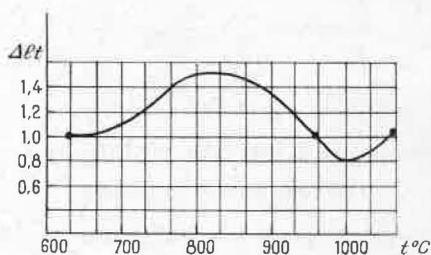


Fig. 2.

duation Δe_2 du thermocouple au point de solidification de l'argent conduit dans la région de 850°C à une erreur de réalisation de l'Échelle, qui atteint $1,38 \Delta e_2$.

En supposant que les erreurs de graduation aient un caractère accidentel et que Δe_1 , Δe_2 et Δe_3 soient les erreurs moyennes

quadratiques de mesure des forces électromotrices e_1, e_2 et e_3 , et en adoptant ensuite $\Delta e_1 = \Delta e_2 = \Delta e_3 = \Delta e$, on peut calculer l'erreur quadratique totale Δe_t par la formule

$$(7) \quad \Delta e_t = \Delta e \sqrt{[\varphi_1(t)]^2 + [\varphi_2(t)]^2 + [\varphi_3(t)]^2}$$

Les résultats de ces calculs sont donnés sur la figure 2 sous la forme d'une courbe en supposant Δe égal à 1.

Une répartition si peu uniforme des erreurs est conditionnée exclusivement par la proximité des points fixes $t_2 = 960,8$ et $t_3 = 1063^{\circ} \text{C}$.

2. Conformément au procédé actuellement adopté, la mesure

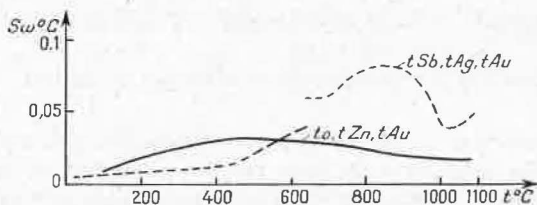


Fig 3.

de la température de solidification de l'échantillon d'antimoine employé se fait à l'aide d'un thermomètre étalon à résistance, gradué à $t_1 = 0$, $t_2 = 100$ et $t_3 = 444,6^{\circ} \text{C}$. En raisonnant comme précédemment, on peut démontrer que si l'on admet que l'erreur de graduation du thermomètre étalon à ces températures est égale à $\Delta R_1 = \Delta R_2 = \Delta R_3 = 1$, l'erreur totale de graduation du thermomètre étalon à résistance au point de solidification de l'antimoine atteint la valeur 5,4. Il faut noter qu'une analyse plus détaillée, tenant compte de l'inégalité des valeurs des erreurs ΔR_1 , ΔR_2 et ΔR_3 trouvées expérimentalement, ne change pas essentiellement la situation, car la plus grande d'entre elles (ΔR_3) détermine l'erreur prépondérante de mesure de la température de solidification de l'antimoine.

Ainsi, le caractère spécifique de la répartition des erreurs du thermomètre étalon dans la région extrapolée ($444,6$ à $630,5^{\circ} \text{C}$) conduit à une forte erreur de la mesure de la température de solidification de l'antimoine, qui devient encore plus grande par suite d'une erreur universelle complémentaire inévitablement liée au mode opératoire employé ici même.

Cette dernière circonstance est la cause de la discontinuité de la courbe des erreurs de réalisation de l'Échelle, comme on le voit sur la figure 3.

3. L'emploi du thermocouple platine-platine rhodié comme instrument étalon contraint à avoir recours à toute une série de précautions (isolation soignée du thermocouple contre l'action des gaz corrosifs, exclusion des tensions mécaniques dans les fils du thermocouple, etc.). En négligeant ces précautions on produit une hétérogénéité des fils du thermocouple, ce qui entraîne un changement rapide de sa graduation.

II. — MÉTHODE NOUVELLE DE RÉALISATION DE L'ÉCHELLE INTERNATIONALE DANS L'INTERVALLE DE 400 A 1063° C A L'AIDE DES THERMOMÈTRES A RÉSISTANCE DE PLATINE.

Les considérations précédentes nous ont conduits à entreprendre des études spéciales ayant pour but de rechercher un procédé plus sûr pour la réalisation de l'Échelle Internationale de Température de 400 jusqu'à 1063° C. La solution que nous avons trouvée est basée sur l'emploi de thermomètres à résistance d'une construction spéciale.

1. *Description et étude des thermomètres à résistance.* — Sur la figure 4 est représenté l'élément sensible d'un thermomètre à résistance dont la construction s'est montrée la plus rationnelle pour le but proposé.

Autour d'une tige cylindrique en porcelaine, ayant une longueur de 40 mm et un diamètre de 3 à 4 mm, est enroulée une hélice bifilaire en fil de platine ayant un diamètre de 0,5 mm. Les bouts de cette tige sont terminés par des traverses en forme de croix. Sur la traverse inférieure est attachée la partie inférieure du bobinage en platine. Les extrémités supérieures du bobinage sont soudées aux extrémités des fils conducteurs menant à la source de courant et au potentiomètre. Ces fils passent par des orifices pratiqués dans la plaque en porcelaine adjacente à la traverse supérieure. Ainsi le bobinage de platine est fixé en trois points sur la carcasse en porcelaine, ce qui permet de réduire au minimum les tensions mécaniques qui apparaissent dans le fil à la suite des changements de température. L'emploi d'un gros fil de

platine pour la fabrication de l'élément sensible est dicté par le souci de diminuer l'influence de l'évaporation du platine aux températures élevées sur la stabilité de la résistance du thermomètre.

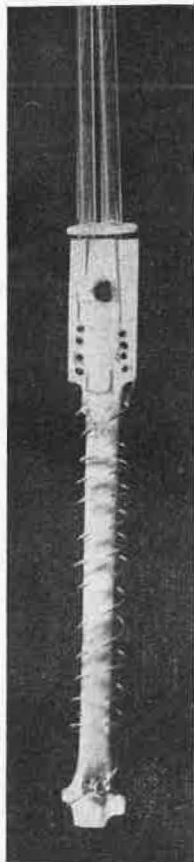


Fig. 4.

L'élément sensible fabriqué de cette manière est introduit dans un tube de protection en quartz ayant un diamètre intérieur de près de 8 mm et une épaisseur de parois de près de 1 mm.

On a utilisé pour cette étude cinq thermomètres à résistance semblables, dont les résistances à 0° C étaient de 0,11 à 0,17 Ω.

Le platine employé pour la fabrication de ces thermomètres était de pureté différente, caractérisée par la valeur du rapport $\frac{R_{100}}{R_0}$ indiquée dans le tableau suivant :

N ^{os} des thermomètres.	$\frac{R_{100}}{R_0}$.
6.....	1,3918
7.....	1,3884
8.....	1,3910
9.....	1,3902
11.....	1,3925

Après un recuit préalable on a étudié la stabilité des thermomètres. L'invariabilité de R_0 et $\frac{R_{100}}{R_0}$ fut étudiée avant et après l'échauffement des thermomètres pendant 4 heures à une température voisine de 1200° C.

Les variations de ces grandeurs sont données dans le tableau I.

TABLEAU I.

N ^{os} des thermomètres...	6.	7.	8.	9.	11.
$\frac{\Delta R_0}{R_0}$	0	-1,5.10 ⁻⁵	0	+1,5.10 ⁻⁵	+1.10 ⁻⁵
$\Delta\left(\frac{R_{100}}{R_0}\right)$...	0	-1.10 ⁻⁵	+1.10 ⁻⁵	-2.10 ⁻⁵	0

On voit que les variations de R_0 et de $\frac{R_{100}}{R_0}$ se trouvent dans les limites de la précision de lecture ($\pm 2.10^{-5}$) des instruments de mesure employés et l'on n'arrive pas à constater une influence régulière et perceptible de la chauffe de longue durée des thermomètres, jusqu'à 1200° C, sur leurs caractéristiques.

Cette conclusion s'est trouvée complètement justifiée pendant les expériences ultérieures. Les cinq thermomètres ont été minutieusement étalonnés aux températures de fusion de la glace, d'ébullition de l'eau, de solidification du cadmium, du zinc, de l'antimoine, de l'alliage eutectique Ag-Cu, de l'argent et de l'or. Les températures de solidification du cadmium, du zinc et de

l'antimoine, mesurées à l'aide de deux thermomètres à résistance étalons ordinaires de $10\ \Omega$, furent respectivement égales à $320,90 \pm 0,02^\circ\text{C}$, $419,59 \pm 0,03^\circ\text{C}$ et $630,51 \pm 0,05^\circ\text{C}$. L'alliage eutectique Ag-Cu, employé pour la graduation des thermomètres à résistance, contenait 28,5 % de cuivre fin et 71,5 % d'argent fin.

Dans le tableau II sont données les valeurs du rapport $\frac{R_t}{R_0}$ obtenues à la suite de cet étalonnage, ainsi que le nombre n des mesures des résistances des thermomètres qui ont servi à déterminer les résistances R_t . Dans le même tableau sont indiquées les erreurs δ exprimées en millièmes de degré, et obtenues à partir de la dispersion des mesures en tenant compte des valeurs $\frac{dR_t}{dt}$ de chaque thermomètre.

Il faut mentionner que les thermomètres possédant le plus grand coefficient thermique de résistance, ont une meilleure reproductibilité de la graduation que les thermomètres à coefficient plus petit.

2. *Choix de la formule d'interpolation.* — Afin de choisir la formule d'interpolation la plus rationnelle on a étudié une formule quadratique et une formule cubique. Il fut établi que la formule cubique ne présente aucun avantage sérieux par rapport à la formule quadratique et son emploi fut reconnu inutile.

L'application de la formule quadratique (1), dans laquelle e_t est remplacée par R , fut étudiée pour quelques combinaisons des points fixes servant à déterminer les coefficients a , b , c .

L'analyse théorique de la formule (6) a montré que la distribution la plus uniforme des erreurs de graduation entre les points fixes a lieu dans le cas où les températures des trois points fixes utilisés sont liées par la relation

$$(8) \quad t_2 = \frac{t_1 + t_3}{2}.$$

En conséquence, on doit renoncer immédiatement aux études des systèmes tels que $[t_0 - t_{100} - t_{Au}]$, $[t_{Cd} - t_{Zn} - t_{Au}]$ et autres analogues, dont le point fixe moyen est situé trop près d'un point extrême.

Quoique le système $[t_0 - t_{Zn} - t_{Au}]$ ne satisfasse qu'approximativement à la condition (8), par suite de la petitesse des erreurs de graduation des thermomètres à la température de fusion de la

TABLEAU II.

Nos des thermomètres.	t_0		t_{100}		t_{Cd}		t_{Zn}	
	$\frac{R_t}{R_0}$	$\delta \cdot 10^3$ n. (deg. C.)	$\frac{R_t}{R_0}$	$\delta \cdot 10^3$ n. (deg. C.)	$\frac{R_t}{R_0}$	$\delta \cdot 10^3$ n. (deg. C.)	$\frac{R_t}{R_0}$	$\delta \cdot 10^3$ n. (deg. C.)
6.....	1	84 4	1,391 81	48 4	2,215 47	26 4	2,565 10	63 4
7.....	1	50 9	1,388 62	54 9	2,205 78	52 4	2,552 63	62 9
8.....	1	71 9	1,391 01	35 9	2,213 43	19 9	2,562 08	42 13
9.....	1	55 13	1,390 33	34 13	2,210 49	26 9	2,558 08	30 13
11.....	1	77 4	1,392 46	70 9	2,217 79	59 9	2,567 74	63 9

Nos des thermomètres.	t_{Sn}		t_{Ag-Cu}		t_{Ag}		t_{Au}	
	$\frac{R_t}{R_0}$	$\delta \cdot 10^3$ n. (deg. C.)	$\frac{R_t}{R_0}$	$\delta \cdot 10^3$ n. (deg. C.)	$\frac{R_t}{R_0}$	$\delta \cdot 10^3$ n. (deg. C.)	$\frac{R_t}{R_0}$	$\delta \cdot 10^3$ n. (deg. C.)
6.....	3,273 17	65 9	3,740 47	58 13	4,277 53	94 13	4,561 53	36 9
7.....	3,254 90	55 13	3,717 79	46 18	4,249 54	42 27	4,531 14	35 31
8.....	3,268 96	63 13	3,735 38	26 18	4,271 13	40 18	4,554 93	31 13
9.....	3,262 78	30 27	3,727 42	38 27	4,261 53	49 22	4,544 34	44 31
11.....	3,277 09	52 18	3,744 95	43 13	4,282 34	58 18	4,567 04	48 13

glace, son étude détaillée a toutefois montré qu'il conduisait à une répartition suffisamment uniforme des erreurs entre les points fixes, ainsi que le montre la figure 3. La valeur de la température de solidification du zinc — deuxième point fixe — est déterminée à l'aide du thermomètre à résistance étalon ordinaire (10Ω) avec plus d'exactitude que la température de solidification de l'antimoine.

En s'appuyant sur ces résultats, il paraît utile d'employer pour la réalisation de l'Échelle Internationale de Température jusqu'à 1063°C une formule d'interpolation quadratique en utilisant les points fixes t_0 , t_{Zn} et t_{Au} .

Cependant, il est désirable de limiter l'emploi de ces thermomètres à faible résistance ohmique au domaine des températures entre 400 et 1063°C . Quant à la reproduction de l'Échelle dans le domaine inférieur à 400°C , il est rationnel d'utiliser, comme avant, des thermomètres à résistance ohmique élevée et une formule d'interpolation quadratique basée sur les anciens points fixes t_0 , t_{100} , $t_{111,5}$.

3. *Concordance avec l'Échelle Internationale de Température 1948.* — Pour contrôler jusqu'à quel point l'échelle réalisée par le procédé décrit s'accorde avec l'Échelle Internationale de Température de 1948, on a effectué les opérations suivantes.

D'après les données du tableau II et à l'aide de la formule quadratique d'interpolation basée sur les points fixes 0 , $419,59$ et $1063,0^{\circ} \text{C}$, on a calculé la température de solidification de l'argent qui fut trouvée égale à $960,89^{\circ} \text{C} \pm 0,03$. Cette valeur est supérieure de $0,09$ degré à celle qui a été adoptée en 1948.

Par le même procédé, on a calculé les températures de solidification de l'alliage eutectique argent-cuivre et de l'antimoine; on a obtenu les températures de $778,99^{\circ} \text{C} \pm 0,03$ pour l'alliage Ag-Cu et de $630,51^{\circ} \text{C} \pm 0,03$ pour l'antimoine. Cette dernière valeur coïncide avec la valeur précitée (p. T 129), obtenue à l'aide du procédé établi par le Règlement de l'Échelle Internationale de Température.

Le contrôle de la concordance des deux procédés de reproduction de l'Échelle de Température au point eutectique de l'alliage Ag-Cu fut réalisé par la mesure, à la température de solidification de cet alliage, des forces électromotrices de deux thermocouples étalons, préalablement étalonnés aux tempéra-

tures de solidification de l'antimoine ($630,5^{\circ}\text{C}$), de l'argent ($960,80^{\circ}\text{C}$) et de l'or (1063°C). La température de solidification de l'alliage eutectique Ag-Cu, obtenue par ces mesures, est égale à $778,9^{\circ}\text{C} \pm 0,1$.

La différence des valeurs obtenues pour la température de solidification de l'alliage eutectique Ag-Cu se trouve ainsi dans les limites des erreurs de mesure.

En ce qui concerne la différence entre les valeurs de la température de solidification de l'argent ($0,09$ degré), les résultats obtenus jusqu'à ce jour avec les thermomètres à gaz ne sont pas suffisamment sûrs pour que l'on puisse judicieusement choisir l'une ou l'autre de ces valeurs.

Il est loisible de mentionner qu'en 1953 l'Institut Scientifique de Métrologie de l'U. R. S. S. a obtenu, en utilisant le thermomètre à azote à volume constant, une valeur de la température de solidification de l'argent égale à $960,9^{\circ}\text{C} \pm 0,2$; cette valeur reste toutefois à préciser. A l'aide du même thermomètre à gaz on a trouvé la température absolue de fusion de la glace égale à $273,16^{\circ}\text{K} \pm 0,02$.

Notons encore que si l'on attribue la valeur $960,9$ à la température de solidification de l'argent, et si l'on effectue l'étalonnage des thermocouples étalons Pt — (90 Pt, 10 Rh) conformément aux prescriptions du Règlement de 1948, on obtient pour la température de solidification de l'alliage eutectique Ag-Cu, mesurée au moyen de ces thermocouples, la valeur $778,99^{\circ}\text{C}$; ce résultat coïncide avec celui qui a été trouvé à l'aide des thermomètres à faible résistance ohmique.

III. — CONCLUSION.

1. Les procédés actuels de réalisation de l'Échelle Internationale de Température de 1948 dans l'intervalle de 400 à 1063°C conduisent à une répartition non uniforme des erreurs de réalisation entre les points fixes établis par le Règlement de 1948. La marche de ces erreurs avec la température présente une discontinuité au point de solidification de l'antimoine.

2. L'emploi de thermomètres à résistance de platine de construction spéciale permet de réaliser plus sûrement l'Échelle dans le domaine compris entre 400 et 1063°C . Dans ce cas, il est utile d'employer une formule quadratique d'interpolation basée sur les

points fixes de fusion de la glace, de solidification du zinc et de l'or ⁽¹⁾.

3. A l'aide de l'Échelle de Température réalisée par ce procédé, on a obtenu une valeur de la température de solidification de l'argent égale à $960,89^{\circ} \text{C} \pm 0,03$, tandis qu'on obtient la valeur $960,9^{\circ} \text{C} \pm 0,2$ à l'aide du thermomètre à azote à volume constant.

⁽¹⁾ Voir sur le même sujet : H. MOSER, *Ann. Physik*, t. 6, 5^e série, 1930, p. 852.

ANNEXE T 17.

Institut de Métrologie du nom de D. I. Mendéléev (U. R. S. S.)

LES THERMOMÈTRES
A RESISTANCE DE PLATINE
DANS LE DOMAINE DE 0 A 1063° C.

par B. I. PILIPTCHOUK (1).

(Traduction remise.)

Comme résultat de l'analyse des formules d'interpolation du thermomètre à résistance de platine, l'auteur suggéra en 1948 l'utilité de l'établissement, pour les thermomètres, des tableaux des rapports des différences des résistances $\nu_t = \frac{R_t - R_1}{R_2 - R_1}$ (R_1 et R_2 sont les résistances du thermomètre aux températures de deux points fixes quelconques, R_t la résistance du thermomètre à la température t° C comprise entre les points fixes choisis), et non pas des tableaux des rapports des résistances $w_t = \frac{R_t}{R_0}$ (R_t et R_0 sont les résistances du thermomètre aux températures correspondantes t° C et 0° C), ainsi qu'on le fait ordinairement [6], [7].

Partant de la règle empirique de Matthiessen [2], [3], théoriquement argumentée pour la première fois dans la théorie contemporain des métaux par Y. I. Phrenkel en 1928 [13], on peut présumer que les grandeurs ν_t seront presque égales pour les divers thermomètres, la coïncidence étant naturellement

(1) *C. R. Acad. Sc. U. R. S. S.*, nouvelle série, t. 97, n° 2, 1954, p. 243.

d'autant plus parfaite que les points fixes extrêmes de l'intervalle de température considéré seront plus proches l'un de l'autre ⁽²⁾.

Dans ces dernières années ont été publiés [3], [9], [12], [14], quelques résultats numériques pour l'intervalle entre le point d'ébullition de l'hydrogène (20,3°K) et le point d'ébullition de l'oxygène (90,2°K), qui ont démontré que la grandeur des écarts peut atteindre approximativement 0,05 degré.

A plusieurs reprises, on a exposé dans la littérature la proposition d'élargir le domaine d'emploi des thermomètres à résistance de platine du point de solidification de l'antimoine (630,5° C) jusqu'au point de solidification de l'or (1063,0° C) [4], [10].

En 1953, à l'Institut scientifique de Métrologie du nom de D. I. Mendéléev (Leningrad), Ph. S. Alieva fit des mesures avec cinq thermomètres à faible résistance électrique ($R_0 \approx 0,11$ à $0,18 \Omega$) de construction spéciale, fabriqués en gros fils de platine (diamètre 0,5 à 0,6 mm) présentant des coefficients de température différents ($\alpha = 3,88 \cdot 10^{-3}$ à $3,92 \cdot 10^{-3}$ par degré). L'étalonnage des thermomètres a été fait en sept points fixes aux températures : 0° C (point de fusion de glace), 100° C (point d'ébullition de l'eau), 320,91° C (point de solidification du cadmium), 419,59° C (point de solidification du zinc), 630,51° C (point de solidification de l'antimoine), 778,89° C (point de solidification de l'eutectique cuivre-argent), 960,89° C (point de solidification de l'argent) et 1063,0° C (point de solidification de l'or).

