

COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE

SESSION DE 1982

---

ISBN 92-822-2077-X

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

---

COMITÉ CONSULTATIF  
DE THERMOMÉTRIE

---

14<sup>e</sup> SESSION — 1982



BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

Pavillon de Breteuil, F-92310 SÈVRES, France



---

## NOTICE HISTORIQUE

---

### Les organes de la Convention du Mètre

#### Le Bureau International, le Comité International et la Conférence Générale des Poids et Mesures

Le Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) a été créé par la Convention du Mètre signée à Paris le 20 mai 1875 par dix-sept États, lors de la dernière séance de la Conférence Diplomatique du Mètre. Cette Convention a été modifiée en 1921.

Le Bureau International a son siège près de Paris, dans le domaine (43 520 m<sup>2</sup>) du Pavillon de Breteuil (Parc de Saint-Cloud) mis à sa disposition par le Gouvernement français ; son entretien est assuré à frais communs par les États membres de la Convention du Mètre <sup>(1)</sup>.

Le Bureau International a pour mission d'assurer l'unification mondiale des mesures physiques ; il est chargé :

- d'établir les étalons fondamentaux et les échelles des principales grandeurs physiques et de conserver les prototypes internationaux ;
- d'effectuer la comparaison des étalons nationaux et internationaux ;
- d'assurer la coordination des techniques de mesure correspondantes ;
- d'effectuer et de coordonner les déterminations relatives aux constantes physiques qui interviennent dans les activités ci-dessus.

Le Bureau International fonctionne sous la surveillance exclusive du Comité International des Poids et Mesures (CIPM), placé lui-même sous l'autorité de la Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM).

La Conférence Générale est formée des délégués de tous les États membres de la Convention du Mètre et se réunit actuellement tous les quatre ans. Elle reçoit à chacune de ses sessions le Rapport du Comité International sur les travaux accomplis, et a pour mission :

- de discuter et de provoquer les mesures nécessaires pour assurer la propagation et le perfectionnement du Système International d'Unités (SI), forme moderne du Système Métrique ;
- de sanctionner les résultats des nouvelles déterminations métrologiques fondamentales et d'adopter les diverses résolutions scientifiques de portée internationale ;
- d'adopter les décisions importantes concernant l'organisation et le développement du Bureau International.

Le Comité International est composé de dix-huit membres appartenant à des États différents ; il se réunit actuellement tous les ans. Le bureau de ce Comité adresse aux Gouvernements des États membres de la Convention du Mètre un rapport annuel sur la situation administrative et financière du Bureau International.

Limitées à l'origine aux mesures de longueur et de masse et aux études métrologiques en relation avec ces grandeurs, les activités du Bureau International ont été étendues aux étalons de mesure électriques (1927), photométriques (1937) et des rayonnements ionisants (1960). Dans ce but, un agrandissement des premiers laboratoires construits en 1876-1878 a eu lieu en 1929 et deux nouveaux bâtiments ont été construits en 1963-1964 pour les laboratoires de la Section des rayonnements ionisants.

Une trentaine de physiciens ou techniciens travaillent dans les laboratoires du Bureau International ; ils font des recherches métrologiques ainsi que des mesures dont les résultats sont consignés dans des certificats portant sur des étalons des grandeurs ci-dessus. La dotation annuelle du Bureau International est de l'ordre de 9 570 000 francs-or (en 1982), soit environ 17 400 000 francs français.

---

(1) Au 31 décembre 1982, quarante-six États sont membres de cette Convention : Afrique du Sud, Allemagne (Rép. Fédérale d'), Allemande (Rép. Démocratique), Amérique (É.-U. d'), Argentine (Rép.), Australie, Autriche, Belgique, Brésil, Bulgarie, Cameroun, Canada, Chili, Chine (Rép. Pop. de), Corée (Rép. de), Corée (Rép. Pop. Dém. de), Danemark, Dominicaine (Rép.), Égypte, Espagne, Finlande, France, Hongrie, Inde, Indonésie, Iran, Irlande, Italie, Japon, Mexique, Norvège, Pakistan, Pays-Bas, Pologne, Portugal, Roumanie, Royaume-Uni, Suède, Suisse, Tchécoslovaquie, Thaïlande, Turquie, U.R.S.S., Uruguay, Venezuela, Yougoslavie.