Il est intéressant d'essayer de calculer les écarts ϵ_t dans le domaine des températures supérieures à 0° C.

Dans le tableau I sont indiquées les données de Ph. S. Alieva, ainsi que les résultats des calculs de l'auteur.

Les thermomètres sont disposés de gauche à droite par ordre

des valeurs croissantes de $\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100 R_0}$.

⁽²⁾ La règle de Nernst [8], souvent employée pour l'établissement du lien entre les indications de deux thermomètres différents aux températures inférieures à 0° C [1], [11], est fondée sur l'hypothèse que la résistance complémentaire liée aux défauts de régularité du réseau cristallin du métal reste constante dans le large intervalle entre 0° C et la température mesurée. Pour l'établissement des rapports φ_t , la constance de la résistance complémentaire est exigée dans un intervalle plus étroit entre les deux points fixes. Ceci est un argument en faveur de la construction de l'échelle de température à l'aide des rapports φ_t .

TABLE

t° C.	Thermomètre n° 7.		Thermomètre n° 9.		Thermomètre n° 8.		
	10 ³ α = 3,886		10 ³ α = 3,903.		10 ³ α = 3,910.		
	10 ⁵ w _t . (b)	10 ⁵ v _t . (c)	10 ⁵ w _t . (b)	10 ⁵ v _t . (c)	10 ⁵ w _t . (b)	10 ⁵ v _t . (c)	10 ² Δt. (d)
0	100 000 (6)	0	100 000 (8)	0	100 000 (10)	0	0
100	138 862 (6)	11 006	139 033 (5)	11 013	139 101 (5)	10 999	—2
320,9 ₁	220 578 (5)	34 147	221 050 (3)	34 153	221 343 (3)	34 134	0
419,5 ₉	255 263 (7)	43 970	255 808 (4)	43 960	256 208 (6)	43 941	—4
630,5 ₁	325 490 (8)	63 858	326 278 (4)	63 842	326 896 (10)	63 826	—4
778,9 ₃	371 779 (6)	76 966	372 742 (5)	76 951	373 538 (4)	76 946	—2
960,8 ₉	424 954 (5)	92 025	426 153 (6)	92 021	427 113 (5)	92 017	—5
1063,0	453 114 (6)	100 000	454,434 (5)	100 000	455 493 (4)	100 000	0

AU I.

Thermomètre n° 6.			Thermomètre n° 11.			Moyenne des thermo- mètres n° 8-6-11 $10^5 \bar{v}_i$.	$10 \frac{dv_i}{dt}$ (f)
$10^5 \alpha = 3,918.$			$10^5 \alpha = 3,925.$				
$10^5 w_i$ (b)	$10^5 v_i$ (c)	$10^2 \Delta t$ (d)	$10^5 w_i$ (b)	$10^5 v_i$ (c)	$10^2 \Delta t$ (d)	(c)	(f)
100 000 (10)	0	0	100 000 (10)	0	0	0	111
139 181 (5)	11 001	0	139 246 (10)	11 002	+1	11 001	108
221 547 (4)	34 128	-6	221 779 (7)	34 140	+6	34 134	101
256 509 (7)	43 944	-1	256 774 (8)	43 951	+6	43 945	98
327 318 (8)	63 826	-4	327 709 (7)	63 837	+8	63 830	91
374 047 (9)	76 946	-2	374 495 (6)	76 953	+5	76 948	86
427 754 (10)	92 026	+6	428 234 (8)	92 019	-4	92 021	80
456 153 (5)	100 000	0	456 704 (7)	100 000	0	100 000	76

Dans les colonnes (b) sont donnés les rapports $\frac{R_t}{R_0}$ pour chaque thermomètre aux points fixes dont les températures sont indiquées dans la colonne (a). (Les chiffres entre parenthèses indiquent le nombre des observations indépendantes qui ont servi pour le calcul de la valeur définitive v_t).

Dans les colonnes (c) sont donnés les rapports des différences des résistances, à savoir

$$(1) \quad v_t = \frac{R_t - R_0}{R_{1063,0} - R_0} = \frac{w_t - 1}{w_{1063,0} - 1}.$$

Aux températures 0 et 1063,0° C, les valeurs v_t sont respectivement égales à zéro et à l'unité. A toutes les températures intermédiaires, les rapports v_t pour les thermomètres individuels sont assez voisins, malgré l'étendue de l'intervalle de température qui dépasse 1000 degrés. La différence maximum entre les rapports v_t à une température quelconque n'excède pas trois unités du quatrième chiffre (3).

D'après la valeur du coefficient de température α , les thermomètres peuvent être classés en deux groupes : les thermomètres nos 7 et 9 forment un groupe à petit coefficient α ; les thermomètres nos 8, 6 et 11, fabriqués en bon platine, forment un groupe à grand coefficient α .

Dans la colonne (e) est indiquée la moyenne arithmétique \bar{v}_t des valeurs des trois rapports v_t des thermomètres du deuxième groupe, à la température t° C de chaque point fixe.

Dans les colonnes (d) sont indiqués, pour chaque thermomètre, les écarts en centièmes de degré de v_t par rapport à la valeur moyenne \bar{v}_t , écarts calculés d'après la formule approximative suivante valable pour de petits accroissements de v_t et de t :

$$(2) \quad \Delta t = \frac{\Delta v_t}{\frac{dv_t}{dt}} = \frac{v_t - \bar{v}_t}{\frac{dv_t}{dt} \cdot \frac{1}{w_{1063,0} - 1}} = \frac{(w_{1063,0} - 1)(v_t - \bar{v}_t)}{\frac{1}{R_0} \frac{dR_t}{dt}}.$$

(3) A titre de comparaison, il faut noter que les rapports de résistance $w_{1063,0}$ pour les thermomètres extrêmes nos 7 et 11 sont égaux à 4,5311 et 4,5670. Comme la dérivée $\frac{dw_t}{dt}$ à la température de solidification de l'or est égale approximativement à $270 \cdot 10^{-5}$, la différence de ces nombres (0,0359) d'après le tableau de graduation w_t de n'importe lequel de ces thermomètres correspondra à une différence de température de l'ordre de 13 degrés.

Les valeurs numériques $\frac{d\nu_t}{dt}$ pour le thermomètre n° 7 sont données dans la colonne (*f*) du tableau. Quoique, strictement parlant, les valeurs des dérivées soient différentes pour les divers thermomètres, il est tout à fait admissible d'employer ces valeurs numériques particulières lors de l'appréciation des écarts.

En examinant les trois colonnes (*d*), nous serons convaincus de ce que, pour le groupe des thermomètres qui ont $\frac{R_{100}}{R_0} \approx 1,392$, les écarts restent inférieurs à 0,1 degré et atteignent dans le cas le plus défavorable 0,08 degré (thermomètre n° 11 à la température 960,80° C). Autrement dit, si nous étalonnons ces thermomètres en deux points fixes seulement, au point de fusion de la glace et au point de solidification de l'or, et si nous employons ensuite le tableau des valeurs moyennes $\bar{\nu}_t$ pour le calcul de la température, les erreurs d'interpolation ne dépasseraient pas 0,1 degré. Une telle précision dans la détermination de la température est tout à fait suffisante dans la plupart des cas dans la pratique du laboratoire et de l'industrie.

De nouveaux résultats expérimentaux sur le rapport ν_t pour les thermomètres en platine extrêmement pur présenteraient un grand intérêt théorique et pratique. Le tableau des rapports moyens doit être établi d'après un nombre suffisant d'observations sûres.

Ainsi que le montre la formule (1), le rapport des différences des résistances ν_t est une fonction de la température de la même puissance que le rapport des résistances ω_t . Il faut chercher la représentation analytique de ν_t dans la forme d'un polynôme sans terme à la puissance zéro de la température :

$$(3) \quad \nu_t = \sum_{i=1}^n a_i t^i,$$

qui satisfait l'exigence $\nu_0 = 0$ (⁴).

(⁴) Les valeurs moyennes $\bar{\nu}_t$ citées dans le tableau, peuvent être représentées avec une erreur de l'ordre de 0,02 degré à l'aide de la formule d'interpolation du second degré

$$10^5 \bar{\nu}_t = 111,6814 t - 1,65644 \cdot 10^{-2} t^2.$$

Pour le rapport des différences des résistances dans le domaine du

Les écarts individuels entre les valeurs ν_t d'un thermomètre quelconque et les valeurs moyennes du tableau peuvent être représentés comme fonction de la température et du « paramètre de la qualité du platine » ($\nu_{1063,0}$). On peut présumer qu'il sera possible de séparer cette fonction en deux fonctions universelles (c'est-à-dire les mêmes pour tous les thermomètres), l'une ne dépendant que de la température, l'autre d'un paramètre de qualité.

point de fusion de la glace (0° C) au point de solidification du cuivre (1083° C), on a l'expression analogue

$$10^5 \bar{\nu}_t = 10^5 \frac{R_t - R_0}{R_{1083} - R_0} = 10^5 \frac{\nu_t}{\nu_{1083}} = 110,0063 t - 1,63160 \cdot 10^{-2} t^2.$$

BIBLIOGRAPHIE.

- [1] N. A. BRILLIANTOV, *J. Techn. Physik*, t. 18, 1948, p. 1113.
- [2] L. LANDAU et Ph. KOLPANEETZ, *La conductibilité électrique des métaux*, Kharkov, 1935, p. 15 et 55-57.
- [3] LOS et MORRISON, *Canadian J. Phys.*, t. 29, (2), 1951, p. 143.
- [4] H. MOSER, *Ann. Physik*, (5), t. 6, 1930, p. 852.
- [5] P. PAYERIS, *La théorie électronique des métaux*, I. L., Moscou, 1947, p. 75 et suiv.
- [6] B. I. PILIPTCHOUK, *Travaux de l'Institut de Métrologie*, fasc. 4, 64, 1948, p. 3.
- [7] B. I. PILIPTCHOUK, *J. Techn. Physik*, t. 19, (6), 1949, p. 669.
- [8] M. M. POPOV, *Thermométrie et calorimétrie*, O. N. T. I., Moscou, 1934, p. 169.
- [9] *Procès-Verbaux du C. I. P. M.*, t. XXI, 1948, p. T 84.
- [10] P. G. STRELKOV, *Zawodskaja Laboratoria*, t. 8, (10-11), 1939, p. 1101.
- [11] P. G. STRELKOV, *Bull. Acad. Sc. U. R. S. S.*, série physique, t. 14, (1), 1950, p. 116.
- [12] H. VAN DIJK, *Procès-Verbaux du C. I. P. M.*, t. XXIII-B, 1952, p. T 48.
- [13] J. I. PIHRENKEL, *U. F. N.*, t. 30, (1-2), 1946, p. 33.
- [14] H. J. HÖGE, *Rev. Sc. Instr.*, t. 21, (9), 1950, p. 815.

ANNEXE T 18.

Chambre Centrale des Mesures et Instruments de Mesure
(U. R. S. S.).

PROPOSITION CONCERNANT L'EXTENSION
DE L'ÉCHELLE INTERNATIONALE
DE TEMPÉRATURE
AU-DESSOUS
DU POINT D'ÉBULLITION DE L'OXYGÈNE

(Traduction remise.)

Pour l'extension de l'Échelle de température au-dessous du point de l'oxygène, il est utile d'employer la résistance électrique d'un métal en qualité de propriété thermique et de choisir le platine comme substance thermométrique.

Il est douteux qu'on puisse établir l'échelle entre 10° K et 90° K en faisant appel à la résistance du platine exactement comme dans l'Échelle Internationale, c'est-à-dire en attribuant des valeurs numériques aux températures d'un petit nombre de changements de phase au-dessous de 90° K et en recommandant pour l'interpolation entre les points fixes une relation analytique suffisamment simple entre des rapports de résistance W et la température T .

L'expérience de l'établissement de la relation entre la résistance relative du platine et la température à l'aide d'un tableau numérique, répétée plusieurs fois [1], [2] et surtout au N. B. S. [3], témoigne en faveur du remplacement de la forme analytique de la relation entre W et T par un tableau.

TABLEAU I.

Valeurs « compensées » \bar{W} pour le platine IONCh—6.

T(°K).	$10^6 \bar{W}$.	$10^6 \Delta^1 \bar{W}$.	$10^6 \Delta^2 \bar{W}$.	T(°K).	$10^6 \bar{W}$.	$10^6 \Delta^1 \bar{W}$.	$10^6 \Delta^2 \bar{W}$.
10,0...	778,2	20,0		16,0...	2 079,9	75,7	2,8
2...	798,2	21,0	1,0	2...	2 158,4	78,5	2,9
4...	819,2	22,1	1,1	4...	2 239,8	81,4	3,0
6...	841,3	23,2	1,1	6...	2 324,2	84,4	3,1
8...	864,5	24,4	1,2	8...	2 411,7	87,5	3,1
11,0...	888,9	25,7	1,3	17,0...	2 502,3	90,6	
2...	914,6	27,0	1,3	17.....	2 502,3		78,8
4...	941,6	28,4	1,4	18.....	3 003,5	501,2	86,5
6...	970,0	29,8	1,4	19.....	3 591,2	587,7	93,3
8...	999,8	31,3	1,5	20.....	4 272,2	681,0	99,3
12,0...	1 031,1	32,9	1,6	21.....	5 052,5	780,3	104,9
2...	1 064,0	34,5	1,6	22.....	5 937,7	885,2	109,7
4...	1 098,5	36,2	1,7	23.....	6 932,6	994,9	113,7
6...	1 134,7	38,0	1,8	24.....	8 041,2	1 108,6	116,8
8...	1 172,7	39,8	1,8	25.....	9 266,6	1 225,4	119,0
13,0...	1 212,5	41,7	1,9	26.....	10 611,0	1 344,4	120,2
2...	1 254,2	43,7	2,0	27.....	12 075,6	1 464,6	120,6
4...	1 297,9	45,8	2,1	28.....	13 660,8	1 585,2	120,8..
6...	1 343,7	48,0	2,2	29.....	15 366,8	1 706,0	120,9
8...	1 391,7	50,2	2,2	30.....	17 193,7	1 826,9	120,6
14,0...	1 441,9	52,5	2,3	31.....	19 141,2	1 947,5	119,8
2...	1 494,4	54,9	2,4	32.....	21 208,5	2 067,3	118,1
4...	1 549,3	57,3	2,4	33.....	23 393,9	2 185,4	115,9
6...	1 606,6	59,8	2,5	34.....	25 695,2	2 301,3	113,2
8...	1 666,4	62,3	2,5	35.....	28 109,7	2 414,5	110,0
15,0...	1 728,7	64,9	2,6	36.....	30 634,2	2 524,5	106,4
2...	1 793,6	67,5	2,6	37.....	33 265,1	2 630,9	102,7
4...	1 861,1	70,2	2,7	38.....	35 998,7	2 733,6	98,9
6...	1 931,3	72,9	2,7	39.....	38 831,2	2 832,5	95,0
8...	2 004,2		2,8	40.....	41 758,7	2 927,5	91,1
						3 018,6	

TABLEAU I.

Valeurs « compensées » \bar{W} pour le platine IONCh-6.

T (°K).	$10^6 \bar{W}$.	$10^6 \Delta^1 \bar{W}$.	$10^6 \Delta^2 \bar{W}$.	T (°K).	$10^6 \bar{W}$.	$10^6 \Delta^1 \bar{W}$.	$10^6 \Delta^2 \bar{W}$.
41.....	44 777,3	3 105,9	87,3	69.....	152 264,1	4 266,0	12,4
42.....	47 883,2	3 189,4	83,5	70.....	156 530,1	4 277,1	11,1
43.....	51 072,6	3 269,2	79,8	71.....	160 807,2	4 287,0	9,9
44.....	54 341,8	3 345,3	76,1	72.....	165 094,2	4 295,8	8,8
45.....	57 687,1	3 417,8	72,5	73.....	169 390,0	4 303,6	7,8
46.....	61 104,9	3 486,7	68,9	74.....	173 693,6	4 310,5	6,9
47.....	64 591,6	3 552,0	65,3	75.....	178 004,1	4 316,5	6,0
48.....	68 143,6	3 613,7	61,7	76.....	182 320,6	4 321,7	5,2
49.....	71 757,3	3 671,9	58,2	77.....	186 642,3	4 326,1	4,4
50.....	75 429,2	3 726,6	54,7	78.....	190 968,4	4 329,8	3,7
51.....	79 155,8	3 777,8	51,2	79.....	195 297,8	4 332,9	3,1
52.....	82 933,6	3 825,5	47,7	80.....	199 630,7	4 335,5	2,6
53.....	86 759,1	3 869,8	44,3	81.....	203 966,2	4 337,7	2,2
54.....	90 628,9	3 910,8	41,0	82.....	208 303,9	4 339,6	1,9
55.....	94 539,7	3 948,6	37,8	83.....	212 643,5	4 341,3	1,7
56.....	98 488,3	3 983,4	34,8	84.....	216 984,8	4 342,9	1,6
57.....	102 471,7	4 015,6	32,2	85.....	221 327,7	4 344,3	1,4
58.....	106 487,3	4 045,6	30,0	86.....	225 672,0	4 345,4	1,1
59.....	110 532,9	4 073,7	28,1	87.....	230 017,8	4 346,0	0,6
60.....	114 606,6	4 100,1	26,4	88.....	234 363,8	4 345,7	-0,3
61.....	118 706,7	4 124,9	24,8	89.....	238 709,5	4 344,3	-1,4
62.....	122 831,6	4 148,0	23,1	90.....	243 053,8	4 342,0	-2,3
63.....	126 979,6	4 169,5	21,5	91.....	247 395,8	4 339,2	-2,8
64.....	131 149,1	4 189,4	19,9	92.....	251 735,0	4 336,2	-3,0
65.....	135 338,5	4 207,7	18,3	93.....	256 071,2	4 333,1	-3,1
66.....	139 546,2	4 224,5	16,8	94.....	260 404,3	4 330,0	-3,1
67.....	143 770,7	4 239,8	15,3	95.....	264 734,3		-3,1
68.....	148 010,5	4 253,6	13,8				

Nous avons suivi la voie de déterminer l'échelle de température entre 10 et 90° K par la résistance du platine pur

($W_{100^{\circ}\text{C}} > 1,3924$) à l'aide du tableau de graduation d'un groupe de quatre thermomètres à résistance qui furent comparés en 107 points, entre 10,7 et 94,9° K, au thermomètre à hélium sans espace nuisible [4]. La description sommaire de ce travail est en cours de publication [5] et son résultat principal est l'établissement d'un tableau donnant la relation entre la résistance relative du platine $W = \frac{R_t}{R_0}$ et la température T (tableau I).

Le grand nombre d'études faites dans divers pays sur les températures inférieures à 90° K nous conduisent à émettre le vœu de l'extension de l'Échelle Internationale au-dessous du point d'ébullition de l'oxygène.

Nous avons entrepris de déterminer une nouvelle graduation du platine car tous les tableaux publiés et connus, concernant les températures inférieures à 90° K, ont un défaut commun : ils se rapportent à un platine insuffisamment pur.

La réduction des indications des thermomètres de platine au tableau d'interpolation à l'aide de la règle de Matthiessen, ne peut donner des résultats satisfaisants si la pureté du platine du tableau diffère considérablement de celle du platine des thermomètres (d'après le critère fondamental $W_{100^{\circ}\text{C}}$ de l'Échelle Internationale).

Si le platine du thermomètre diffère peu de celui du tableau, l'emploi de la règle de Matthiessen avec une correction calculée pour deux points (O_2 et H_2), peut déterminer l'échelle du thermomètre entre 20 et 90° K avec une précision de quelques centièmes de degré. Au-dessous de 20° K, il faut faire une graduation supplémentaire par comparaison au thermomètre à tension de vapeur de l'hydrogène.

Pour obtenir une graduation plus précise, il faut limiter assez strictement la différence entre le platine du thermomètre et celui du tableau.

L'emploi de la règle de Matthiessen est limité par le fait que la différence entre les W de diverses qualités de platine de pureté différente passe par un maximum près de 40° K. C'est pourquoi, pour améliorer les résultats de la réduction des indications des thermomètres, on peut introduire un point fixe intermédiaire près de 40° K. Ce point pourrait être la température très bien reproductible du changement de phase de l'oxygène solide à la température de 43,8° K [6], [7]. Dans ce cas, la règle de

Matthiessen donne de bons résultats pour l'intervalle entre 90 et 43,8° K.

Actuellement, nous ne pouvons pas formuler un procédé satisfaisant pour la réduction des échelles des thermomètres au tableau entre 43,8 et 20° K ; nous ne pouvons pas encore proposer non plus un procédé général satisfaisant pour la réduction de l'échelle entre 90 et 20° K ou entre 90 et 10° K.

Évidemment, la réduction des échelles des thermomètres donne les meilleurs résultats dans les cas où la qualité du platine est semblable. Il est tout à fait irrationnel, lors de la fabrication des thermomètres, d'ajuster la pureté de leur platine en partant du platine insuffisamment pur des tableaux. C'est pourquoi le premier pas vers l'extension de l'Échelle Internationale dans le domaine des basses températures est la graduation du platine pur actuel.

L'échelle de notre tableau est liée à l'Échelle Internationale par le fait que le point fondamental et unique, à partir duquel on doit établir le tableau, est le point de l'oxygène, auquel est attribuée la valeur 90,19° K ($T_0 = 273,16°$ K). Les dérivées $\frac{dW}{dT}$ au point de l'oxygène ne coïncident pas selon qu'on les calcule à partir du tableau ou de l'Échelle Internationale; la différence atteint 0,2 %. C'est une conséquence du caractère approximatif de la relation entre W et T dans l'Échelle Internationale de 1948.

Les relations dérivées de W(T) dans le tableau établi d'après le thermomètre L 6 du N. B. S. [3], ont des écarts plus grands qu'il serait à désirer.

Les différences entre notre tableau et le tableau publié par le N. B. S. montrent quelques irrégularités. Ceci peut être le résultat des erreurs apparues dans le tableau du N. B. S. aux raccordements entre les domaines où les résultats expérimentaux ont été compensés par une formule en série de puissances.

Nous proposons de recommander aux Laboratoires qui ont la possibilité de graduer complètement ou partiellement le platine actuel pur entre 10 et 90° K, de comparer leurs résultats avec ceux de notre tableau, ce qui peut devenir la marche à suivre vers l'extension de l'Échelle Internationale aux basses températures. Ensuite, nous voudrions qu'on recommande la recherche

d'une méthode satisfaisante de réduction des échelles des thermomètres au tableau.

De notre côté, nous faisons dans ce domaine l'étude d'une série d'échantillons de platine, qui doit nous donner des résultats quantitatifs sur ce que l'on peut tirer de la règle de Matthiessen et sur la différence du comportement thermométrique de la résistance de différentes qualités de platine. Nous espérons établir une corrélation entre $W_{100}^{\circ}\text{C}$, la résistance résiduelle et les caractéristiques thermiques du platine au-dessous de 90°K .

Nous trouvons que le degré de concordance entre l'échelle, déterminée par notre tableau, et le tableau thermodynamique suffit pour les besoins actuels. L'erreur du tableau lui-même conduit à un écart approchant $\pm 0,1$ degré par rapport à l'échelle thermodynamique.

Les erreurs des valeurs numériques adoptées pour le deuxième coefficient du viriel de l'hélium et pour le coefficient de dilatation du cuivre peuvent introduire dans le tableau des écarts atteignant $\pm 0,01$ degré.

L'erreur sur la valeur numérique attribuée actuellement à la température du point de l'oxygène dans l'Échelle Internationale et sur celle de la température de fusion de la glace dans l'échelle Kelvin est la source d'un écart systématique entre l'échelle du tableau et l'échelle thermodynamique.

En désignant par $T^{\circ}\text{K}$ (thermodyn.) la température thermodynamique, par $T^{\circ}\text{K}$ (tabl.) la température définie par le tableau et par $T_{(0_2)}^{\circ}\text{K}$ la température corrigée d'ébullition de l'oxygène à la pression normale [$T_{(0_2)}^{\circ}\text{K} = T^{\circ}\text{K} + t_{(0_2)}^{\circ}\text{C}$], nous caractérisons notre tableau par l'expression

$$T^{\circ}\text{K} (\text{thermodyn.}) = T^{\circ}\text{K} (\text{tabl.}) \frac{T_{(0_2)}^{\circ}\text{K}}{90,19} \pm 0,02.$$

BIBLIOGRAPHIE.

- [1] W. H. KEESOM et A. HYL, *Leiden Commun.*, n° 242-b.
- [2] F. HENNING et J. OTTO, *Phys. Z.*, t. 37, 1936, p. 601.
- [3] H. J. HOGE et F. G. BRICKWEDDE, *J. Res. N. B. S.*, t. 22, 1939, p. 351.
- [4] A. S. BOROWIK-ROMANOV et P. G. STRELKOV, *C. R. Acad. Sc. U. R. S. S.*, t. 83, 1952, p. 59 (voir aussi *Procès-Verbaux du Comité Consultatif de Thermométrie*, 1952, Annexe T2, p. T 32).

- [5] A. S. BOROWIK-ROMANOV, M. P. ORLOWA et P. G. STRELKOV, *Établissement de l'échelle des basses températures à l'aide d'un tableau de graduation d'un groupe de thermomètres à résistance de platine*, 1954.
- [6] H. J. HOGG, *J. Res. N. B. S.*, t. 44, 1950, p. 321.
- [7] M. P. ORLOWA, *Thèse*, 1953.

ANNEXE T 19

Tokyo Institute of Technology (Japon).

NOUVELLES MESURES DU
POINT DE SOLIDIFICATION DE L'ARGENT

par J. OISHI, M. AWANO et T. MOCHIZUKI.

(Traduction.)

A la Neuvième Conférence Générale des Poids et Mesures en 1948, on a adopté pour la deuxième constante du rayonnement de Planck, C_2 , la valeur 1,438 cm.degré d'après les valeurs les plus récentes des constantes atomiques. Néanmoins, faute de mesures nouvelles, on a dû conserver pour le point de solidification de l'or la valeur adoptée 40 ans auparavant de 1063° C. Le texte de l'Échelle Internationale de Température de 1948, à la fin, dit que : « La valeur 1063° C pour le point de l'or a été acceptée en tant que définition conventionnelle et le restera sans aucun doute jusqu'à l'apparition de résultats fondamentaux nouveaux et plus exacts ». En conséquence, nous avons entrepris une mesure du point de l'or au thermomètre à gaz, et nous donnons ici un rapport préliminaire sur la mesure du point de l'argent, point fixe important dans la région des hautes températures.

THERMOMÈTRE A GAZ ET THERMOSTATS. — Les mesures ont été effectuées au moyen d'un thermomètre à gaz à volume constant rempli d'azote.

Le volume du réservoir de gaz, en silice vitreuse pure, mesuré expérimentalement est donné par

$$V_{lp} = 205,725(1 + 1,62 \cdot 10^{-6} t + 3,7 \cdot 10^{-8} p) \text{ cm}^3;$$

$V_{t,p}$ est le volume à la température t° C, la pression intérieure étant p en mètre de mercure et la pression extérieure 1 atmosphère. On a pris soin d'attendre environ 50 heures pour le refroidissement du réservoir, depuis la température élevée jusqu'à la température ambiante, afin de réduire l'effet de la dépression du point zéro du réservoir de silice.

La quantité de gaz introduite dans le thermomètre était ajustée de telle sorte que la pression soit environ 1 atmosphère à la température élevée, afin d'éviter une déformation éventuelle du réservoir sous l'influence de la différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur.

Afin de réduire le gradient de température dans la colonne de mercure des tubes manométriques, ces tubes, en verre, d'un diamètre de 20 mm, étaient entourés de cylindres d'aluminium dont les parois avaient une épaisseur de 10 mm; la différence de température sur un mètre a été ainsi réduite à moins de 0,5 degré, deux fois moins que celle qu'aurait présentée une colonne non protégée. Lorsque la pression du gaz est de 1 atmosphère au point de l'argent, elle devient 170 mm de mercure au point de fusion de la glace. Il suffisait de mesurer la température moyenne de la colonne de mercure du manomètre avec une exactitude de 0,4 degré au point de l'argent pour que la mesure de la pression soit exacte à 6.10^{-5} près. Ce baromètre était donc tout à fait satisfaisant pour les besoins de cette mesure. Les cylindres d'aluminium étaient percés de deux ouvertures à travers lesquelles on observait au cathétomètre le ménisque supérieur et le ménisque inférieur de mercure.

Le volume de l'espace nuisible ($1,126 \text{ cm}^3$) a été mesuré par pesée de mercure.

Le thermostat utilisé au point de fusion de la glace est le même que celui qui avait servi à l'un des auteurs (1).

Le thermostat au point de l'argent était un four électrique, à résistance de nichrome, dont le diamètre intérieur était 10 cm, le diamètre extérieur 30 cm et la hauteur 70 cm; sa température était uniforme à 0,2 degré près à 1000° C. Un cylindre de cuivre pur, dont les parois avaient 13 mm d'épaisseur, recouvert complètement à l'extérieur, à l'intérieur et aux deux extrémités par du graphite, était placé en contact avec la paroi intérieure du tube

(1) M. KINOSHITA et J. OISHI, *Phil. Mag.*, t. 24, 1937, p. 52.

d'alumine du four au centre duquel se trouvait le réservoir du thermomètre à gaz. La puissance électrique fournie au fil résistant du four était contrôlée automatiquement par un système de relais comportant une cellule photoélectrique, un galvanomètre sensible, un potentiomètre et un couple thermoélectrique platine-platine rhodié à 10 % introduit dans la paroi du four. La température du thermostat était ajustée au point de l'argent à l'aide d'un thermocouple étalon de platine-platine rhodié à 10 % introduit dans la paroi du cylindre de cuivre; sa force thermoélectrique avait été déterminée au moyen d'un lingot d'argent pur de 900 g dans un creuset de graphite.

RÉSULTATS DES MESURES. — Les mesures ont été faites dans l'ordre suivant : d'abord au point de fusion de la glace, puis au point de l'argent, et enfin à nouveau au point de fusion de la glace. Voici par exemple une série de mesures $p_{0i} = 167,47$, $p_{Ag} = 744,55$ et $p_{0f} = 167,48$, p_{0i} , p_{0f} et p_{Ag} étant respectivement, en millimètres de mercure, la pression initiale, la pression finale au point de fusion de la glace et la pression au point de l'argent.

On a observé que la pression avait tendance à augmenter graduellement, d'une quantité qui atteignait parfois quelques centièmes de millimètre de mercure, entre la pression initiale et la pression finale au point de fusion de la glace. Par conséquent, à la pression du point de glace, on a pris la moyenne des deux valeurs. Jusqu'ici cinq séries de mesures ont été faites, qui donnent pour la température thermodynamique du point de l'argent les valeurs suivantes, T_0 étant pris égal à $273,15^\circ \text{K}$:

$t_{Ag} (^\circ\text{C})$.

961,3

961,1

961,1

961,1

961,2

Moyenne : 961,2

DISCUSSION DES RÉSULTATS. — On suppose que l'accroissement progressif de la pression du gaz s'explique par la diffusion de gaz à travers la paroi du réservoir de silice aux températures élevées; l'effet de la diffusion serait le plus notable à environ 700°C car, dans le cas présent, de l'azote se trouve à l'intérieur du réservoir

et de l'air à l'extérieur ⁽²⁾. Par conséquent, si le refroidissement du réservoir à partir des températures élevées s'effectue assez rapidement au voisinage de 700° C, l'effet de la diffusion sera réduit au minimum.

On peut déterminer avec une exactitude de $\pm 0,1$ degré la température t_v au point de l'argent donnée directement par le thermomètre à gaz à volume constant. L'on pense que t_v serait plus petit que la température thermodynamique t d'environ 1,0 degré à la pression initiale (au point de fusion de la glace) $p_0 = 1\ 000$ mm. de mercure pour l'azote. Dans le cas présent, $t - t_v = 0,17$ degré pour $p_0 = 170$ mm de mercure. En conséquence, nous considérons que la température thermodynamique du point de l'argent, dans les mesures présentées ici, a pu être déterminée avec une exactitude meilleure que $\pm 0,2$ degré, compte tenu des erreurs provenant du thermostat à température élevée, du couple étalon, de l'espace nuisible, de la tendance à l'accroissement de pression, de la réduction de la température du thermomètre à gaz à la température thermodynamique, etc. Bien que nos mesures ne soient pas encore achevées, nous pensons qu'il convient d'examiner à nouveau ce qui est dit à la fin du texte de l'Échelle Internationale de Température de 1948 : « Le passage de 960,5 à 960,8° C est bien dans les limites d'incertitude de la fixation du point de solidification de l'argent dans l'échelle thermodynamique », puisque, à présent, l'on s'attend à pouvoir déterminer la température thermodynamique avec une exactitude de 0,2 degré au point de l'argent.

(30 mars 1954.)

(²) S. DUSHMAN, *Vacuum Technique*, John Wiley Inc., 1949, p. 534.

ANNEXE T 20.

National Research Council (Canada).

LA STABILITÉ
DE LA TEMPÉRATURE DE SOLIDIFICATION
DU ZINC TRÈS PUR

par E. H. McLAREN.

(Traduction.)

A la réunion de 1948 du Comité Consultatif de Thermométrie, Kolossov a proposé ⁽¹⁾ que le point de solidification du zinc remplace le point de l'argent dans l'échelle du couple thermo-électrique, et en 1952 il a proposé de plus ⁽²⁾ que le point du zinc remplace le point du soufre en tant que point fixe primaire dans l'Échelle Internationale de Température. Les travaux effectués dans notre laboratoire au cours des deux dernières années ont confirmé que le point du zinc s'obtient facilement et qu'il est reproductible avec un degré d'exactitude plus élevé que le point du soufre ⁽³⁾.

Des échantillons cylindriques de zinc New Jersey S. P. ⁽⁴⁾ (redistillé, 99,999 %) d'un kilogramme, exposés à l'air, sont refroidis dans un four à bloc de cuivre fortement calorifugé. On a mesuré la température dans l'axe de la masse fondue avec un thermomètre

⁽¹⁾ A. G. KOLOSsov, *Procès-Verbaux du Comité International des Poids et Mesures*, t. XXI, 1948, p. T 95.

⁽²⁾ *Procès-Verbaux C. I. P. M.*, t. XXIII-B, 1952, p. T 22.

⁽³⁾ E. H. McLAREN, *J. Appl. Phys.*, t. 25, 1954, p. 808.

⁽⁴⁾ H. M. CYR, *Trans. Amer. Electr. Chem. Soc.*, t. 52, 1927, p. 349.

à résistance de platine du type Meyer et un pont de Mueller G2 de Leeds et Northrup muni d'une décade supplémentaire de 10^{-5} ohm (5). Lorsqu'on chauffe et qu'on refroidit assez rapidement, on obtient les courbes de fusion et de solidification caractéristiques des alliages de zinc; la différence de température entre les points anguleux correspondant au solide et au liquide sur une courbe de fusion de zinc S. P. est environ 0,001 degré. Lorsque la vitesse de refroidissement est suffisamment réduite on obtient une courbe temps-température présentant un plateau. La température du plateau est stationnaire à $\pm 5 \cdot 10^{-3}$ degré pendant des durées qui dépendent de la vitesse de refroidissement. La forme en plateau est due probablement à une séparation hors d'équilibre et à la formation subséquente d'un noyau pendant la congélation lente. Afin de réduire la durée pendant laquelle le thermomètre est dans la région de surfusion (durée qui peut atteindre 2 heures dans une congélation lente normale), on congèle un manteau de zinc sur le puits axial thermométrique et la température du plateau est réalisée en 15 minutes environ. Pendant ces congélations provoquées, le manteau fournit sans doute autour de la bobine du thermomètre une intersurface pour la formation du noyau. On n'a trouvé aucune différence mesurable de la température du plateau entre les congélations provoquées et les congélations lentes normales.

REPRODUCTIBILITÉ DU POINT DU ZINC. — La température de plateau de trois échantillons de zinc S. P., provenant de différents lots de distillation, a été mesurée pendant une période de six semaines comportant 26 congélations en août-septembre 1953. L'écart moyen des températures de plateau pour ce groupe était inférieur à $2 \cdot 10^{-3}$ degré, comme le montre la figure 1. On a trouvé que la température de congélation du zinc varie de $0,0043 \pm 0,0001$ degré pour une variation de pression d'une atmosphère.

En mars-avril 1954, on a fait une autre série de 28 congélations des trois échantillons de zinc S. P.; là encore il était impossible de distinguer les divers échantillons d'après la valeur de R_{Zn} , bien que la durée totale du traitement thermique à 420° C ait été respectivement 79, 32 et 15 jours. L'écart moyen pour les 28 congé-

(5) R. M. LELACHEUR, *Rev. Sc. Inst.*, t. 23, 1952, p. 383.

lations était encore de $\pm 2.10^{-4}$ degré, mais la température calculée montrait une élévation de 0,0006 degré par rapport aux mesures d'août-septembre 1953. On estime que des erreurs équivalant à 0,0003 degré pourraient être attribuées aux erreurs d'étalonnage au point triple et aux erreurs d'étalonnage du pont. Il resterait donc à expliquer 0,0003 degré. Il sera effectué une série de mesures comparatives destinées à montrer s'il est possible que le coefficient $\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100 R_0}$ du thermomètre ait pu augmenter par suite d'un traitement thermique prolongé. Une élévation de

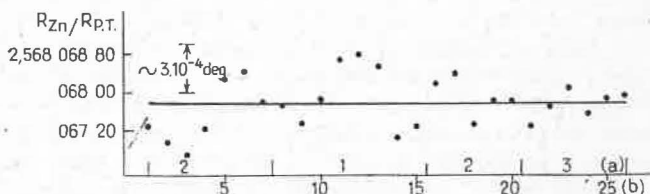


Fig. 1. — Reproductibilité de la température de solidification du zinc (août-septembre 1953).

En abscisses : (a) N° d'échantillon de zinc; (b) N° de congélation.

Moyenne de $\frac{R_{Zn}}{R.P.T.} = 2,568\ 067\ 8$; écart moyen par rapport à cette moyenne $\pm 1,4.10^{-4}$ deg.

la température de solidification du zinc de 0,0006 degré équivalait à un accroissement inférieur à $15\ \mu\Omega$ de l'intervalle fondamental d'un thermomètre de $25\ \Omega$; cette quantité est trop petite pour être décelée avec certitude par les techniques usuelles du point d'ébullition de l'eau.

L'écart moyen de l'intervalle fondamental du thermomètre S167 déterminé pendant une période de six semaines au National Bureau of Standards, était $\pm 28\ \mu\Omega$ d'après les indications obtenues au point d'ébullition de l'eau⁽⁶⁾. Notre écart moyen de 2.10^{-4} degré sur la température de solidification du zinc pendant une période de durée comparable équivaut à une reproductibilité mesurée de $\pm 5\ \mu\Omega$ de l'intervalle fondamental. Il apparaît donc que le point de solidification du zinc montre quelque supériorité

(6) Cf. H. F. SIMSON, ce volume, Annexe T 11, p. T 96.

sur le point d'ébullition de l'eau en tant que point fixe pour l'intercomparaison d'appareils de mesure de température entre divers laboratoires nationaux.

ACCROISSEMENT DE R_0 . — La résistance au point triple R_{PT} et la résistance de plateau R_{Zn} du thermomètre sont indiquées à la figure 2. On peut voir que R_{PT} et R_{Zn} augmentent d'une façon à

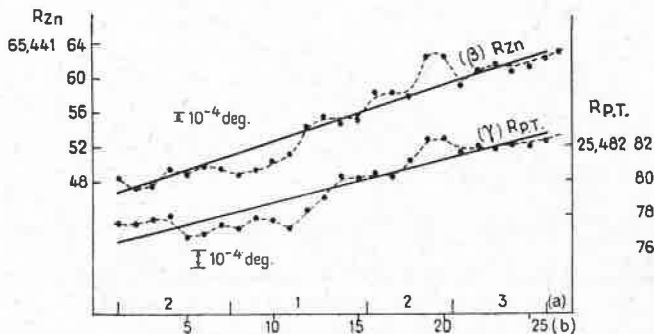


Fig. 2. — Valeurs des résistances R_{Zn} et $R_{P.T.}$ du thermomètre (août-septembre 1953).

En abscisses : (a) N° d'échantillon de zinc; (b) N° de congélation.

En ordonnées : Résistances en « unités du pont de mesure (u. p.) ».

Écart moyen de R_{Zn} autour de (β) : $12 \cdot 10^{-6}$ u. p.;

Écart moyen de $R_{P.T.}$ autour de (γ) : $6,2 \cdot 10^{-6}$ u. p.

peu près linéaire avec la durée d'immersion à la température de solidification du zinc. La figure 3 représente la variation de R_{Zn} pour un thermomètre immergé en permanence pendant huit jours à environ 420°C . Trois thermomètres étudiés jusqu'ici montrent un accroissement de R_0 d'environ 2 à $4 \cdot 10^{-6} \Omega$ par journée de traitement thermique à 420°C . Cet accroissement de R_0 pendant un traitement thermique prolongé est comparable aux résultats rapportés par Barber ⁽⁷⁾ et Stimson ⁽⁸⁾. Sur ce phénomène des recherches plus complètes sont en cours, comportant une étude de

⁽⁷⁾ Procès-Verbaux C. I. P. M., t. XXIII-B, 1952, p. T 64.