Devant l'extension des tâches confiées au Bureau International, le Comité International a institué depuis 1927, sous le nom de Comités Consultatifs, des organes destinés à le renseigner sur les questions qu'il soumet, pour avis, à leur examen. Ces Comités Consultatifs, qui peuvent créer des « Groupes de travail » temporaires ou permanents pour l'étude de sujets particuliers, sont chargés de coordonner les travaux internationaux effectués dans leurs domaines respectifs et de proposer des recommandations concernant les modifications à apporter aux définitions et aux valeurs des unités, en vue des décisions que le Comité International est amené à prendre directement ou à soumettre à la sanction de la Conférence Générale pour assurer l'unification mondiale des unités de mesure.

Les Comités Consultatifs ont un règlement commun (*Procès-Verbaux CIPM*, 31, 1963, p. 97). Chaque Comité Consultatif, dont la présidence est généralement confiée à un membre du Comité International, est composé de délégués de chacun des grands Laboratoires de métrologie et des Instituts spécialisés dont la liste est établie par le Comité International, de membres individuels désignés également par le Comité International et d'un représentant du Bureau International. Ces Comités tiennent leurs sessions à des intervalles irréguliers ; ils sont actuellement au nombre de huit :

1. Le Comité Consultatif d'Électricité (CCE), créé en 1927.
2. Le Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie (CCPR), nouveau nom donné en 1971 au Comité Consultatif de Photométrie (CCP) créé en 1933 (de 1930 à 1933 le Comité précédent (CCE) s'est occupé des questions de photométrie).
3. Le Comité Consultatif de Thermométrie (CCT), créé en 1937.
4. Le Comité Consultatif pour la Définition du Mètre (CCDM), créé en 1952.
5. Le Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde (CCDS), créé en 1956.
6. Le Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CCEMRI), créé en 1958. En 1969, ce Comité Consultatif a institué quatre sections : Section I (Rayons X et  $\gamma$ , électrons), Section II (Mesure des radionucléides), Section III (Mesures neutroniques), Section IV (Étalons d'énergie  $\alpha$ ) ; cette dernière Section a été dissoute en 1975, son domaine d'activité étant confié à la Section II.
7. Le Comité Consultatif des Unités (CCU), créé en 1964 (ce Comité Consultatif a remplacé la « Commission du Système d'Unités » instituée par le CIPM en 1954).
8. Le Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées (CCM), créé en 1980.

Les travaux de la Conférence Générale, du Comité International, des Comités Consultatifs et du Bureau International sont publiés par les soins de ce dernier dans les collections suivantes :

- *Comptes rendus des séances de la Conférence Générale des Poids et Mesures* ;
- *Procès-Verbaux des séances du Comité International des Poids et Mesures* ;
- *Sessions des Comités Consultatifs* ;
- *Recueil de Travaux du Bureau International des Poids et Mesures* (ce Recueil hors commerce rassemble les articles publiés dans des revues et ouvrages scientifiques et techniques, ainsi que certains travaux publiés sous forme de rapports multicopiés).

Le Bureau International publie de temps en temps, sous le titre *Les récents progrès du Système Métrique*, un rapport sur les développements du Système Métrique (SI) dans le monde.

La collection des *Travaux et Mémoires du Bureau International des Poids et Mesures* (22 tomes publiés de 1881 à 1966) a été arrêtée en 1966 par décision du Comité International.

Depuis 1965 la revue internationale *Metrologia*, éditée sous les auspices du Comité International des Poids et Mesures, publie des articles sur les principaux travaux de métrologie scientifique effectués dans le monde, sur l'amélioration des méthodes de mesure et des étalons, sur les unités, etc., ainsi que des rapports concernant les activités, les décisions et les recommandations des organes de la Convention du Mètre.

---

---

## NOTICE HISTORIQUE

### Les organes de la Convention du Mètre Le Bureau International, le Comité International et la Conférence Générale des Poids et Mesures

Le Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) a été créé par la Convention du Mètre signée à Paris le 20 mai 1875 par dix-sept États, lors de la dernière séance de la Conférence Diplomatique du Mètre. Cette Convention a été modifiée en 1921.

Le Bureau International a son siège près de Paris, dans le domaine (43 520 m<sup>2</sup>) du Pavillon de Breteuil (Parc de Saint-Cloud) mis à sa disposition par le Gouvernement français ; son entretien est assuré à frais communs par les États membres de la Convention du Mètre (1).