⁽⁸⁾ H. F. STIMSON, Procès-Verbaux C. I. P. M., t. XXIII-B, 1952, p. T 106.

l'effet des traitements thermiques et de cycles thermiques rapides sur plusieurs thermomètres.

Pour poursuivre les recherches sur la stabilité à long terme de

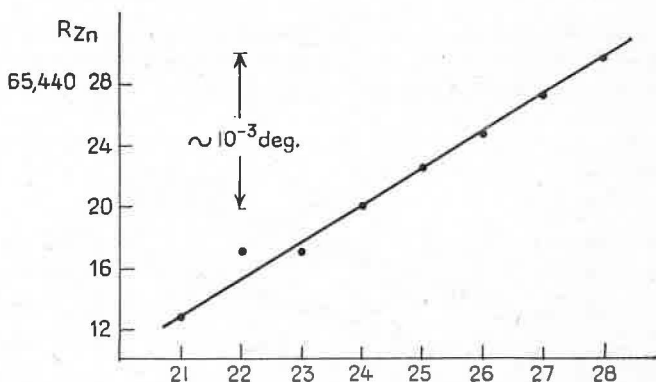


Fig. 3. — Moyenne journalière de la résistance R_{zn} du thermomètre S 156 continuellement immergé à 42° C environ.

En abscisses : Dates.

En ordonnées : résistance en « unités du pont de mesure ».

Dates.	Nombre de congélations.
21 octobre 1952.....	5
22 »	5
23 »	6
24 »	5
25 »	5
26 »	5
27 »	3
28 »	1
	35

l'appareillage des mesures de température, un travail intensif sur la reproductibilité des ampoules à point triple de l'eau, des thermomètres et du pont est nécessaire. Ce travail est mis en route actuellement.

ANNEXE T 21.

National Research Council (Canada).

ANALYSE THERMIQUE
DU ZINC DE GRANDE PURETÉ

par E. H. McLAREN.

(Traduction.)

Le contenu en impuretés susceptibles de modifier les propriétés thermométriques des métaux très purs peut être déterminé par une analyse thermique de précision [1-3]. On a procédé à une telle étude du zinc dans notre laboratoire, par une technique simple dans laquelle la température du four est ajustée quelques degrés au-dessus ou au-dessous du point de fusion tandis que la température du thermomètre placé dans l'axe du four est observée d'une façon continue. On a étudié des échantillons de zinc New Jersey C. P. (99,999 %) et S. P. (C. P. redistillé) par des congélations normales et par des congélations provoquées (voir Annexe T 20, p. T 152).

La figure 1 montre des courbes de fusion et de congélation typiques obtenues à une vitesse de transformation relativement rapide. Les températures indiquées par ces courbes s'étendent sur un certain domaine comme les courbes des alliages, cette caractéristique étant moins prononcée sur les courbes de congélation puisque la surfusion empêche l'échantillon d'atteindre, dès le début, la température correspondant au liquide en équilibre.

La figure 2 contient la courbe d'une congélation très lente (0,04 degré par minute avant la stabilisation), et la courbe obtenue le jour suivant, l'échantillon ayant été maintenu à quelques degrés au-dessous de la température de congélation

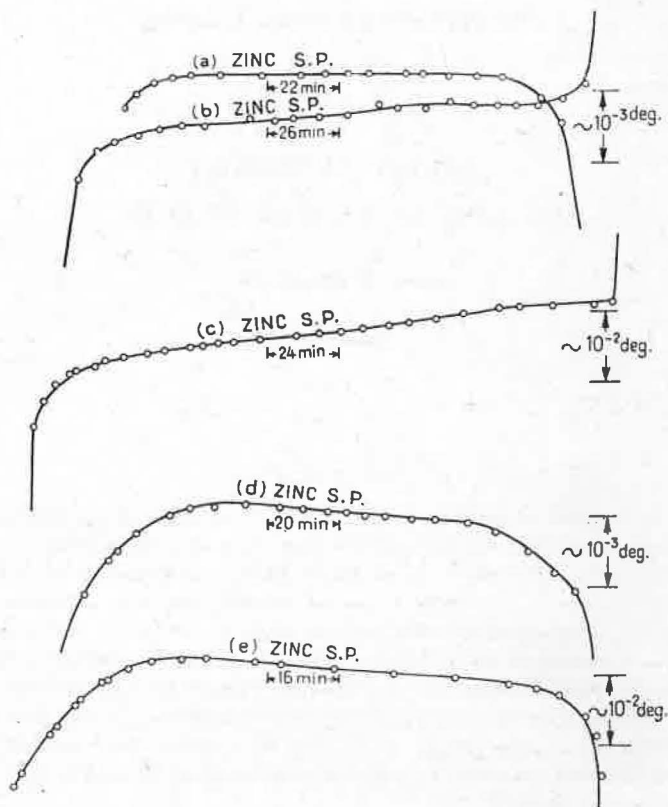


Fig. 1. — (a) Congélation rapide provoquée; (b) Fusion; (c) Fusion; (d) Congélation rapide normale; (e) Congélation rapide normale.

pendant 14 heures. La courbe de congélation présente un plateau que l'on attribue à une séparation hors d'équilibre des corps dissous, c'est-à-dire que la surface de séparation liquide-solide rejette les atomes dissous pendant la formation du noyau

solide [6-14]. La courbe de fusion révèle que l'influence de la congélation en noyau se fait encore sentir, puisque l'homogénéisation du solide pendant le recuit a été négligeable.

Pour que la séparation des impuretés se produise au point de fournir une température sensiblement constante de la surface de séparation pendant une longue durée, il apparaît nécessaire que le débit de chaleur à travers la surface de séparation soit très faible. Lorsque ce débit devient trop grand, la surface de séparation ne

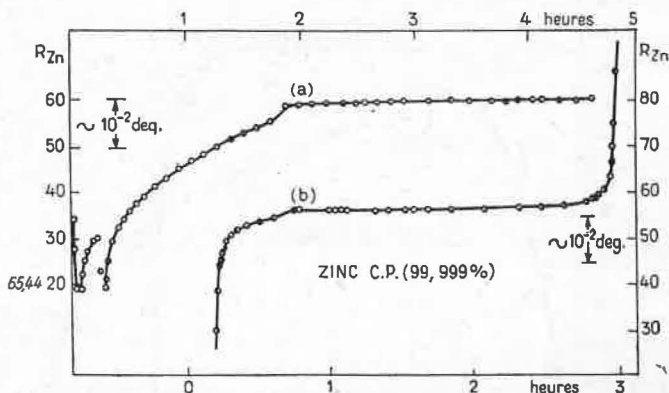


Fig. 2. — (a) Congélation très lente normale présentant un plateau (16 février 1953); (b) Fusion lente, montrant un souvenir de la congélation fortement noyautée (17 février 1953).

En ordonnées : Valeurs de R_{Zn} en « unités du pont de mesure ».

peut plus se maintenir à température constante; elle doit accepter continuellement des atomes d'impuretés en nombre croissant, et l'on obtient alors la courbe de congélation caractéristique des alliages. Même dans ce cas, cependant, le solide qui vient de se congeler n'a pas la même composition que la partie dissoute, et la formation d'un noyau et la séparation hors d'équilibre se produisent encore, mais à un degré moindre que dans les congélations lentes.

La figure 3 montre à la fois une congélation rapide provoquée et une congélation rapide normale du même échantillon de zinc C.P. Le régime du four était ajusté de façon que la vitesse de refroidissement soit la même dans les deux cas. Dans une congélation provoquée, après que la surface du manteau solide en contact

avec le liquide soit parvenue à l'équilibre thermique avec son entourage, cette surface n'est traversée que par un flux de chaleur très faible, car l'échantillon est dans un four fortement calorifugé tandis que la différence de température à travers la partie fondue, entre la surface du manteau et la surface extérieure de l'alliage, n'est que 10^{-3} degré environ. Ce faible flux de chaleur à travers la surface du manteau permet le rejet des atomes d'impuretés

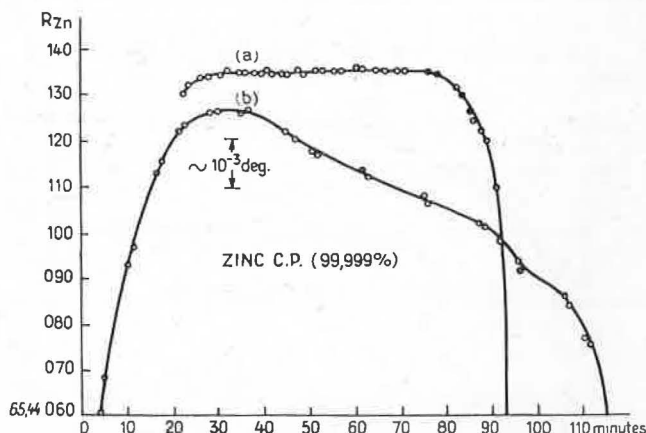


Fig. 3. — (a) Congélation rapide provoquée; (b) Congélation rapide normale.

En ordonnées : Valeurs de R_{Zn} en « unités du pont de mesure ».

comme dans le cas d'une congélation lente normale et donne le même résultat : une progression très lente de cette intersurface.

La reproductibilité des températures de plateau provoquées de trois échantillons de zinc New Jersey S. P. a été déjà décrite. Un travail préliminaire sur cinq échantillons de zinc New Jersey C. P. a montré que, bien que les températures de plateau soient reproductibles pour chaque échantillon, à environ $\pm 0,0002$ degré, les différences d'un échantillon à l'autre sont environ $0,001$ degré. Ceci est attribué à des différences sensibles dans la concentration en impuretés des divers échantillons.

Les courbes thermiques désignées par zinc C. P. ont été obtenues avec l'échantillon de Zn S.1 ; les courbes désignées par zinc S. P. avec l'échantillon Zn S.1. Le tableau suivant donne le résultat

de l'analyse de l'un des échantillons de zinc New Jersey C. P., ainsi que de l'échantillon S.1 de zinc New Jersey S. P. avant son utilisation dans les expériences. Ces résultats ont été aimablement fournis par Mr. E. A. Anderson, de la New Jersey Zinc Company.

Proportion d'impuretés.

C. P.	(%).	S. P. (S. 1).	(%).
Pb.....	0,000 1	Pb.....	< 0,000 2
Cd.....	0,000 05	Cd.....	< 0,000 05
Fe.....	0,000 4	Cu.....	xf ¹
Cu.....	0,000 05	Mg.....	xf
As.....	0,000 004	Si.....	xf — vf
Sn.....	0,000 05		

(xf : raie à peine visible; vf : raie un peu plus intense).

RÉFÉRENCES.

- [1] W. HUME-ROTHERY, J. W. CHRISTIAN et W. B. PEARSON, *Metallurgical Equilibrium Diagrams* (The Institute of Physics, 1952).
- [2] T. F. RUSSEL, *J. Iron and Steel Inst.*, t. 139, 1939, p. 147.
- [3] A. WEISSBERGER, *Physical Methods of Organic Chemistry*, Part I (Interscience Publishers Inc., New York, 1945).
- [4] C. S. SMITH, *Trans. Amer. Inst. Min. Metall. Engrs.*, t. 137, 1940, p. 236.
- [5] *Thermal Analysis of Metals and Alloys*, A. S. T. M. Standards Part I, 1952, p. 1417.
- [6] E. HEYN et M. A. GROSSMANN, *Physical Metallurgy* (John Wiley and Sons Inc., New York, 1925).
- [7] B. CHALMERS, *J. Metals*, t. 6, 1954, p. 519.
- [8] W. A. TILLER, K. A. JACKSON, J. W. RUTTER et B. CHALMERS, *Acta Metall.*, t. 1, 1953, p. 428.
- [9] W. G. PFANN, *Trans. Amer. Inst. Metall. Eng.*, t. 194, 1952, p. 747; *J. Metals* (July 1952).
- [10] W. G. PFANN, *Trans. Amer. Inst. Metall. Eng.*, t. 194, 1952, p. 861; *J. Metals* (August 1952).
- [11] W. G. PFANN, *J. Metals*, t. 6, 1954, p. 294.
- [12] M. TANENBAUM, A. J. GOSS et W. G. PFANN, *J. Metals*, t. 6, 1954, p. 762.
- [13] N. W. LORD, *J. Metals*, t. 5, 1953, p. 1531.
- [14] A. B. MICHAEL et M. B. BEVER, *J. Metals*, t. 6, 1954, p. 47.
- [15] P. J. E. FORSYTH, *Rev. Metall.*, t. 51, 1954, p. 326.

ANNEXE T 22.

National Research Council (Canada).

COMPARAISON DE HUIT THERMOMETRES
A RÉSISTANCE DE PLATINE
AU POINT DU ZINC (1)

par E. H. McLAREN.

(Traduction.)

Huit thermomètres à résistance ont été utilisés pour déterminer la température calculée du point de solidification du zinc. Sept de ces thermomètres ont été construits par C. H. Meyers et étaient munis de Certificats d'étalonnage du National Bureau of Standards, Washington; le huitième thermomètre, du type Barber, était construit par Tinsley (Angleterre) et était accompagné d'un Certificat d'étalonnage du National Physical Laboratory.

Avant les mesures au point du zinc, tous les thermomètres ont été recuits à approximativement 440°C jusqu'à ce que la résistance au point triple de l'eau et pour un courant nul ($R_{(0,PT)}$) commence à augmenter légèrement avec le traitement thermique. Cette technique a été trouvée indispensable pour la préparation d'un thermomètre à résistance destiné à des travaux de la plus haute précision. Pour les thermomètres Meyers, la plus grande diminution initiale mesurée de $R_{(0,PT)}$ avec le traitement ther-

(1) A la demande du National Research Council, quelques corrections concernant le thermomètre Tinsley E1 ont été apportées au texte polycopié (Document n° 23) remis aux Membres du Comité Consultatif de Thermométrie.

mique a été de $132\mu\Omega$; la diminution correspondante pour le thermomètre Tinsley était de $961\mu\Omega$.

Les résistances « de plateau » de deux congélations provoquées ont été déterminées pour chaque thermomètre sur un de nos échantillons de zinc (échantillon n° 3). Les résistances au point triple ont été déterminées avant et après chaque congélation de zinc. La même cellule à point triple de l'eau a été utilisée tout au long de ces recherches et aucune mesure n'a été faite moins de 24 heures après qu'un nouveau manteau de glace ait été préparé, ceci dans le but de diminuer l'effet de réchauffement du nouveau manteau. Le rapport du pont de mesure et le zéro du pont ont été continuellement contrôlés et tous les résultats ont été corrigés pour être ramenés à un rapport unité et à un zéro réel. Les résistances des thermomètres au point du zinc ont été ramenées à la pression normale. Les thermomètres étaient immergés à la même profondeur dans le zinc, mais on n'a pas calculé de correction de pression hydrostatique par suite de l'incertitude d'une telle correction. A ce sujet, des expériences faites avec un thermomètre Meyers n'ont pas permis de déceler de différences mesurables de température lors d'un déplacement axial de 10 cm du thermomètre dans un bain de 20 cm. Cependant la correction hydrostatique normale a été appliquée aux valeurs de la résistance dans le point triple de l'eau. Les résultats ont été également transformés par application des corrections du pont.

Les calculs de la température pour les thermomètres Meyers ont été effectués à partir des constantes du N. B. S. déterminées pour un courant de mesure de 2 mA. Les calculs de la température pour le thermomètre Tinsley ont été effectués en utilisant les valeurs de la résistance avec un courant de 1 mA, parce que l'on a pensé qu'elles seraient ainsi conformes aux constantes du Certificat du N. P. L. Les résultats de ces mesures sont donnés dans le tableau suivant. Les dates des Certificats d'étalonnage sont indiquées dans la colonne des constantes A. Le thermomètre Tinsley est désigné par E1. On peut voir que tous les thermomètres donnent des températures de solidification du zinc avec une dispersion de 0,01 degré.

Il est possible que *des différences dans les points fixes des étalonnages initiaux et qu'un écart à la loi de variation quadratique de la résistance en fonction de la température*

Températures de congélation calculées pour l'échantillon de zinc n° 3.
(Mesures de mai-juin 1954.)

Thermomètre.	A.	B. 10 ⁷ .	R _{Zn} (').	R _(0.PT) (').	Température	
					calculée (en °C).	moyenne (en °C).
S 173.	0,003 983 26	— 5,856 4	65,435 097	25,481 592	419,505 8	419,506
	Sept. 11/52		65,435 101	25,481 599	419,505 6	
S 178.	0,003 982 83	— 5,855 8	65,400 071	25,469 648	419,505 6	419,506
	Sept. 11/52		65,400 104	25,469 649	419,505 9	
S 156.	0,003 983 72	— 5,855 9	65,440 848	25,481 695	419,509 4	419,509
	Oct. 26/51		65,440 838	25,481 714	419,508 7	
S 163.	0,003 982 96	— 5,854 8	65,423 376	25,478 061	419,503 4	419,503
	Déc. 16/53		65,423 337	25,478 065	419,502 8	
S 163.	0,003 982 95	— 5,856 4	65,427 976	25,480 143	419,504 9	419,505
	Déc. 16/53		65,427 992	25,480 145	419,505 0	
S 213.	0,003 984 92	— 5,855 8	65,458 921	25,484 068	419,499 3	419,499
	Mars 16/54		65,458 948	25,484 077	419,499 4	
S 214.	0,003 984 91	— 5,856 2	65,458 742	25,483 997	419,502 7	419,502
	Mars 16/54		65,458 703	25,483 998	419,502 3	
E 1.	0,003 979 85	— 5,868	64,107 902	24,980 561	419,508 3	419,508
	Fév. 5/54		64,107 841	24,980 562	419,507 6	

(*) En « unités du pont », après application de toutes les corrections.

soient en partie responsables de cette dispersion. Nous estimons que le premier effet peut entrer en ligne de compte pour environ $\pm 0,005$ degré si l'incertitude sur A est de $\pm 2.10^{-8}$ et celle sur B de $\pm 2.10^{-11}$, auquel cas les résultats des sept thermomètres Meyers sont aussi concordants qu'il est possible de l'espérer actuellement. De même nous pensons que l'étalonnage du thermomètre Tinsley devrait donner des températures précises à $\pm 0,01$ degré.

Le thermomètre Tinsley E1 ayant un tube en pyrex de plus grand diamètre, exige un puits thermométrique plus grand dans

le bain de zinc et une congélation de contrôle a été effectuée avec le thermomètre S136 dans ce puits plus grand. La température calculée différerait au plus de 0,0002 degré de celle obtenue lorsque le thermomètre S136 était utilisé dans le puits de diamètre normal. Des mesures effectuées avec E1 pour des immersions de 15, 10 et 5 cm ont conduit, pour un courant de mesure de 1 mA, à des valeurs brutes de la résistance de 64,109 76, 64,109 67 et 64,109 31 b. u. respectivement (b. u. désignant l'unité du pont). Cette expérience montre que E1 est beaucoup plus sensible à l'immersion qu'un thermomètre Meyers.

Ces résultats sont intéressants à la lumière de la proposition russe (1954) au Comité Consultatif de Thermométrie (*cf.* Annexe T16, p. T122), qui donne pour la température de congélation du zinc $419,59^{\circ}\text{C} \pm 0,03$. Il apparaît que le désaccord entre ce résultat et les nôtres ne peut pas être dû à des impuretés dans notre zinc, car le zinc « New Jersey S. P. » a un point de fusion variant dans un intervalle de l'ordre de 0,001 degré seulement. Cependant, il semble également très improbable que le zinc russe contienne suffisamment de cuivre pour élever son point de fusion d'environ 0,1 degré, ou qu'il existe un effet isotopique différentiel marqué.

Nous sommes donc conduits à la conclusion que ces différentes températures attribuées au point de solidification du zinc reflètent les incertitudes qui affectent encore la réalisation de l'Échelle Internationale de Température au voisinage du point du soufre.

ANNEXE T 23.

National Physical Laboratory (Grande-Bretagne).

LA STABILITÉ DES THERMOMÈTRES
A RÉSISTANCE DE PLATINE
CONTENANT DE L'HÉLIUM

(Traduction.)

Le texte de l'Échelle Internationale de Température de 1948 stipule, concernant la construction du thermomètre étalon à résistance de platine, que : « Il est recommandé que le tube qui protège la bobine terminée soit rempli d'un gaz contenant un peu d'oxygène ». Au National Physical Laboratory, il est d'usage d'emplir les thermomètres avec de l'air sec à une pression d'environ 25 cm de mercure à la température ordinaire. Cette façon de faire est conforme à la recommandation citée ci-dessus. Il pourrait être avantageux cependant d'emplir le thermomètre d'un gaz inerte bon conducteur de la chaleur tel que l'hélium, puisque le retard du thermomètre et l'effet de chauffage du courant de mesure sont l'un et l'autre considérablement plus petits dans l'hélium que dans l'air. De plus, un thermomètre contenant de l'hélium est très désirable pour l'utilisation aux basses températures. La question se pose donc de savoir si, étant donné la recommandation de l'Échelle Internationale de Température, un thermomètre contenant de l'hélium pur est instable, et s'il en est ainsi, quelle est la plus petite adjonction d'oxygène nécessaire pour supprimer cette instabilité. Dans le but d'aider à trouver une réponse à ces questions, quelques expériences ont été faites concernant l'effet d'une atmosphère d'hélium sur la stabilité d'un thermomètre à résistance de platine.

Le plan de ces expériences a été de construire d'abord un thermomètre très stable contenant de l'air, comme d'usage, puis, la stabilité étant éprouvée, de l'emplir d'hélium pur et de contrôler à nouveau la stabilité. On obtiendra de la sorte une comparaison directe du remplissage d'air et d'hélium.

La résistance du thermomètre était formée de deux spirales de fil de platine de 0,1 mm (fil de Sheffield Smelting Co) supportées par deux tiges de silice parallèles sur lesquelles les spirales étaient libres de se mouvoir. L'enveloppe extérieure était également en silice et le thermomètre pouvait ainsi être recuit dans un four à haute température. Le thermomètre a été évacué pendant deux jours à une pression de 0,00001 mm de mercure, l'enveloppe étant chauffée à 400° C pendant une partie du temps. La résistance a été chauffée électriquement 10 minutes à 800° C pendant le pompage. On a introduit de l'air sec à une pression de 25 cm de mercure. Après avoir séparé le thermomètre des pompes par scellement, il a été chauffé 15 heures à 830-860° C.

On a ensuite contrôlé la stabilité en mesurant R_0 et $\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100 R_0}$

après des périodes de chauffage à 630° C, température maximum du domaine du thermomètre à résistance de platine dans l'Échelle Internationale. Les résultats obtenus sont montrés sur la figure, R_0 et α étant représentés en fonction du nombre d'heures de chauffage à 630° C.

Avec le remplissage d'air initial, la stabilité de R_0 est excellente; après une diminution qui équivaut à 0,005 degré dans la première heure, un chauffage ultérieur de 9 heures à 630° C, comportant quatre cycles 0-630-0° C, n'a pas produit de changement supérieur à $\pm 8 \cdot 10^{-7}$ en valeur relative ($\pm 0,0002$ degré). Simultanément α est resté constant dans les limites de 0,001 degré (*ce qui constitue la limite d'exactitude de la mesure*), gardant pendant cette période la valeur 0,003 922 25. Après avoir remplacé l'air par de l'hélium, on n'a pas trouvé de changement sensible de R_0 , mais la valeur de α a quelque peu baissé (0,003 922 18), quoique la différence par rapport à la valeur moyenne dans l'air corresponde seulement à 0,0017 degré.

Cependant lorsque le thermomètre a été chauffé à 630° C, R_0 a monté rapidement et α a diminué. Après chauffage prolongé, la valeur de R_0 est passée par un maximum qui se situe 0,009 degré au-dessus de la valeur dans l'air, puis a diminué à nouveau

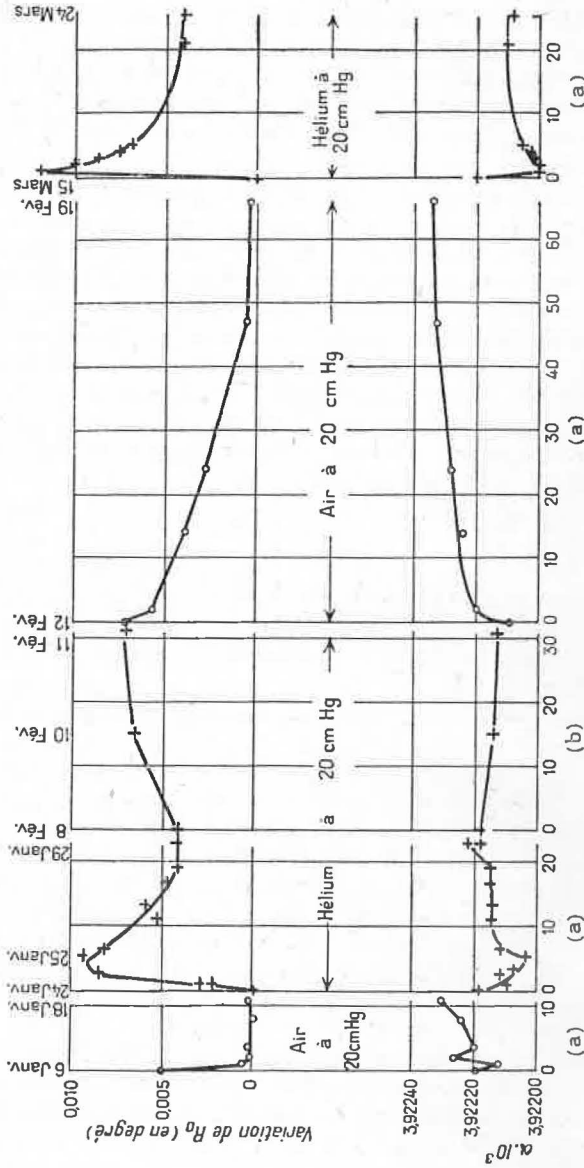


Fig. 1. -- En abscisses : Nombre d'heures à 630°C (a), à 450°C (b).

pour donner finalement, après 20 heures à 630° C, une valeur stationnaire qui est 0,004 degré au-dessus de la valeur dans l'air. Simultanément la valeur de α est descendue à un minimum équivalent à 0,005 degré au-dessous de la valeur dans l'air, et a atteint une valeur finale stationnaire 0,002 degré plus basse que la valeur dans l'air.

Le thermomètre a été chauffé ensuite à 450° C pendant 15 heures, toujours avec son atmosphère d'hélium; il en est résulté un accroissement de R_0 équivalent à 0,0025 degré; 16 heures supplémentaires à 450° C ont provoqué une nouvelle augmentation, très petite (0,0005 degré). Pendant ce temps, α n'a pas changé de façon sensible.

L'hélium a été ensuite remplacé par de l'air sans qu'il s'ensuive un changement notable de R_0 ni de α ; par un chauffage à 630° C on obtient une baisse progressive de R_0 et une augmentation de α , et après 50 heures de chauffage, R_0 retrouve une valeur stationnaire identique à celle du premier remplissage d'air. La valeur finale de α est légèrement plus élevée (d'une quantité équivalant à environ 0,002 degré).

Un second remplissage d'hélium a donné lieu aux mêmes observations que le premier. Le maximum de R_0 montre un accroissement de 0,012 degré au lieu de 0,009 degré et la valeur stationnaire, atteinte également après 20 heures de chauffage à 630° C, est identique à celle du premier remplissage. La valeur stationnaire de α correspond à 0,0015 degré au-dessous de celle du premier remplissage d'hélium.

On peut donc conclure qu'un thermomètre empli d'hélium est stable, pourvu qu'il ait reçu un traitement thermique suffisant à haute température. Les résultats montrent que l'atmosphère d'hélium conduit à des valeurs de R_0 et de α qui sont légèrement différentes de celles que l'on obtient dans l'air. Ce fait que la valeur de R_0 se reproduise très exactement à 10^{-6} près avec deux remplissages distincts successifs d'air et d'hélium souligne qu'un équilibre stable s'établit, équilibre correspondant sans doute à l'absorption de molécules gazeuses par le métal.

La petite augmentation de R_0 observée après chauffage à 450° C, bien qu'une valeur stable ait été acquise après chauffage à 630° C, suggère qu'il pourrait exister un équilibre légèrement différent à chaque température. Cet effet est cependant très petit, aucun

changement notable de α n'a été mis en évidence et une seule observation a été faite.

Le tableau suivant résume les valeurs stationnaires finales de R_0 , de α et de l'intervalle fondamental (I. F.).

	Air.		Hélium.	
	1 ^{er} remplissage.	2 ^e remplissage.	1 ^{er} remplissage.	2 ^e remplissage.
$R_0 \dots$	14,569 20 Ω	14,569 22 Ω	14,569 43 Ω	14,569 43 Ω
$\alpha \dots \dots$	0,003 922 25	0,003 922 33	0,003 922 18	0,003 922 10
I. F. ...	5,714 40 Ω	5,714 53 Ω	5,714 39 Ω	5,714 28 Ω

(Mai 1954.)

L'EMPLOI DE COMPOSÉS ORGANIQUES
COMME
REPÈRES THERMOMÉTRIQUES SECONDAIRES

par J. TIMMERMANS.

A. INTRODUCTION. — Nous n'examinerons ici que l'usage de la température de congélation (T. C.) pour la réalisation de repères thermométriques secondaires; en effet, la détermination exacte de la température de fusion est beaucoup plus délicate, et d'autre part l'usage de la température d'ébullition nécessite la mesure exacte de la pression, ce qui reste toujours une opération délicate; enfin, la détermination exacte de la température de congélation, ou plutôt du point triple vapeur-liquide-cristal, se fait à l'aide de courbes de refroidissement qui, par application des méthodes de Glasgow et Rossini et de Wichers, nous renseignent également sur le degré de pureté des échantillons étudiés.

La réalisation de tels repères a fait l'objet de nos préoccupations et de nos recherches expérimentales, depuis un grand nombre d'années, au Bureau International des Étalons Physico-chimiques de Bruxelles; il y a une trentaine d'années déjà, nous avons contrôlé au Laboratoire Cryogène de Leiden la température de congélation d'un certain nombre de liquides organiques purs, formant une série régulière entre 0° C et la température de l'air liquide: tétrachlorure de carbone (—23° C), chlorobenzène (—45° C), chloroforme (—63° C), toluène (—95° C), sulfure de carbone (—112° C), méthyl-cyclohexane (—123° C) et isopentane (—160° C).

L'emploi de cette série de repères a permis, par une méthode de contrôle aisée, d'assurer une bonne concordance des mesures des physicochimistes dans ce domaine, mais la précision atteinte dans leur étude ne répond plus au besoin de la métrologie actuelle.

Au cours de ces dernières années, Schwab et Wichers ont étudié l'emploi de l'acide benzoïque (+ 122° C), déjà utilisé comme repère international pour l'étalonnage des appareils de mesure des chaleurs de combustion, comme point secondaire susceptible de remplacer éventuellement, dans la pratique, la détermination du point 100° C de l'échelle thermométrique; et dans la section métrologique de mon laboratoire, Mathieu a déterminé, avec la plus grande précision possible, la température de fusion et le point triple des huit corps suivants :

	T. C. (°C).
Sulfure de carbone	— 111,89
Acétonitrile	— 43,867
Tétrachlorure de carbone.....	— 22,775
Benzène.....	5,520
Nitrobenzène.....	5,725
Benzophénone.....	48,10
Naphtalène.....	80,284
Acide benzoïque.....	122,374

Enfin, dans la belle série de recherches exécutées sous la direction de Rossini pour l'American Petroleum Institute, on a déterminé également un grand nombre de températures de congélation d'hydrocarbures purs; et de nombreux laboratoires des États-Unis l'ont suivi dans cette voie, au cours de leurs déterminations du coefficient de température de la chaleur spécifique.

On s'étonnera peut-être que dans ces conditions, il reste encore très difficile de proposer l'adoption de telle ou telle de ces valeurs comme repère international; c'est pour expliquer aux non-spécialistes la difficulté d'un tel choix, que j'ai rédigé la présente Note.

B. CONDITIONS QUE DOIT REMPLIR UN BON REPERE THERMOMETRIQUE. —
a. Au point de vue chimique. — 1. Il est indispensable que le composé choisi puisse être préparé dans un état de très grande pureté; exemple : on a préparé du benzène à 99,995 mol %.

2. Il est indispensable qu'une fois purifié, à la température ordinaire, le composé choisi conserve une stabilité parfaite lorsque, au cours des expériences elles-mêmes, on le porte à une température d'une dizaine de degrés supérieure à sa température de congélation: exemple: ceci est aisé à réaliser pour la benzophénone et le naphthalène, mais Wichers et Mathieu ont constaté tous deux que la température de congélation de l'acide benzoïque s'abaisse lentement, après chaque expérience, parce qu'il y a une très légère perte d'eau, avec formation de traces d'anhydride, et que cette réaction n'est pas suffisamment réversible.

3. Il est indispensable aussi, qu'il soit possible de conserver inaltérés, en prenant toutes les précautions nécessaires, les échantillons des substances devant servir d'étalons; à ce point de vue, il y a lieu de craindre l'action oxydante de traces d'air, l'influence de l'humidité restant adsorbée à la surface des récipients, la décomposition sous l'action de la lumière, etc. On arrivera quelquefois à éliminer complètement ces causes de variation de la température de congélation, en conservant les échantillons dans des récipients en verre coloré, dans lesquels on aura fait le vide, et scellés, de façon à posséder une cellule pour la détermination du point triple. Mais il reste toujours à craindre de ce chef, une faible altération des composés hygroscopiques tels que les alcools, avides d'anhydride carbonique comme les amines, oxydables comme les aldéhydes, sensibles aux rayons lumineux comme le sulfure de carbone, les dérivés bromés et iodés, etc.; au contraire, la stabilité du naphthalène et de la benzophénone par exemple est parfaite.

4. Enfin, toujours du point de vue chimique, il est souhaitable que la définition du système chimique considéré soit univoque; les ambiguïtés résultant de l'existence de stéréoisomères, *cis* et *trans* par exemple, d'isomères dynamiques comme l'acétaldéhyde et le paraldéhyde, de formes polymorphes monotropes comme pour l'iode de méthylène (T. C., $\alpha = 5,5^{\circ}$ C, $\beta = 5,0^{\circ}$ C), pourraient conduire à des erreurs d'étalonnage.

Comme physicochimiste, je dois signaler que le soufre, dont la phase liquide présente une constitution si complexe et dépendant de tant de facteurs, notamment de la présence insoupçonnée de catalyseurs (SO_2 par exemple), ne me paraît plus répondre aux exigences de la science contemporaine.

b. Au point de vue physique. — 5. La température de congélation doit être parfaitement nette, c'est-à-dire que la présence de traces d'isomères dynamiques ne doit pas entraîner, au lieu d'un palier horizontal de congélation, un tracé légèrement oblique de la courbe de refroidissement; Smits a eu l'occasion de signaler de tels cas insoupçonnés auparavant, entre des températures d'ailleurs fort proches, dans l'étude de la trilaaurine, du cyanogène et du soufre.

6. La chaleur latente de congélation doit être suffisamment élevée pour que le palier de congélation soit aussi proche de l'horizontale que possible, malgré l'influence réfrigérante du milieu extérieur; telle est la raison qui enlève une partie de leur efficacité, comme repères thermométriques, aux composés globulaires dont l'entropie de fusion est inférieure à 5, tels que le tétrachlorure de carbone.

7. A l'état fondu, il est souhaitable que les composés ne soient pas trop visqueux, sans quoi, on risque une grande surfusion et une faible vitesse de cristallisation, propriétés qui ont toutes deux pour effet de rendre plus difficile le réchauffement de la masse en voie de cristallisation jusqu'à la valeur exacte et maximum de la température de congélation et de réduire également la longueur du palier de congélation; telle est la raison qui rend l'usage de la benzophénone difficile.

8. Enfin, il est hautement souhaitable qu'avant d'accepter un repère international de cette nature, des recherches exécutées dans des laboratoires différents, faisant usage de matières premières différentes, de méthodes de purification et de critères de pureté différents, d'appareils de mesure et de méthodes de détermination de la température de congélation également différents, fournissent des résultats concordants, avec une précision supérieure à celle avec laquelle on désire définir le repère choisi; une telle concordance n'a pour ainsi dire jamais été atteinte jusqu'ici au millième de degré, et les résultats différant de 0,01 degré, obtenus pour la température de congélation du benzène, par des observateurs aussi soigneux que Rossini et Mathieu, montrent bien la nécessité de tels contrôles mutuels.

C. CONCLUSIONS. — On voudra bien reconnaître que l'ensemble des considérations précédentes montre la nécessité absolue, avant le choix des repères secondaires de l'échelle thermométrique, de

nouvelles recherches à réaliser par un accord international des spécialistes, recherches que notre Comité Consultatif devrait, me semble-t-il, encourager de tout son pouvoir.

Du point de vue pratique, il faudra naturellement tenir compte également, dans le choix de tels repères, de l'utilité primordiale que peut présenter la concordance des installations thermométriques de divers laboratoires, à 15, 20 et 25° C par exemple; de l'intérêt que présente le remplacement du point 100° C de l'échelle par un autre repère plus aisé à réaliser; et enfin de l'utilité d'une série de repères thermométriques, à peu près équidistants, à établir dans le plus large intervalle de température possible.

Une fois un tel accord obtenu, on pourrait charger un de nos grands laboratoires spécialisés, de préparer des cellules à point triple, contenant tel ou tel corps, et de les distribuer accompagnées d'un certificat de contrôle et d'une notice sur le mode d'emploi; c'est la méthode déjà suivie notamment par l'Union Internationale de Chimie, dont l'étalon thermo-chimique est distribué par le National Bureau of Standards de Washington.

Il n'y a pas lieu d'hésiter aujourd'hui à entreprendre la réalisation d'un tel programme de recherches, car il semble bien qu'un certain nombre de catégories de substances organiques présentent l'ensemble des critères chimiques et physiques, théoriques et pratiques, qui sont nécessaires; tels sont notamment beaucoup d'hydrocarbures saturés du groupe des paraffines et des polyméthylènes, ainsi que bon nombre d'hydrocarbures aromatiques, certains mono et bi-dérivés chlorés de ces hydrocarbures (le chlorure d'éthylène et le chlorobenzène par exemple), certaines cétones comme l'antraquinone, des dérivés nitrés aromatiques, quelques composés persubstitués du méthane et d'autres hydrocarbures, tels le tétrachlorure de carbone, le tétranitrométhane, l'anhydride carbonique, etc.

Enfin, je tiens à faire remarquer que les efforts considérables encore nécessaires pour réaliser un tel programme, ne peuvent manquer de fournir des résultats scientifiques de la plus haute importance en métrologie. L'existence de tels étalons, dont la constance pratiquement absolue et la reproductibilité parfaite sont des postulats de la chimie physique contemporaine, permettra la vérification répétée et directe de l'invariabilité de l'échelle thermométrique, telle que les instruments modernes les plus perfectionnés s'efforcent de la réaliser. (Mai 1954.)

BIBLIOGRAPHIE.

- [1] A. R. GLASGOW jr, A. J. STREIFF et F. D. ROSSINI, *J. Research N. B. S.*, t. 35, 1945, p. 355.
A. R. GLASGOW jr, N. C. KROUSKOP et F. D. ROSSINI, *Analytic Chemistry*, t. 22, 1950, p. 1521.
- [2] M. P. MATHIEU, *Mém. Acad. Roy. Belgique*, t. XXVIII-2, 1953.
- [3] F. D. ROSSINI, K. S. PITZER, R. L. ARNETT, R. M. BRAUN et G. C. PIMENTEL, *Selected values of physical and thermodynamic properties of hydrocarbons and related compounds*, Pittsburgh 1953 (Projet n° 44 de l'American Petroleum Institute).
- [4] F. W. SCHWAB et E. WICHERS, *J. Research N. B. S.*, t. 34, 1945 p. 333.
- [5] A. SMITS, *Théorie de l'allotropie*, Gauthier-Villars, Paris, 1923.
- [6] J. TIMMERMANS, H. VAN DER HORST et H. KAMERLINGH ONNES, *Points de congélation de liquides organiques purs comme points de repères thermométriques aux basses températures* (*Comm. Phys. Lab. Leiden*, t. 157, 1922, p. 1-12; suppl. n° 51 b, 1924 et 64 c, 1928).
-

ANNEXE T 25.

Bureau International des Poids et Mesures.

PROJET DE
COMPARAISON DES ÉCHELLES
PYROMÉTRIQUES PAR ÉCHANGE
DE LAMPES A RUBAN DE TUNGSTÈNE

Le 27 juin 1953, le Bureau International des Poids et Mesures a diffusé la circulaire suivante :

.....