Le Bureau International a pour mission d'assurer l'unification mondiale des mesures physiques ; il est chargé :

- d'établir les étalons fondamentaux et les échelles des principales grandeurs physiques et de conserver les prototypes internationaux ;
- d'effectuer la comparaison des étalons nationaux et internationaux ;
- d'assurer la coordination des techniques de mesure correspondantes ;
- d'effectuer et de coordonner les déterminations relatives aux constantes physiques qui interviennent dans les activités ci-dessus.

Le Bureau International fonctionne sous la surveillance exclusive du Comité International des Poids et Mesures (CIPM), placé lui-même sous l'autorité de la Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM).

La Conférence Générale est formée des délégués de tous les États membres de la Convention du Mètre et se réunit actuellement tous les quatre ans. Elle reçoit à chacune de ses sessions le Rapport du Comité International sur les travaux accomplis, et a pour mission :

- de discuter et de provoquer les mesures nécessaires pour assurer la propagation et le perfectionnement du Système International d'Unités (SI), forme moderne du Système Métrique ;
- de sanctionner les résultats des nouvelles déterminations métrologiques fondamentales et d'adopter les diverses résolutions scientifiques de portée internationale ;
- d'adopter les décisions importantes concernant l'organisation et le développement du Bureau International.

Le Comité International est composé de dix-huit membres appartenant à des États différents ; il se réunit actuellement tous les ans. Le bureau de ce Comité adresse aux Gouvernements des États membres de la Convention du Mètre un rapport annuel sur la situation administrative et financière du Bureau International.

Limitées à l'origine aux mesures de longueur et de masse et aux études métrologiques en relation avec ces grandeurs, les activités du Bureau International ont été étendues aux étalons de mesure électriques (1927), photométriques (1937) et des rayonnements ionisants (1960). Dans ce but, un agrandissement des premiers laboratoires construits en 1876-1878 a eu lieu en 1929 et deux nouveaux bâtiments ont été construits en 1963-1964 pour les laboratoires de la Section des rayonnements ionisants.

Une trentaine de physiciens ou techniciens travaillent dans les laboratoires du Bureau International ; ils font des recherches métrologiques ainsi que des mesures dont les résultats sont consignés dans des certificats portant sur des étalons des grandeurs ci-dessus. La dotation annuelle du Bureau International est de l'ordre de 9 570 000 francs-or (en 1982), soit environ 17 400 000 francs français.

---

(1) Au 31 décembre 1982, quarante-six États sont membres de cette Convention : Afrique du Sud, Allemagne (Rép. Fédérale d'), Allemande (Rép. Démocratique), Amérique (É.-U. d'), Argentine (Rép.), Australie, Autriche, Belgique, Brésil, Bulgarie, Cameroun, Canada, Chili, Chine (Rép. Pop. de), Corée (Rép. de), Corée (Rép. Pop. Dém. de), Danemark, Dominicaine (Rép.), Égypte, Espagne, Finlande, France, Hongrie, Inde, Indonésie, Iran, Irlande, Italie, Japon, Mexique, Norvège, Pakistan, Pays-Bas, Pologne, Portugal, Roumanie, Royaume-Uni, Suède, Suisse, Tchécoslovaquie, Thaïlande, Turquie, U.R.S.S., Uruguay, Venezuela, Yougoslavie.

---

**Comité International des Poids et Mesures**

*Secrétaire*

J. DE BOER

*Président*

J. V. DUNWORTH

---

LISTE DES MEMBRES  
DU  
COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE

---

*Président*

H. PRESTON-THOMAS, Membre du Comité International des Poids et Mesures; Directeur associé de la Division de Physique du Conseil National de Recherches, Ottawa.

*Membres*

AMT FÜR STANDARDISIERUNG, MESSWESEN UND WARENPRÜFUNG [ASMW],  
Berlin.

BUREAU NATIONAL DE MÉTROLOGIE, Paris : Institut National de Métrologie  
[INM] du Conservatoire National des Arts et Métiers.

ČESKOSLOVENSKÝ METROLOGICKÝ ÚSTAV [CSMU], Bratislava.

CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES [NRC], Ottawa.

CSIRO, DIVISION OF APPLIED PHYSICS [CSIRO], Lindfield (Australie).