A la session de 1952 du Comité Consultatif de Thermométrie, M. HALL nous a informés qu'un échange de lampes à ruban de tungstène, étalons de température de brillance, entre le National Physical Laboratory et quelques autres Laboratoires, était en projet dans le but de confronter les échelles pyrométriques établies indépendamment par ces Laboratoires.

Le National Physical Laboratory nous écrit maintenant qu'il serait favorable à une extension de ces comparaisons à d'autres Laboratoires. Ces comparaisons plus étendues seraient placées sous l'égide du Comité Consultatif de Thermométrie.

Si vous avez une opinion ou des suggestions à exprimer sur ce dernier projet, il conviendrait que celles-ci fussent portées à la connaissance du Comité Consultatif de Thermométrie avant sa réunion, afin qu'il puisse en discuter utilement.

.....

Le Directeur
du Bureau International,
CH. VOLET.

Voici les réponses qui nous sont parvenues à ce jour (fin avril 1954):

NATIONAL BUREAU
OF STANDARDS.

8 juillet 1953.

Le National Bureau of Standards participera avec plaisir à une comparaison de la partie supérieure de l'Échelle de température par l'étude de lampes à ruban de tungstène, ainsi que vous le suggérez dans votre lettre du 27 juin 1953. De plus, nous serons heureux de fournir des lampes du type fabriqué aux Etats-Unis.

Nous aimerions suggérer que ceci soit une partie d'une comparaison plus complète de l'Échelle de température entière, définie dans les laboratoires. Comme vous le savez, deux thermomètres à résistance ont été mis en circulation pour une intercomparaison de l'intervalle fondamental. Nous pensons qu'il serait intéressant pour tout le monde de comparer les résultats de l'étalonnage de thermomètres à résistance supplémentaires aux autres points fixes et de quelques thermocouples étalons. Ceci permettrait de connaître avec quelle précision l'Échelle Internationale de Température peut être déterminée, et fournirait vraisemblablement des données utiles pour perfectionner l'Échelle.

A. V. ASTIN,
Directeur.

PHYSIKALISCH-TECHNISCHE
BUNDESANSTALT.

13 août 1953.

A la suite de votre lettre du 27 juin, je vous informe que je suis très heureux d'un projet de comparaisons internationales de lampes à ruban de tungstène. Pour des raisons de sécurité de transport, le mieux serait certainement que chaque Institut

national, qui aurait l'intention de prendre part à ces comparaisons, envoyât au Bureau International, si possible *par messenger*, deux lampes à ruban de tungstène. Lorsque les comparaisons de toutes les lampes seraient terminées au Bureau International, les étalons étudiés pourraient être retournés à leurs laboratoires d'origine pour y être à nouveau étalonnés. On pourrait ainsi déterminer les changements qui auraient pu survenir pendant les transports.

.....

A. SCHEIBE.

NATIONAL STANDARDS LABORATORY
(AUSTRALIE).

19 août 1953.

.....

Je suis tout à fait d'accord avec votre suggestion que les intercomparaisons à venir entre le National Physical Laboratory et nous-mêmes puissent, par la suite, faire partie d'une intercomparaison internationale future, et que l'expérience du N. P. L. et de nous-mêmes en cette matière puisse fournir des renseignements utiles pour l'organisation d'une intercomparaison plus étendue.

.....

A. F. A. HARPER.

CHAMBRE CENTRALE DES MESURES
ET INSTRUMENTS DE MESURE
DE L'U. R. S. S.

24 août 1953.

.....

Comparaisons internationales de lampes de température.

Nous saluons les comparaisons présomptives de lampes de température et nous y prendrons part. Cependant, il nous paraît

comme tout à fait indispensable qu'il y ait une entente préliminaire sur le programme de comparaisons. L'Institut scientifique de Métrologie de l'U. R. S. S. du nom de D. I. Mendéléév est d'avis que pour les comparaisons doivent être employées les échelles de température réalisées à l'aide des pyromètres spectraux spécialement étudiés, et non les échelles réalisées dans les divers pays à l'aide des pyromètres optiques à filtres rouges et à verres absorbants. Dans ce cas une grande netteté dans la connaissance de la longueur d'onde utilisée peut être atteinte et son invariabilité peut être assurée dans une large gamme de températures mesurées.

C'est pourquoi il paraît très souhaitable de réaliser les comparaisons de lampes de température, étalonnées pour des températures de brillance dans la large gamme de longueurs d'onde de la région visible du spectre.

L'Institut scientifique de Métrologie de l'U. R. S. S. du nom de D. I. Mendéléév pourrait de son côté faire des comparaisons de lampes de température, étalonnées pour des températures de brillance dans l'intervalle de 1063 à 1800° C pour les longueurs d'onde 0,50, 0,52, 0,55, 0,60, 0,65, 0,69 μ . et dans l'intervalle 1200-1800° C pour la longueur d'onde 0,48 μ .

V. ALESSINE.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL
(CANADA)

3 juillet 1953.

Quoique nous approuvions avec faveur l'idée de faire des intercomparaisons périodiques des Échelles de température optiques de différents laboratoires, nous ne sommes malheureusement pas, pour le moment, en état de collaborer à de telles intercomparaisons. Cependant, nous espérons pouvoir, ultérieurement, participer aux échanges de lampes étalons entre laboratoires.

R. S. TURGEL.

Signalons également un échange de correspondance avec le Professeur DEAGLIO, de l'Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, de Turin, d'où il résulte que, pour le moment, le Professeur DEAGLIO n'est pas en mesure de participer à une comparaison des échelles pyrométriques.

Note ajoutée en cours d'impression. — Une réponse favorable à ce projet de comparaison a été également reçue du Central Inspection Institute of Weights and Measures du Japon (voir Annexe T 7, p. T 86, § 4).

ANNEXE T 26.

Bureau International des Poids et Mesures.

CORRECTIONS
A L'ÉCHELLE DU THERMOMÈTRE
A MERCURE EN QUARTZ FONDU

Résultats préliminaires

par H. MOREAU.

Malgré le développement des thermomètres électriques, les thermomètres à mercure restent cependant d'un usage courant pour les températures moyennes en raison de leur commodité d'emploi.

Utilisés correctement, c'est-à-dire en tenant compte des déplacements réversibles et irréversibles (*dépression* et *ascension lente*) du « point zéro », les thermomètres à mercure permettent en effet de repérer les températures à quelques millièmes de degré dans l'intervalle 0 — 100° C.

Ces déplacements du « point zéro » sont toutefois l'une des causes principales de la désaffectation portée aux thermomètres à liquides et les recherches tendent constamment vers la fabrication de verres de moins en moins fusibles, permettant de réduire l'importance de ces déplacements. Depuis l'utilisation du cristal au siècle dernier, de grands progrès ont été réalisés dans la fabrication des verres thermométriques, sans qu'on soit parvenu à s'affranchir complètement des phénomènes d'hystérésis qu'ils

présentent. Seul le quartz fondu (silice vitreuse, verre de quartz) paraissait de nature à satisfaire cette exigence ; mais les difficultés rencontrées dans son travail n'avaient pas encore permis de l'utiliser pour la fabrication de thermomètres de précision du modèle « gradué sur tige » (par opposition aux thermomètres dits « à chemise » dont la graduation est effectuée sur une échelle auxiliaire en verre opale).

En 1937, nous avons rendu compte des premiers résultats que nous avons obtenus sur un thermomètre à mercure entièrement en quartz fondu ⁽¹⁾. Depuis, nous avons poursuivi ces études, dont l'essentiel se trouve résumé dans les Rapports du Directeur du Bureau International présentés au Comité International des Poids et Mesures ⁽²⁾.

Pour ce qui concerne la stabilité, les observations qui se sont échelonnées sur 18 années ont confirmé, dans la limite de précision des thermomètres, l'absence de variation dans le temps et après traitements thermiques (— 40 à 500° C environ) du « point zéro » du thermomètre en quartz fondu.

Il restait à déterminer les écarts (différence de marche) entre l'échelle du thermomètre à mercure en quartz fondu et l'échelle normale du thermomètre à hydrogène pratiquement identique, entre 0 et 100° C, à l'Echelle Internationale de Température. Une première série de mesures a pu être faite récemment dans l'intervalle 0 — 50° C. Nous avons obtenu les résultats suivants que nous considérons toutefois comme *provisoires*, les mesures devant être reprises ultérieurement d'une façon plus systématique et étendues à l'intervalle 0 — 100° C ⁽³⁾. [A titre indicatif, nous avons également porté dans la colonne (3) les corrections calculées à partir des dilatabilités du mercure et du quartz fondu ⁽⁴⁾].

(1) *C. R. Acad. Sc.*, t. 205, 1937, p. 967.

(2) *Procès-Verbaux du C. I. P. M.*, t. XVIII, 1937, p. 36; t. XIX, 1939, p. D 30; t. XX, 1946, p. 63; t. XXI, 1948, p. 32; t. XXII, 1950, p. 46; t. XXIII-A, 1952, p. 49.

(3) Quelques thermomètres en quartz fondu que possède le B. I. P. M. sont actuellement au National Physical Laboratory de Grande-Bretagne, pour examen et détermination des corrections de différence de marche.

(4) Formules de dilatation données par F. J. HARLOW, *Phil. Mag.*, t. 7, 1929, p. 680 et 685.

Corrections (provisoires) à apporter aux indications (t) du thermomètre à mercure en quartz fondu pour les ramener à l'Échelle Internationale de Température.

<i>t</i> (°C.)	<i>Corrections</i> (en degré C.)	
(1).	(2) (*).	(3).
0.....	0	0
10.....	+ 0,021	+ 0,024
15.....	+ 0,032	
20.....	+ 0,044	+ 0,047
25.....	+ 0,054	
30.....	+ 0,063	+ 0,068
35.....	+ 0,071	
40.....	+ 0,077	+ 0,084
45.....	+ 0,081	
50.....	+ 0,085	+ 0,094

(*) Compte tenu de la qualité du thermomètre utilisé, la précision des résultats de la colonne (2) peut être estimée à environ $\pm 0,005$ degré.

Les plus grandes difficultés que l'on rencontre dans la fabrication de thermomètres en quartz fondu du type *gradué sur tige*, résident toujours dans la réalisation de tiges capillaires suffisamment régulières. Les améliorations déjà obtenues par rapport aux premiers thermomètres construits permettent cependant d'espérer que ces difficultés seront en définitive surmontées.

Affranchis de la dépression et de l'ascension lente, ces deux inconvénients majeurs des thermomètres en verres actuels, les thermomètres à mercure en quartz fondu devraient s'imposer en thermométrie de précision.

(Juillet 1954.)

ANNEXE T 27.

Bureau International des Poids et Mesures.

SUR L'EMPLOI DES THERMISTANCES
EN THERMOMÉTRIE DE PRÉCISION

par G. LECLERC.

Comme en bien d'autres domaines on a cherché, en thermométrie, à tirer parti des propriétés inattendues des semi-conducteurs ou *thermistances*, selon l'appellation sous laquelle ces nouveaux produits sont présentés commercialement pour les applications qui nous intéressent.

Le coefficient de température élevé de la résistance électrique des thermistances, 2 à 5% par degré au voisinage de 20° C (soit 10 fois celui des métaux), et leur résistivité importante (permettant la fabrication d'instruments peu encombrants) suggèrent dès leur origine de les utiliser dans la construction de thermomètres à résistance. On ne pouvait retenir contre leur emploi que la loi, compliquée, de variation de leur résistance en fonction de la température. Ce fut insuffisant pour retarder l'essor de la thermométrie et de la pyrométrie à thermistance, et plus particulièrement de la régulation de la température au moyen de ces nouveaux instruments.

Nous avons pensé que la thermométrie de précision pourrait, elle aussi, tirer profit des semi-conducteurs et pour cela nous avons entrepris l'étude de leurs propriétés métrologiques. Cette étude a été effectuée entre 0 et 100° C sur des instruments du type « sonde », fabriqués en France, aux Pays-Bas et aux Etats-Unis, ce type étant le mieux adapté à la mesure des températures.

Nous avons tenu tout d'abord à nous rendre compte, même grossièrement, de l'importance des bruits de courant. Notre intention étant de travailler plus tard en courant continu, nous avons fait cette étude pour une fréquence basse : 12,5 Hz, à l'aide d'un amplificateur accordé sur cette fréquence. Le bruit de fond de l'amplificateur seul étant de l'ordre de 0,15 μ V (équivalent au bruit thermique d'une résistance idéale d'environ 0,6 M Ω), nous n'avons jamais constaté de bruit de courant supérieur à cette valeur, même pour une thermistance de 10⁵ Ω parcourue par un courant de 10⁻⁴ A. Le bruit de courant n'est donc pas un obstacle à l'emploi des thermistances.

La résistance d'une thermistance dépend, par contre, de l'intensité du courant qui la traverse et l'importance du phénomène varie avec chaque instrument. Ainsi, tandis qu'une thermistance de 55 000 Ω diminuait de 0,58% lorsque le courant croissait de 49,5 à 50,5 μ A, une autre de 7 000 Ω variait seulement, dans les mêmes conditions, de 0,004%, soit 150 fois moins. Ce grave défaut a deux causes :

1^o l'effet Joule, qui provoque toujours un échauffement relativement important de l'organe thermo-sensible en raison du volume réduit dans lequel l'énergie est dissipée ;

2^o une variation de la résistance en fonction de la tension supportée (phénomène exploité par ailleurs), due à la nature granulaire des thermistances, qu'un frittage à haute température ne parvient pas à faire disparaître complètement.

Pour obvier à cet inconvénient il faut, ou bien n'utiliser que des courants très faibles (5.10⁻⁶ A), ce qui nécessite une installation délicate et coûteuse, ou bien étalonner l'instrument et l'employer dans des conditions identiques de dissipation thermique en contrôlant avec précision le courant dans la thermistance (à 1% près au moins pour 50.10⁻⁶ A).

Comme les thermomètres à mercure, les thermistances manifestent le phénomène d'hystérésis : la résistance à une température θ_2 , mesurée immédiatement après une température θ_1 , est fonction de θ_1 . Suivant les matériaux utilisés (ou peut-être les traitements appliqués par les fabricants), la résistance à θ_2 après θ_1 est ou plus faible (la plupart du temps si $\theta_2 < \theta_1$) ou plus forte (rarement) qu'avant θ_1 . L'importance de cette hystérésis varie d'une thermistance à l'autre et aussi, ce qui est plus grave, d'une expérience à l'autre. Il n'est donc pas possible d'en tenir

compte avec précision. Ainsi, tel instrument d'une résistance d'environ $6\,770\ \Omega$ à 0°C et porté une dizaine de minutes à 100°C , verra sa résistance diminuer de $2,9\ \Omega$ (ce qui équivaudrait à une augmentation de température de $0,013\ \text{deg}$) dans un cas et seulement de $2,1\ \Omega$ (ce qui correspondrait à $0,009\ \text{deg}$) dans un autre; un autre instrument, d'une provenance différente et d'une valeur de $5\,006\ \Omega$ variera dans les mêmes conditions de $+1,2\ \Omega$ ($0,005\ \text{deg}$) une première fois, de $+0,4\ \Omega$ ($0,002\ \text{deg}$) une seconde et de $+0,8\ \Omega$ ($0,004\ \text{deg}$) une troisième fois. La résistance à θ_2 , immédiatement après θ_1 , n'est d'ailleurs pas stable et tend lentement (en plusieurs jours si $\theta_1 - \theta_2 = 100\ \text{deg}$) vers une limite qui, pour les meilleures thermistances, est à peu près toujours la même pour une même valeur de θ_2 .

Le phénomène existe évidemment pour des écarts de température faibles ($\theta_1 - \theta_2 = 20\ \text{deg}$ par exemple), mais dans ce cas il est peu important ($+0,05\ \Omega$, soit quelques dix-millièmes de degré pour le dernier instrument mentionné ci-dessus) et surtout la résistance limite est atteinte rapidement (une dizaine de minutes).

Pour vérifier la stabilité dans le temps des thermistances, des expériences sont en cours actuellement; nous les poursuivrons pendant plusieurs mois, mais d'ores et déjà il semble que lorsque les instruments sont conservés à température constante, leur stabilité soit suffisamment bonne pour éviter des étalonnages fréquents.

On admet généralement que la résistance d'une thermistance est une fonction exponentielle de sa température. Cela ne peut être accepté que pour une variation de quelques degrés. Sur un intervalle plus large une telle représentation n'est plus valable : deux instruments étalonnés à 0°C et à 100°C donnaient à 20°C des températures qui, calculées suivant une loi exponentielle, étaient respectivement trop faibles de $0,65$ et de $2,2$ degrés.

Une meilleure représentation est fournie par une fonction de la forme

$$R_T = AT^a e^{\frac{b}{T}}$$

(inspirée par la théorie de la conductibilité électrique des semi-conducteurs) dans laquelle A , a et b sont trois paramètres à déterminer expérimentalement et T la température absolue. Pour deux thermistances nous avons obtenu, en nous appuyant

sur les points 0°C, 20°C et 100°C, les équations suivantes (mises sous forme logarithmique pour les rendre plus aisément calculables) :

$$\log R_T = 20,979 - 6,8085 \log T + \frac{75,587}{T}$$

et

$$\log R_T = 6,1880 - 2,7467 \log T + \frac{1148,3}{T}.$$

Cette représentation laisse encore subsister des écarts : 0,02 deg pour l'une et 0,03 deg pour l'autre à 6° C par exemple. Il est donc préférable d'établir par points la courbe d'étalonnage de chaque instrument.

En conclusion, les thermistances ne doivent pas être employées comme thermomètres absolus mais être réservées à la détermination précise de faibles écarts de température; on exploite ainsi leur sensibilité tout en s'affranchissant de leurs défauts. Dans ce domaine elles peuvent souvent remplacer avantageusement les thermocouples, toujours délicats à utiliser.

Cependant, pour déceler quelques dix-millièmes de degré il faut prendre des précautions, travailler avec des courants de mesure très faibles, stables, toujours les mêmes.

A titre d'exemple, nous avons déterminé l'écart de température existant entre le point triple de l'eau et le point de fusion de la glace en utilisant deux thermistances d'environ 6 000 Ω, montées dans les bras opposés d'un pont de Wheatstone et parcourues par un courant de $5 \cdot 10^{-6}$ A. Quatre mesures différentes ont donné les résultats suivants :

$$+ 0,0099; + 0,0098; + 0,0098; + 0,0100 \text{ deg C.}$$

Ajoutons que lorsqu'on travaille au voisinage d'une température fixe, il est facile d'obtenir par un montage approprié que l'un des éléments du système varie linéairement en fonction de la température. Nous avons nous-mêmes réalisé deux dispositifs.

1° *Dipôle résistance-thermistance en parallèle.* — Soit $R_T = A \exp\left(\frac{b}{T}\right)$ la valeur de la thermistance à la température T voisine de T_0 . Si l'on met en parallèle avec elle une résistance fixe

$$\rho = R_{T_0} \frac{b - 2T_0}{b + 2T_0},$$

la résistance résultante Z est telle que :

$$Z_T - Z_{T_0} = - \frac{Z_{T_0} \rho}{\rho + R_{T_0}} \frac{b}{T_0^2} \theta \left[1 - \frac{b^2}{12 T_0^4} \theta^2 \right],$$

où $\theta = T - T_0$. On voit que la variation est linéaire tant que le terme correctif $\frac{b^2 \theta^2}{12 T_0^4}$ est négligeable.

2° Pont de Wheatstone où le courant dans la branche galvanométrique varie linéairement avec $\theta = T - T_0$. — Le

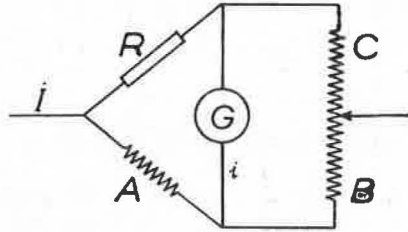


Fig. 1

montage est celui de la figure où R représente la thermistance. On obtient la linéarité cherchée en donnant à A la valeur :

$$A = R_{T_0} \frac{b - 2 T_0}{b + 2 T_0} - \frac{g(B + C)}{g + B + C}.$$

Si l'on veut, d'autre part, que le courant i soit nul pour $T = T_0$, il suffit d'obtenir en même temps $R_{T_0} = \frac{AC}{B}$; cette dernière opération ne détruit pas la linéarité si l'on s'astreint à conserver constante la somme $B + C$, ce qui est très facile.

Dans ces conditions on trouve que

$$i = -I \frac{B}{B + C + g} \frac{b + 2 T_0}{2 T_0^2} \theta \left[1 - \frac{b^2}{12 T_0^4} \theta^2 \right].$$

Si I est constant, i est directement proportionnel à θ avec un terme correctif qui est le même que dans le cas du montage précédent. Par exemple, pour $\theta = T - T_0 = 2$ deg, $b = 2000^\circ K$ et $T_0 = 300^\circ K$, la linéarité est réalisée à environ $16 \cdot 10^{-8}$ près, ainsi que nous avons pu le vérifier expérimentalement.