INSTITUT DE MÉTROLOGIE D. I. MENDÉLÉEV (IMM), Leningrad.

INSTITUT DES MESURES PHYSICOTECHNIQUES ET RADIOTECHNIQUES [IMPR],  
Moscou.

INSTITUT NATIONAL DE MÉTROLOGIE [NIM], Beijing (Rép. Pop. Chine).

ISTITUTO DI METROLOGIA G. COLONNETTI [IMGCI], Turin.

KAMERLINGH ONNES LABORATORIUM [KOL], Leiden.

NATIONAL BUREAU OF STANDARDS [NBS], Washington.

NATIONAL PHYSICAL LABORATORY [NPL], Teddington (Grande-Bretagne).



NATIONAL RESEARCH LABORATORY OF METROLOGY [NRLM], Ibaraki  
(Japon).

PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT [PTB], Braunschweig.

VAN SWINDEN LABORATORIUM [VSL], Delft.

F. G. BRICKWEDDE, Professor of Physics, Pennsylvania State University,  
Pennsylvania.

C. A. SWENSON, Iowa State University, Ames (États-Unis d'Amérique).

Le Directeur du Bureau International des Poids et Mesures [BIPM], Sèvres.

---

ORDRE DU JOUR  
de la 14<sup>e</sup> Session

---

1. Nomination d'un Rapporteur.
2. Approbation du compte rendu des séances de la 13<sup>e</sup> session du CCT (1980).
3. 6th Temperature Symposium (Washington, D.C., mars 1982).
4. Documents soumis à la 14<sup>e</sup> Session du CCT.
5. Rapports des Groupes de travail :
  - a) Résumés :
    1. Groupe de travail 1.
    2. Groupe de travail 2.
    3. Groupe de travail 3.
    4. Groupe de travail 4.
  - b) Discussion :
    1. Groupe de travail 4.
    2. Groupe de travail 2.
    3. Groupe de travail 3 :
      - (i) Interpolation au-dessous de 0 °C.
      - (ii) Interpolation au-dessus de 0 °C.
      - (iii) Choix des points fixes dans le domaine du thermomètre à résistance de platine.
      - (iv) Limite inférieure du domaine du thermomètre à résistance de platine.
      - (v) Températures thermodynamiques au-dessus de 14 K.
6. Discussion du texte de la monographie contenant les Renseignements complémentaires.
7. Discussion de la monographie envisagée portant sur les techniques secondaires.
8. Thermomètres à résistance de platine pour la mesure des hautes températures.
9. Différences  $T - T_{68}$ .

10. Points fixes et comparaisons internationales.
  11. Nouvelle EIPT; situation actuelle.
  12. Travaux du BIPM.
  13. Travaux futurs du CCT et des Groupes de travail.
  14. Publication des documents.
  15. Questions diverses.
  16. Recommandation au CIPM.
  17. Prochaine session du CCT.
-

---

RAPPORT  
DU  
COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE  
(14<sup>e</sup> Session — 1982)  
AU  
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES  
par M. DURIEUX, Rapporteur

---

La 14<sup>e</sup> session du Comité Consultatif de Thermométrie (CCT) s'est tenue au BIPM du 30 mars au 1<sup>er</sup> avril 1982, soit quinze jours après le 6th Symposium on Temperature (Washington), afin de tirer profit des informations apportées par les 182 communications présentées au cours de ce Symposium.

Une réunion officieuse, rassemblant une cinquantaine de personnes, s'est tenue pendant le Symposium pour discuter de l'introduction d'une nouvelle Échelle Internationale Pratique de Température (EIPT) comme le propose le CCT : dans l'ensemble cette proposition a été reçue favorablement, mais a donné lieu à de longues discussions sur les détails.

Étaient présents à la 14<sup>e</sup> session du CCT :

H. PRESTON-THOMAS, membre du CIPM, président du CCT.

Les délégués des laboratoires membres :

Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung  
[ASMW], Berlin (H. MAAS).

Československý Metrologický Ústav [CSMU], Bratislava  
(M. BOROVIČKA).

Conseil National de Recherches [NRC], Ottawa (R. E. BEDFORD).  
CSIRO, Division of Applied Physics [CSIRO], Lindfield  
(W. R. G. KEMP, T. P. JONES).