(7 juin 1954.)

ANNEXE T 28.

BIBLIOGRAPHIE RELATIVE
A L'ECHELLE INTERNATIONALE DE TEMPÉRATURE (1)

National Bureau of Standards.

- R. J. CORRUCINI, Differences between the International Temperature Scales of 1948 and 1927, *J. Research NBS*, t. 43, 1949, p. 133, R. P. 2014.
- H. F. STIMSON, The present status of temperature scales, *Science*, t. 116, 1952, p. 339.
- R. E. WILSON, Standards of temperature, *Physics Today*, t. 6, 1953, p. 10 et *American Scientist*, t. 41, 1953, p. 271.

National Physical Laboratory.

- C. R. BARBER, Factors affecting the reproducibility of brightness of tungsten strip lamps for pyrometer standardization, *J. Sc. Instr.*, t. 23, 1946, p. 238.
- J. A. HALL et C. R. BARBER, The International Temperature Scale 1948 revision, *Brit. J. Appl. Phys.*, t. 1, 1950, p. 81.
- C. R. BARBER, Platinum resistance thermometers of small dimensions, *J. Sc. Instr.*, t. 27, 1950, p. 47.
- C. R. BARBER, R. HANDLEY et E. F. G. HERRINGTON, The preparation and use of cells for the realization of the triple point of water, *Brit. J. Appl. Phys.*, t. 5, 1954, p. 41.

(1) Suite de la bibliographie publiée dans les *Procès-Verbaux du C. I. P. M.* 1948, p. T 143 et 1950, p. 143.

National Research Council.

R. M. LELACHEUR, A low range decade for resistance thermometer bridges, *Rev. Sc. Instr.*, t. 23, 1952, p. 383.

E. H. McLAREN, Reproducibility of the freezing temperature of high purity zinc, *J. Appl. Phys.*, t. 25, 1954, p. 808.

Institut de Métrologie de l'U.R.S.S.

B. I. PILIPTCHOUK, Les erreurs d'étalonnage du thermomètre à résistance de platine, *Travaux de l'I. M.*, fasc. 4 (64), 1948, p. 3-49.

On établit plusieurs formules permettant d'étudier la question de la distribution des erreurs qui se manifestent lors de l'étalonnage du thermomètre à résistance de platine aux points fixes. L'auteur propose les « fonctions d'influence » qui sont largement employées pour discuter les résultats des mesures faites à l'aide des thermomètres à résistance, des thermocouples, des lampes pyrométriques et des lampes de température.

B. I. PILIPTCHOUK, La réalisation du point de solidification du mercure, *Travaux de l'I. M.*, fasc. 4 (64), 1948, p. 57-65.

On décrit un appareil pour la réalisation du point de solidification du mercure. L'auteur détermine un critère définissant l'étendue de la surface de solidification de différents échantillons, pour la même vitesse de refroidissement avant le commencement de la solidification. On cite les résultats de déterminations faites avec deux thermomètres à résistance de platine.

B. I. PILIPTCHOUK, Contrôle de la pureté de la glace, *Travaux de l'I. M.*, fasc. 4 (64), 1948, p. 50-56.

On compare quelques données, prises dans la littérature, sur la précision de reproduction du point de fusion de la glace. D'après les résultats de déterminations faites avec des thermomètres à résistance de platine, et s'étendant sur plusieurs années, on montre que les résistances au point zéro réalisé avec de la glace commerciale, varient en fonction de la présence de petites quantités d'impuretés.

A. N. GORDOV, E. A. LAPISA et T. G. DIOMIDOWA, La reproduction de l'Échelle Internationale de Température au-dessus de 1063°, *Travaux de l'I. M.*, fasc. 3 (63), 1949, p. 42-65

On donne le matériel numérique de la graduation des lampes pyrométriques du pyromètre optique monochromatique étalon, d'après le corps noir à la température de solidification de l'or fin, avec extrapolation ultérieure par disques à secteur.

A. N. GORDOV, Quelques propriétés des lampes de température, *Travaux de l'I. M.*, fasc. 3 (63), 1949, p. 66-104.

Étude théorique de la distribution de la température le long du ruban incandescent de la lampe de température. Les conclusions obtenues ont été vérifiées expérimentalement. On donne des recommandations concernant la position de l'index par rapport au point visé du ruban.

B. I. PILIPTCHOUK, Calcul de la température d'après les indications du thermomètre à résistance de platine, *Zawodskaja Laboratoria*, t. 14 (3), 1949, p. 631-632.

On indique un procédé commode d'approximations successives lors de l'utilisation de la notion de température et l'on donne l'expression exacte de la température pour l'intervalle fondamental 0-100° C.

B. I. PILIPTCHOUK, Calcul de la température d'après les indications du thermocouple platine-platine rhodié, *Zawodskaja Laboratoria*, t. 15 (4), 1949, p. 492-494.

On indique une transformation de la formule du thermocouple platine-platine rhodié qui permet d'utiliser, pour le calcul de la température, des procédés analogues à ceux qu'on emploie pour le calcul de la température d'après les indications du thermomètre à résistance de platine.

B. I. PILIPTCHOUK, Formules d'interpolation du thermomètre à résistance de platine et du thermocouple platine-platine rhodié, *J. Tech. Physiki*, t. 19 (6), 1949, p. 667-672.

Résultats de l'analyse des formules d'interpolation établies par le « Règlement de l'Échelle Internationale de Température de 1927 » pour le thermomètre à résistance de platine et le thermocouple platine-platine rhodié. Le résultat le plus important est la

conclusion que, pour les thermomètres à résistance, il faut établir des tableaux des différences de résistance en fonction de la température. Cette conclusion a été par la suite confirmée par plusieurs auteurs en U. R. S. S. et à l'étranger.

E. A. LAPINA, Reproduction de l'échelle Internationale de Température jusqu'à 4 000° C, *Travaux de l'I. M.*, fasc. 9 (69), 1950, p. 87-101.

On expose les résultats d'un travail concernant l'extension de l'échelle des hautes températures jusqu'à 4000° C, à l'aide d'un verre absorbant PS-2 préalablement étudié.

A. N. GORDOV, Précision de la reproduction de l'échelle thermodynamique des températures au-dessus de 1063° C, *Travaux de l'I. M.*, fasc. 9 (69), 1950, p. 5-86.

Analyse des sources d'erreurs qui se manifestent dans la reproduction de l'échelle des températures à l'aide du pyromètre optique. Partant de l'incertitude des valeurs de la température de solidification de l'or et de la constante de radiation C_2 , on donne les valeurs des erreurs de reproduction de l'échelle thermodynamique des températures jusqu'à 4 000° C.

T. M. BRODOWITICH, Le rôle de l'inertie des instruments de mesure de la température lors de leur étalonnage, *Travaux de l'I. M.*, fasc. 9 (69), 1950, p. 102-111.

Étude théorique de la relation entre l'erreur due à l'inertie thermique du thermorécepteur lors de son étalonnage, et la durée du palier de solidification du métal déterminée par la quantité de la prise d'essai et les propriétés physiques du métal.

V. P. PROSTILKOV, Méthode de détermination du coefficient de dilatation apparente du mercure dans une enveloppe de verre, *Travaux de l'I. M.*, fasc. 18 (78), 1952, p. 110-127.

L'auteur a employé sa méthode pour des thermomètres à mercure fabriqués avec du verre de la norme d'État 1224-41. Il donne le tableau des corrections jusqu'à 300° C de l'échelle des thermomètres à mercure à division équidistante, et un tableau de la valeur de la graduation des thermomètres à remplissage variable jusqu'à 155° C.

V. P. PROSTIAKOV, La pression intérieure dans les thermomètres à mercure à enveloppe de verre remplis de gaz; son influence sur les indications du thermomètre, *Travaux de U. M.*, fasc. 18 (78), 1952, p. 96-109.

L'auteur étudie en détail l'influence de la pression intérieure sur les indications des thermomètres à mercure. Il en déduit des formules pour tenir compte de la correction de pression intérieure. On indique des procédés pour diminuer les coefficients de pression intérieure et extérieure.

B. I. PILIPCHOUK, L'Échelle de Température de D. I. Mendéléev, *C. R. Acad. Sc. U. R. S. S.*, t. 93 (1), 1954, p. 75-76.

Se basant sur une série de travaux publiés par D. I. Mendéléev, l'auteur montre que c'est à ce grand chimiste russe qu'appartient la priorité de la proposition de l'établissement d'une échelle de température à l'aide d'un seul point fixe réalisable (1874). Dans la littérature étrangère, cette proposition est attribuée à Giauque (1939).

Divers.

M.-P. MATHIEU, Recherches expérimentales sur quelques étalons métrologiques, *Mém. Acad. Roy. Belgique*, t. XXVIII-2, 1953, n° 1639.

B. E. BLAISDELL, The physical properties of fluid interfaces of large radius of curvature.

I. Integration of Laplace's equation for the equilibrium meridian of a fluid drop of axial symmetry in a gravitational field. Numerical integration and tables for sessile drops of moderately large size, *J. Math. and Phys.*, t. 19, 1940, p. 186.

II. Numerical tables for capillary depressions and meniscus volumes in moderately large tubes, *ibid.*, p. 217.

III. Integration of Laplace's equation for the equilibrium meridian of a fluid drop of axial symmetry in a gravitational field. Approximate analytic integration for sessile drops of large size, *ibid.*, p. 228.

J. A. BEATTIE, D. D. JACOBUS, J. M. GAINES Jr., M. BENEDICT et B. E. BLAISDELL, An experimental study of the absolute tem-

- perature scale. VI. The gas thermometer assembly and the experimental method, *Proc. Amer. Acad. Arts Sc.*, t. 74, 1941, p. 327.
- J. A. BEATTIE, M. BENEDICT et J. KAYE, An experimental study of the absolute temperature scale. VII. The theory of the correction of the observations on gas thermometers for the imperfections of the apparatus and of the thermometric fluid, *Proc. Amer. Acad. Arts Sc.*, t. 74, 1941, p. 343.
- J. A. BEATTIE, B. E. BLAISDELL, J. KAYE, H. T. GERRY et C. A. JOHNSON, An experimental study of the absolute temperature scale. VIII. The thermal expansion and compressibility of vitreous silica and the thermal dilatation of mercury, *Proc. Amer. Acad. Arts Sc.*, t. 74, 1941, p. 371.
- J. A. BEATTIE, B. E. BLAISDELL et J. KAYE, An experimental study of the absolute temperature scale. IX. The determination of the capillary depression and meniscus volume of mercury in a manometer, *Proc. Amer. Acad. Arts Sc.*, t. 74, 1941, p. 389.
- J. A. BEATTIE, M. BENEDICT, B. E. BLAISDELL et J. KAYE, An experimental study of the absolute temperature scale. X. Comparison of the scale of the platinum resistance thermometer with the scale of the nitrogen gas thermometer from 0° to 444°6. Reduction of the observations, *Proc. Amer. Acad. Arts Sc.*, t. 77, 1949, p. 255.
- G. W. MOESSEN et J. G. ASTON, Normal boiling points of oxygen on the thermodynamic scale, *J. Chem. Phys.*, t. 21, 1953, p. 948.
-

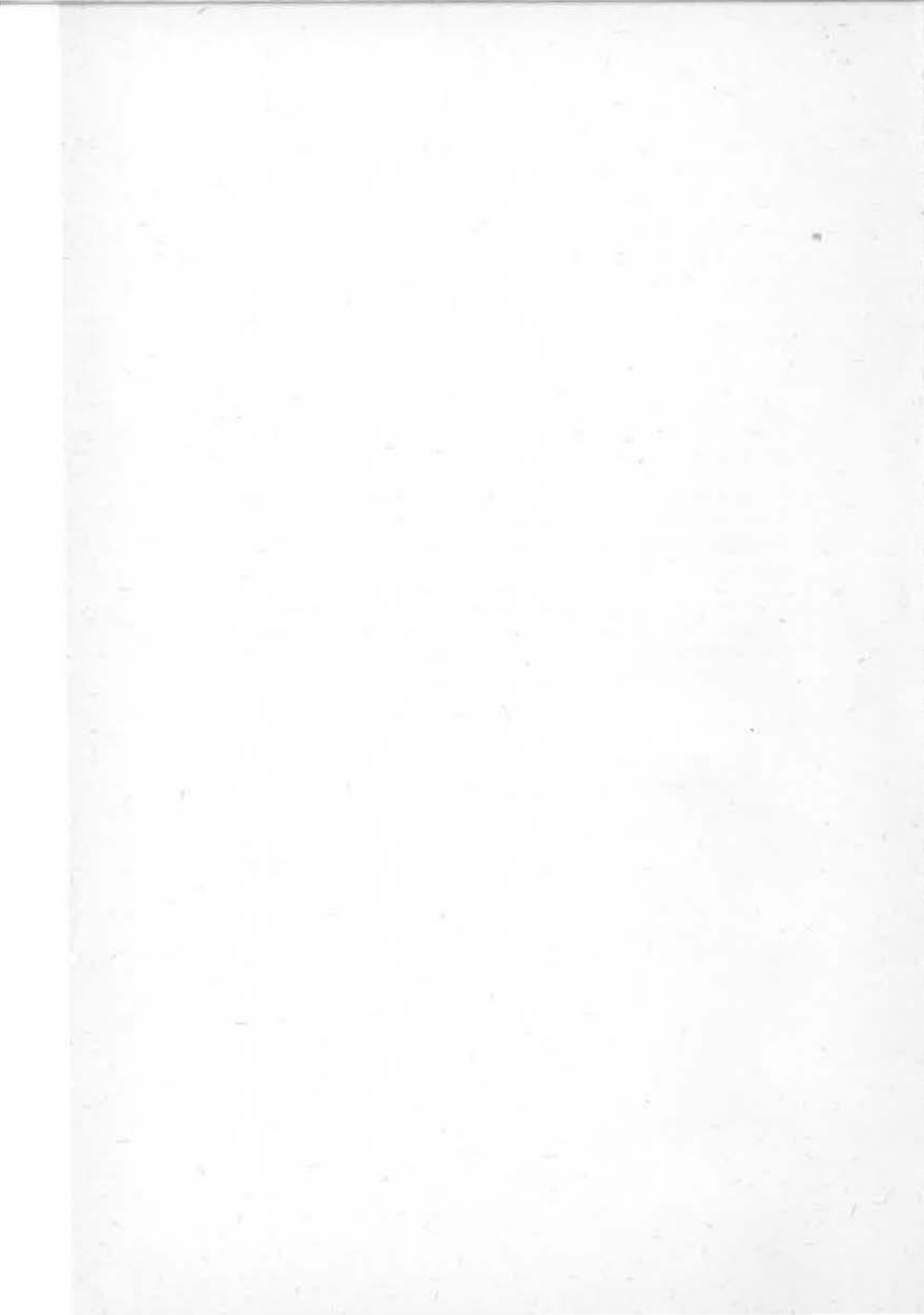


TABLE DES MATIÈRES

	Pages.
Liste des Membres du Comité International.....	1
Liste du personnel du Bureau.....	3

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES DE L'ANNÉE 1954.

Ordre du jour de la session.....	4
Procès-verbal de la première séance, mardi 28 septembre 1954.	5
Ouverture de la session	5
<i>Hommage</i> (rendu à la mémoire de Z. Rauszer et E. Johansen)...	5
<i>Démission</i> (de Mr Kouznetsov).....	5
Excuses de Mr Statescu, empêché, et de MM. Danjon et Roš, retenus momentanément	6
RAPPORT DU SECRÉTAIRE DU COMITÉ POUR LA PÉRIODE COMPRISE ENTRE LE 1^{er} SEPTEMBRE 1952 ET LE 31 AOÛT 1954.....	7
<i>Décès.</i> — (Z. Rauszer et E. Johansen, Membres du Comité; L. Maudet, Adjoint honoraire du Bureau International).....	7
<i>Démission.</i> — (Mr Kouznetsov).....	7
<i>Élections.</i> — (MM. de Boer, Nussberger, Otero, Bourdoun, élus Membres du Comité. Nomination de Mr de Boer comme Président du Comité Consultatif de Thermométrie).....	8
<i>Comités Consultatifs.</i> — (Sessions tenues par le Comité Consul- tatif pour la Définition du Mètre et le Comité Consultatif de Thermométrie).....	8
<i>Étalon du Radium.</i> — (Garde confiée au Directeur du Labora- toire Curie, à Paris).....	8
<i>Statut du personnel.</i> — (Allocations familiales. — Exonération d'impôts. Majoration du salaire des étrangers).....	9
<i>Versements des États.</i> — (Versement des contributions arriérées de l'Allemagne de l'Est. — Retour du Brésil dans la Convention du Mètre et adhésion de la République Dominicaine).....	9

	Pages.
<i>Tableau des versements des États</i>	10
<i>Don unique.</i> — (Liste des versements effectués).....	12
<i>Indications financières.</i> — <i>Dotation.</i> — (Actif du Bureau. — Proposition d'augmentation de la dotation).....	13
Présentation des procès-verbaux du dépouillement des votes ayant eu lieu par correspondance.....	14
RAPPORT DU DIRECTEUR SUR L'ACTIVITÉ ET LA GESTION DU BUREAU ENTRE LE 1^{ER} SEPTEMBRE 1952 ET LE 31 AOÛT 1954	15
I. Personnel. — Engagement de J. Bonhoure et C. Garreau. — Stage de K. Yoshié. — Diplôme d'Ingénieur-physicien du C. N. A. M. obtenu par G. Leclerc. — Décès de L. Maudet. ...	15
II. Bâtiments. — Nouvel aménagement de l'aile nord du grand pavillon. — Transformations effectuées dans l'appartement du Directeur. — Travaux exécutés dans quelques bureaux. — Installation d'un système d'assèchement des murs par électro-osmose. — Amélioration de l'aménagement du logement situé au rez-de-chaussée du petit pavillon. — Renforcement du chauffage dans divers logements et dans l'atelier de mécanique. — Installation sanitaire dans les logements des gardiens. — Travaux de maçonnerie et de peinture dans certaines salles de l'observatoire. — Suppression du petit musée, transformé en bureaux. — Abandon provisoire du projet de surélévation de l'avant-corps de l'ancien observatoire. — Installation d'eau potable dans les laboratoires. — Construction d'une cabine haute tension, avec poste de transformation. — Pose d'un nouveau câble téléphonique.....	16
III. Machines et instruments	20
Comparateurs.....	20
Base géodésique.....	20
Coulisse et abouts tracés.....	21
Masses.....	21
Récepteur-comparateur. — Baromètre.....	23
Interférométrie (Lampes à mercure 198, krypton 84 et 86).....	23
IV. Travaux	24
Mètres prototypes.....	24
Longueurs diverses (Règles. — Étalons à bouts. — Règles et fils géodésiques).....	26
Masses et densités (Kilogrammes prototypes et étalons. — Comparaisons internationales de la densité d'un cylindre. — Masses diverses. — Projet de détermination de la densité relative du mercure et de l'eau).....	30
Thermométrie (Thermomètres en quartz fondu. — Études courantes. — Thermistances).....	33
Manométrie.....	35

TABLE DES MATIÈRES.

III

	Pages.
Gravité.....	35
Électricité (Comparaisons internationales. — Étude des étalons sédentaires. — Études pour l'extérieur. — Amplificateur de déviations et enregistreur à servomécanisme).....	35
Photométrie (Lampes étalons. — Étalonnages photométriques. — Intercomparaison d'étalons de flux entre le N. B. S., le N. P. L. et le B. I. P. M. — Projet de comparaisons internationales d'étalons de température de couleur. — Photométrie hétérochrome de précision).....	38
Interférométrie (Comparaisons de longueurs d'onde. — Mesure du quartz de 100 mm. — Mesure de deux étalons à bouts sphériques d'un mètre en silice. — Comparaison internationale de calibres. — Étude théorique de la formation des franges d'interférence).....	41
Métallisation par évaporation.....	46
Divers.....	46
Voyages.....	46
Stages au Bureau.....	47
Publications du Bureau.....	47
Publications extérieures.....	48
Liste des Certificats, Notes d'étude et Rapport.....	50
V. <i>Comptes</i>	57
I. Fonds disponibles. — II. Fonds de réserve. — III. Caisse de retraites. — IV. Don unique.....	57
Bilan (Actif. — Titres des Comptes I, II et III).....	58
Mouvement des valeurs.....	60
Tableaux des recettes et dépenses.....	61
Constitution des Commissions Administrative (ex-Commission des Finances) et des Travaux.....	63
Procès-verbal de la deuxième séance, vendredi 1^{er} octobre 1954.	64
Excuses de Mr Pérard, retenu loin de Paris.....	65
Télégramme adressé à Mr Stănescu.....	65
<i>Premier Rapport de la Commission Administrative</i> (Situation de la Caisse de Retraites. — Approbation des comptes. — Exonération d'impôts sur les traitements pour les fonctionnaires étrangers; remboursement des mêmes impôts aux fonctionnaires français. — Attribution d'une majoration temporaire de traitement au personnel scientifique étranger).....	65
<i>Deuxième Rapport de la Commission Administrative</i> (Allocations familiales. — Attribution d'une allocation de logement. — Rejet d'une demande d'allocation pendant la durée du service militaire. — Examen de la situation financière et du Règlement de la Caisse de Retraites. — Échange de vues sur l'affectation des logements du Bureau).....	66
Constitution de la Commission d'étude du Règlement de la Caisse de Retraites.....	68

	Pages.
<i>Premier Rapport de la Commission des Travaux</i> (Projet de retraçage des Mètres prototypes. — Étalons de masse. — Dilatomètre installé à la base géodésique. — Discussion sur les résultats de la comparaison internationale des calibres à bouts plans. — Comparateur photoélectrique. — Mesure absolue de <i>g</i> . — Travaux interférométriques. — Études sur les thermistances)...	69
Échange de vues sur le projet de révision de la Convention du Mètre	72
Procès-verbal de la troisième séance, lundi 4 octobre 1954...	76
Télégrammes aux Membres honoraires. Droit de ces derniers d'assister aux séances.....	76
Considérations sur le choix des futurs Membres du Comité...	77
Reprise de la discussion sur le projet de révision de la Convention du Mètre. Calcul de la contribution d'entrée.....	77
<i>Deuxième Rapport de la Commission des Travaux</i> (Mesures de photométrie hétérochrome. — Projet de comparaisons internationales de lampes étalons de température de couleur. — Date des prochaines comparaisons internationales photométriques. — Résultats obtenus avec les thermomètres à mercure en silice fondue. — Projets de réalisation de l'Échelle Internationale de Température avec des thermomètres à résistance et d'un manoharomètre. — Prochaine comparaison internationale des étalons électriques. — Discussion des propositions du Comité Consultatif de Thermométrie de 1954 : Définition de l'échelle thermodynamique. Tableau des échelles internationale et thermodynamique. Valeurs de la gravité).....	79
<i>Troisième Rapport de la Commission des Travaux</i> (Définition de l'atmosphère normale. — Examen du Rapport du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre. — Question des symboles du radian et du carat).....	83
Conclusion des discussions intéressant le tableau des échelles de température, les valeurs de la gravité, la définition du mètre.....	85
Échange de vues sur les logements du Pavillon de Breteuil. — Suppression de l'indemnité de logement.....	86
Procès-verbal de la quatrième séance, samedi 9 octobre 1954..	88
Abstention du Comité dans le choix des symboles des unités..	88
Constitution de la Commission de révision de la Convention du Mètre	89
Échange de vues sur le changement de définition de l'unité de longueur.....	89
Statut du personnel (Relèvement de certains traitements; scindement de la classe des secrétaires-dactylographes; suppression des indemnités de logement; suppression des classes pour les Adjointes et Assistants)	92

	Pages.
Procès-verbal de la cinquième séance , lundi 11 octobre 1954...	94
Définition du mètre : projet de Résolution.....	94
Retraçage des prototypes nationaux : projet de Résolution...	96
Renonciation de M. Terrien d'occuper le petit pavillon.....	96
Traitement du Directeur.....	96
Exposé sur la définition de l'unité de temps.....	97
Résultats obtenus par l'UNESCO en vue de faciliter le passage en douane des instruments scientifiques...	98
Procès-verbal de la sixième séance , mercredi 13 octobre 1954.	99
Échange de vues sur la définition de l'atmosphère normale..	99
Définition de l'échelle thermodynamique : projet de Résolution.....	100
Unité de temps : projet de Résolution.....	100
Système pratique d'unités de mesure. Discussion sur le choix de l'ampère.....	101
Procès-verbal de la septième séance , mercredi 13 octobre 1954.	105
Définition de l'atmosphère normale : projet de Résolution...	105
Système pratique d'unités de mesure : suite de la discussion. Projet de Résolution adopté.....	106
Proposition de candidatures pour le renouvellement du Comité International.....	108
Examen de propositions du Portugal et de l'Espagne relatives à la diffusion du Système Métrique dans le monde et à l'organisation d'un échange de publications métrologiques officielles.....	108
Procès-verbal de la huitième séance , jeudi 14 octobre 1954...	110
Reconstitution du bureau du Comité (Élection de Mr Danjon comme Président. — Hommage rendu à Mr Sears. — Élection de Mr Vieweg comme Vice-Président. — Confirmation de Mr Cassinis dans les fonctions de Secrétaire).....	110
Nomination de MM. Sears, Crittenden et Rož comme Membres honoraires du Comité.....	112
Constitution d'une Commission pour l'étude du Système pratique d'unités.....	113
Présidence des quatre Comités Consultatifs.....	114
Adoption du budget pour 1955 et 1956.....	114
Lieu de réunion des futures Conférences Générales. Suggestions diverses.....	117
Clôture de la session.....	118
Annexes des Procès-Verbaux des séances de 1954 :	
1. <i>Note sur le changement de définition de l'unité de temps</i> ; par A. Danjon.....	119

	Pages.
INSTITUT SCIENTIFIQUE DE MÉTROLOGIE DU NOM DE D. I. MEN- DÉLÉEV (U. R. S. S.) :	
2. <i>Détermination de la longueur d'onde des radiations du cadmium 114 dans la région visible du spectre</i> ; par N. R. Batarchoukova, A. I. Kartachev et M. F. Romanova.	121
NATIONAL RESEARCH COUNCIL (Canada) :	
3. <i>Mesure absolue de l'accélération due à la pesanteur</i> ..	130
4. <i>Quelques résultats des mesures de l'effet de la pression sur la longueur d'onde des raies du mercure 198</i> ; par K. M. Baird.....	132
5. <i>L'état actuel des travaux sur l'établissement d'un étalon primaire d'inductance mutuelle et son utilisation pour une détermination absolue de l'unité de résistance électrique</i> ; par M. Romanowski.....	134
BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES :	
6. <i>Rapport sur les comparaisons des étalons nationaux de force électromotrice effectuées en 1953</i> ; par M. Gautier..	138
7. <i>Rapport sur les comparaisons des étalons nationaux de résistance électrique effectuées en 1953</i> ; par M. Gautier.	147
8. <i>Note sur le groupe d'étalons servant à conserver l'unité de résistance électrique au Bureau International</i> ; par M. Gautier.....	156
9. <i>Mesure interférentielle de deux étalons à bouts d'un mètre appartenant à l'Institut Géodésique de Finlande</i> ; par J. Terrien.....	160
10. <i>Le nouveau dilatomètre pour fils géodésiques du Bureau International</i> ; par A. Bonhoure.....	167
Notices nécrologiques :	
Edvard Sextus Johansen; par T. Bjerge.....	179
Zdzisław Erasme Rauszer; par J. Jasnorzewski.....	181

COMITÉ CONSULTATIF POUR LA DÉFINITION DU MÈTRE

Session de 1953.

Liste des Membres.....	M 3
Ordre du Jour.....	5
Liste des Documents remis aux Membres du Comité.....	7

TABLE DES MATIÈRES.

VII

	Pages.
Procès-verbal de la première séance, mardi 15 septembre 1953.	M 11
Souhaits de bienvenue.....	11
Désignation du Rapporteur et du Secrétaire.....	11
Exposé de M. Volet sur la conservation de l'unité de longueur.....	12
Échange de vues sur les répercussions qu'aurait une nouvelle définition du mètre basée sur une longueur d'onde lumineuse.....	16
Possibilité d'obtention de lampes au Cd isotopique.....	19
Accord sur le choix d'une longueur d'onde dans le vide et discussion sur la spécification de cette longueur d'onde.	19
Procès-verbal de la deuxième séance, jeudi 17 septembre 1953.	21
Excuses de MM. Tardi et Väisälä.....	21
Examen de la Proposition I reconnaissant l'intérêt d'une définition du mètre basée sur une longueur d'onde.....	22
Examen de la Proposition II relative aux conditions de définition de la future longueur d'onde lumineuse.....	23
Examen de la Proposition III sur la nécessité de conserver la valeur actuelle de la longueur d'onde de la radiation rouge du cadmium.....	23
Procès-verbal de la troisième séance, jeudi 17 septembre 1953.	25
Suite de la discussion de la Proposition III.....	25
Étude de la Proposition IV relative au choix d'une radiation étalon.....	27
Étude de la Proposition V relative au rôle et à l'équipement du Bureau International dans le cas d'une définition du mètre par une longueur d'onde.....	28
Étude de la Proposition VI relative aux modalités et à la date d'adoption de la définition du mètre par une longueur d'onde.....	29
Clôture de la session.....	31
Premier Rapport du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre au Comité International des Poids et Mesures; par E. Perucca.	33
Annexes des Procès-Verbaux du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre.	49
M 1. <i>Rapport sur la définition du mètre; par R. H. Field.</i>	49
M 2. <i>Lettre de J. Cabannes.</i>	54

	Pages.
M 3. <i>Extrait d'une lettre de B. Edlén</i>	M 56
M 4. <i>Remarques sur le programme de travail du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre; par J. Stulla-Götz</i>	57
M 5. <i>Notes présentées par Y. Väisälä</i>	60
M 6. PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT (Allemagne). — <i>Considérations sur le changement de la définition du mètre; par E. Engelhard</i>	64
M 7. NATIONAL RESEARCH COUNCIL (Canada). — <i>Considérations sur la tâche du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre; par K. M. Baird</i>	73
M 8. NATIONAL RESEARCH COUNCIL (Canada). — <i>Propositions soumises à l'attention du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre; par K. M. Baird</i>	76
M 9. NATIONAL BUREAU OF STANDARDS (États-Unis d'Amérique). — <i>Questions suggérées pour être inscrites à l'Ordre du Jour du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre</i>	79
M 10. NATIONAL PHYSICAL LABORATORY (Grande-Bretagne). — <i>Questions suggérées pour la discussion par le Comité Consultatif pour la Définition du Mètre</i>	81
M 11. CENTRAL INSPECTION INSTITUTE OF WEIGHTS AND MEASURES (Japon). — <i>Sur la définition du mètre par une longueur d'onde lumineuse</i>	84
M 12. CHAMBRE CENTRALE DES MESURES ET INSTRUMENTS DE MESURE (U. R. S. S.). — <i>Propositions soumises au Comité Consultatif pour la Définition du Mètre</i>	86
M 13. CHAMBRE CENTRALE DES MESURES ET INSTRUMENTS DE MESURE (U. R. S. S.). — <i>De la possibilité d'utiliser la radiation des isotopes stables pairs du cadmium pour la représentation de l'unité de longueur; par N. R. Batarouchkova, A. I. Kartachev et M. F. Romanova</i>	88
M 14. BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES. — <i>Étude d'un étalon en quartz de 100 mm, témoin de l'unité métrique internationale; par J. Terrien</i>	95
M 15. BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES. — <i>Principe d'une méthode pour comparer un mètre à traits à une longueur d'onde; par J. Terrien</i>	97
M 16. BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES. — <i>Résultats des intercomparaisons des Mètres nos 13, 13 C, 19, 26 et T 4, en 1939-1944 et en 1953; par Ch. Volet</i>	100

COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE

Session de 1954.

	Pages.
Liste des Membres.....	T 3
Ordre du Jour.....	7
Procès-verbal de la première séance, lundi 12 juillet 1954.	9
Souhaits de bienvenue.....	9
Annonce de l'élection de M. de Boer comme Président....	10
Démission de M. Swietoslowski. M. Yoshié est invité, en l'absence de délégué du Laboratoire japonais. Excuses de M. Boutry.....	10
Désignation du Rapporteur et du Secrétaire.....	10
Discussion sur la température T_0 du point de fusion de la glace dans l'échelle Kelvin (Distinction entre les expressions <i>point de glace</i> et <i>point de fusion de la glace</i> . — Résultats obtenus dans différents Laboratoires. — Accord sur la valeur $T_0 = 273,15^\circ\text{K}$).	10
Définition de l'échelle thermodynamique à un point fixe (Valeur adoptée pour la température du point triple de l'eau : $T_{tr} = 273,16^\circ\text{K}$).....	13
Désignation et symboles des températures. Maintien du qualificatif « international ».....	15
Définition de l'atmosphère normale (Définition recommandée. — Conservation du système de Potsdam pour l'expression de la gravité locale. — Changement à introduire dans le texte de l'Échelle Internationale de Température de 1948).....	17
Procès-verbal de la deuxième séance, mardi 13 juillet 1954..	20
Discussion et adoption de la Proposition 1 relative à la définition de l'échelle thermodynamique à un point fixe fondamental.....	20
Nécessité de réviser le texte de l'Introduction de l'Échelle Internationale de Température.....	22
Adoption du tableau des désignations et abréviations des températures.....	22
Circulation de thermomètres à résistance pour comparaison internationale de l'intervalle $0-100^\circ\text{C}$ (Résultats obtenus. — Approbation du projet de comparaison internationale de l'intervalle compris entre le point d'ébullition de l'oxygène et le point triple de l'eau. — Transport des thermomètres à résistance)...	23
Adoption de la Proposition 2 concernant le système gravimétrique de référence à adopter pour la réalisation pratique de l'atmosphère normale.....	26

	Pages.
Perfectionnement des techniques (Études sur le thermomètre à résistance de platine en vue de son utilisation jusqu'à 1063°C. — Choix des points fixes. — Formules d'interpolation. — Programmes de travaux prévus dans les Laboratoires. — Nécessité d'une détermination précise de la température des points de solidification de Au, Ag et Zn dans l'échelle thermodynamique)..	T 27
Procès-verbal de la troisième séance, mardi 13 juillet 1954..	33
Adoption de la Proposition 3 résumant le programme des études à entreprendre dans les Laboratoires.....	33
État des travaux en cours sur le thermomètre à gaz et le thermomètre à effet Johnson.....	34
Observations concernant le domaine des basses températures.....	35
Emploi de composés organiques comme repères thermométriques secondaires.....	36
Échange de vues et adoption de la Proposition 4 relative à l'équipement du Bureau International pour la réalisation de l'Échelle Internationale de Température.....	36
Projet de comparaisons par échange de lampes pyrométriques.....	38
Discussion sur les critères de pureté relatifs au thermocouple.....	39
Études sur le thermomètre à mercure en silice.....	40
Emploi des thermistances en thermométrie de précision...	41
Discussion sur la définition du degré Kelvin.....	41
Hommage rendu à Kelvin et à Mendéléév.....	43
Quatrième Rapport du Comité Consultatif de Thermométrie au Comité International des Poids et Mesures; par J. A. Hall.....	44
Annexes des Procès-Verbaux du Comité Consultatif de Thermométrie.....	51
T 1. <i>Résolutions de l'Union Internationale de Physique Pure et Appliquée et de l'Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée.....</i>	51
T 2. NATIONAL BUREAU OF STANDARDS ET MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY (États-Unis d'Amérique). — <i>Sur la température du point de fusion de la glace dans l'échelle Kelvin; par H. F. Stimson et J. A. Beattie.....</i>	53
T 3. NATIONAL BUREAU OF STANDARDS (États-Unis d'Amérique). — <i>Proposition concernant l'échelle Glauque-Kelvin.....</i>	59

	Pages,
T 4. TOKYO INSTITUTE OF TECHNOLOGY (Japon). — <i>Commentaires sur la proposition du National Bureau of Standards concernant la meilleure valeur du point de glace</i> ; par J. Oishi.....	T 63
T 5. KAMERLINGH ONNES LABORATORIUM (Pays-Bas). — <i>Sur la température absolue du point de glace</i> ; par H. van Dijk.....	66
T 6. PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT (Allemagne). — <i>Nouveau calcul de la valeur limite des coefficients de dilatation et d'augmentation de pression de l'hélium, de l'hydrogène, de l'azote et du néon, d'après les dernières mesures de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt</i> ; par J. Otto.....	78
T 7. CENTRAL INSPECTION INSTITUTE OF WEIGHTS AND MEASURES (Japon). — <i>Propositions présentées au Comité Consultatif de Thermométrie</i>	86
T 8. BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES. — <i>Sur la Note de U. Stille : Quelques remarques de principe sur la désignation des échelles de température</i> ; par J. Terrien.....	88
T 9. PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT (Allemagne). — <i>Proposition en vue d'une désignation sans équivoque des grandeurs et des unités de température dans différentes échelles de température</i> ; par H. Moser.....	90
T 10. NATIONAL BUREAU OF STANDARDS (États-Unis d'Amérique). — <i>Commentaires sur la nomenclature des échelles de température</i> ; par H. F. Stimson.....	94
T 11. NATIONAL BUREAU OF STANDARDS (États-Unis d'Amérique). — <i>Rapport sur les comparaisons de l'intervalle fondamental effectuées avec les thermomètres à résistance étalons R 10 et S 167</i> ; par H. F. Stimson.....	96
T 12. NATIONAL PHYSICAL LABORATORY (Grande-Bretagne). — <i>Comparaison internationale de la mesure de l'intervalle fondamental de l'échelle de température avec les thermomètres à résistance de platine S 167 et R 13</i>	106
T 13. PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT (Allemagne). — <i>Comparaison internationale des thermomètres à résistance de platine R 13 et S 167</i>	114

	Pages.
T 14. KAMERLINGH ONNES LABORATORIUM (Pays-Bas). — <i>Résultats des mesures effectuées sur les thermomètres à résistance de platine R 13 et S 167</i>	T 115
T 15. NATIONAL PHYSICAL LABORATORY (Grande-Bretagne). — <i>Comparaison internationale de la mesure de l'intervalle fondamental de l'Échelle de Température avec les thermomètres à résistance de platine S 167, R 13 et 109</i>	116
T 16. INSTITUT DE MÉTROLOGIE DU NOM DE D. I. MENDÉLÉEV (U. R. S. S.). — <i>Les méthodes de réalisation de l'Échelle Internationale de Température dans l'intervalle de 400 à 1063°C</i>	122
T 17. INSTITUT DE MÉTROLOGIE DU NOM DE D. I. MENDÉLÉEV (U. R. S. S.). — <i>Les thermomètres à résistance de platine dans le domaine de 0 à 1063°C</i> ; par B. I. Piliptchouk.....	134
T 18. CHAMBRE CENTRALE DES MESURES ET INSTRUMENTS DE MESURE (U. R. S. S.). — <i>Proposition concernant l'extension de l'Échelle Internationale de Température au-dessous du point d'ébullition de l'oxygène</i>	141
T 19. TOKYO INSTITUTE OF TECHNOLOGY (Japon). — <i>Nouvelles mesures du point de solidification de l'argent</i> ; par J. Oishi, M. Awano et T. Mochizuki.....	148
T 20. NATIONAL RESEARCH COUNCIL (Canada). — <i>La stabilité de la température de solidification du zinc très pur</i> ; par E. H. McLaren.....	152
T 21. NATIONAL RESEARCH COUNCIL (Canada). — <i>Analyse thermique du zinc de grande pureté</i> ; par E. H. McLaren.....	157
T 22. NATIONAL RESEARCH COUNCIL (Canada). — <i>Comparaison de huit thermomètres à résistance de platine au point du zinc</i> ; par E. H. McLaren.....	162
T 23. NATIONAL PHYSICAL LABORATORY (Grande-Bretagne). — <i>La stabilité des thermomètres à résistance de platine contenant de l'hélium</i>	166
T 24. <i>L'emploi de composés organiques comme repères thermométriques secondaires</i> ; par J. Timmermans..	171
T 25. BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES. — <i>Projet de comparaison des échelles pyrométriques par échange de lampes à ruban de tungstène</i>	177

TABLE DES MATIÈRES

XIII

	Pages.
T 26. BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES. — <i>Corrections à l'échelle du thermomètre à mercure en quartz fondu. Résultats préliminaires; par H. Moreau.....</i>	T 182
T 27. BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES. — <i>Sur l'emploi des thermistances en thermométrie de précision; par G. Leclerc.....</i>	185
T 28. <i>Bibliographie relative à l'Échelle Internationale de Température.....</i>	190
TABLE DES MATIÈRES.....	I-XIII

PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS

144752 Quai des Grands-Augustins, 55.

Dépôt légal, Imprimeur, 1956, n° 1110.

Dépôt légal, Editeur, 1956, n° 665.

ACHEVÉ D'IMPRIMER LE 16 AVRIL 1956.