Institut National de Métrologie [NIM], Beijing (LING SHANKANG, LI  
XUMO).

Institut National de Métrologie [INM], Paris (A. MOSER,  
G. BONNIER).

Istituto di Metrologia G. Colonnetti [IMGC], Turin (L. CROVINI,  
F. PAVESE).

Kamerlingh Onnes Laboratorium [KOL], Leiden (M. DURIEUX).  
Van Swinden Laboratorium [VSL], Delft (P. BLOEMBERGEN).  
National Bureau of Standards [NBS], Washington (J. F. SCHOOLEY).  
National Physical Laboratory [NPL], Teddington (P. B. COATES,  
R. L. RUSBY).  
Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig  
(W. THOMAS).

L'un des membres nominativement désignés :

C. A. SWENSON (Ames).

Le directeur du BIPM (P. GIACOMO).

Assistaient aussi à la session : J. TERRIEN, directeur honoraire;  
T. J. QUINN, sous-directeur; J. BONHOURE, R. P. HUDSON et  
G. GIRARD, adjoints au directeur du BIPM.

Excusés : National Research Laboratory of Metrology [NRLM],  
Ibaraki (M. MORIMURA); F. G. BRICKWEDDE (Pennsylvania),  
membre nominativement désigné.

Absents : Institut de Métrologie D. I. Mendéléev (IMM),  
Leningrad; Institut des Mesures Physicotechniques et Radio-  
techniques (IMPR), Moscou.

Voici un résumé des discussions qui ont eu lieu, des remarques faites,  
des propositions et des décisions prises par le CCT.

## 1. Nouvelle EIPT

Trois des quatre Groupes de travail du CCT ont présenté un rapport sur la structure possible de la nouvelle EIPT. Les progrès effectués en thermométrie au cours des deux dernières années permettent d'être relativement optimiste quant aux échéances qui ont été prévues lors de la dernière session du CCT, c'est-à-dire soumettre au CIPM une nouvelle EIPT en 1986, avec mise en application en 1987; cependant, un retard de deux ans ne serait pas surprenant. Les points suivants ont été abordés :

- a) *Mesure des températures thermodynamiques.* — Ces mesures sont faites de diverses façons suivant les différents domaines de température considérés, dans toutes les régions critiques comprises entre le point de congélation de l'or et 4 K.
- b) *Thermomètres à résistance de platine pour la mesure des hautes températures.* — On peut maintenant se procurer des thermomètres auprès du NBS (États-Unis), de Chino Works (Japon) et du NIM (Chine). En particulier, les délégués chinois au CCT ont apporté dix thermomètres à répartir entre les laboratoires nationaux pour étude. Sept autres thermomètres sont disponibles à Beijing et le NBS en a déjà reçu trois.

- c) *Points fixes et méthodes d'interpolation.* — D'autres renseignements détaillés ont été obtenus sur la réalisation des points fixes (*voir* 2 ci-après) et sur l'exactitude que l'on peut atteindre par interpolation avec les thermomètres à résistance de platine. On a examiné soigneusement les possibilités d'utiliser le thermomètre à résistance de rhodium-fer et le thermomètre à gaz comme instruments d'interpolation.
- d) *Pression de vapeur de  $^4\text{He}$  et  $^3\text{He}$ .* — On a proposé de nouvelles équations (*voir* Recommandation au CIPM); on pense qu'elles seront utilisées dans la nouvelle EIPT.

## 2. Comparaison de cellules scellées à point triple

Ce programme de comparaison internationale organisée par l'IMGC est en voie d'achèvement, bien qu'il reste encore à effectuer quelques comparaisons complémentaires. On a longuement discuté du projet d'un document donnant les résultats de cette comparaison.

## 3. Publications futures du CCT

- a) Le Groupe de travail 1 a demandé aux membres du CCT de lui fournir rapidement les dernières modifications ou additions à apporter au document sur les Renseignements complémentaires à l'EIPT-68 et à l'EPT-76. Ce document devrait être publié par le BIPM au début de 1983. Il sera revu de façon périodique; en particulier, il sera modifié lors de l'introduction d'une nouvelle EIPT.
- b) Le CCT a pris note des efforts considérables que le Groupe de travail 2 a déployé pour rassembler les meilleures valeurs des points de référence secondaires et établir une bibliographie portant sur les mesures de température secondaires. On espère qu'un premier projet d'un document portant sur les techniques secondaires en thermométrie sera prêt pour être étudié par le CCT lors de sa prochaine session.
- c) Le présent rapport, un compte rendu détaillé de la 14<sup>e</sup> session du CCT et les rapports des quatre Groupes de travail seront publiés en français (texte officiel) et en anglais dans *Comité Consultatif de Thermométrie*, 14<sup>e</sup> session, 1982.

## 4. Problèmes divers

On est rentré très en détail dans le projet général envisagé pour la prochaine version de l'EIPT: ce qui a été dit sera introduit dans une

nouvelle version (B) d'un texte de l'EIPT qui sera distribué avant la fin de 1982 aux membres du CCT afin qu'ils l'étudient et fassent leurs remarques; une autre version (C) sera prête quelques mois avant la session du CCT de 1984.

Il a été suggéré, et dans l'ensemble approuvé, que l'on envisage de supprimer le mot « pratique » dans le titre de la nouvelle EIPT, ou de le remplacer par un autre mot plus approprié. En 1960, lorsque le mot « pratique » a été ajouté, l'idée était de faire une distinction entre les valeurs numériques des températures données par l'échelle et les températures thermodynamiques correspondantes (idéales mais inaccessibles); or, le mot a pris, malheureusement, l'acception de facile à réaliser.

Un certain nombre de nouvelles tâches ont été confiées aux quatre Groupes de travail; toutefois, leur composition et leur fonction principale demeurent inchangées.

On devra, dès que possible, porter à la connaissance des organismes intéressés, par exemple ceux qui ont la responsabilité d'établir les tables critiques de grandeurs qui sont fonctions de la température, la date probable (1987 ou 1989) de la nouvelle EIPT\*.

La prochaine session du CCT se tiendra à la fin du mois de mai ou au début du mois de juin 1984.

Juin 1982

---

\* En fait, ce point n'a pas été discuté pendant la session, mais ultérieurement. Il est inclus dans le présent rapport avec l'accord de l'ensemble des membres du CCT.

**Recommandation**  
**du Comité Consultatif de Thermométrie**  
**présentée au**  
**Comité International des Poids et Mesures**

Échelles de pression de vapeur de l'hélium

RECOMMANDATION T 1 (1982)

Le Comité Consultatif de Thermométrie,

*considérant*

— que, lors de l'adoption de l'EPT-76, des travaux étaient en cours pour déterminer des équations reliant la pression de vapeur saturante de l'hélium 3 ou de l'hélium 4 à  $T_{76}$ ,

— que ces travaux sont achevés et que de nouvelles équations ont été publiées,

— que ces nouvelles équations ont été approuvées lors de la 14<sup>e</sup> session du CCT,

*recommande*

— que les équations de l'annexe ci-dessous soient utilisées pour exprimer la pression de vapeur saturante de l'hélium 3 et de l'hélium 4 en fonction de  $T_{76}$ ,

— que ces mêmes équations soient utilisées pour obtenir  $T_{76}$  à partir de la pression de vapeur saturante de l'hélium, au lieu de la méthode indiquée dans le texte et le Tableau 3 de l'EPT-76, méthode qui fait référence aux échelles <sup>4</sup>He 1958 et <sup>3</sup>He 1962.

Annexe à la Recommandation T 1 (1982)

1) <sup>3</sup>He entre 0,5 K et 3,316 2 K :

$$\ln (P/\text{Pa}) = \sum_{k=-1}^n a_k T_{76}^k + b \ln (T_{76}/\text{K})$$

Cette équation reste valable entre 0,5 K et 0,2 K en y remplaçant  $T_{76}$  par  $T$ .

2) <sup>4</sup>He entre 0,5 K et 2,176 8 K (point  $\lambda$ ) :

$$\ln (P/\text{Pa}) = \sum_{k=-1}^n a_k T_{76}^k$$

3) <sup>4</sup>He entre 2,176 8 K et la température critique  $T_c = 5,195 3$  K

$$\ln (P/\text{Pa}) = \sum_{k=-1}^n a_k (T_{76}/T_c)^k + b(1 - T_{76}/T_c)^{1.9}.$$



Les coefficients  $a_k$  et  $b$  de ces équations sont donnés dans les tableaux ci-après :

$^3\text{He}$  entre 0,5 K et 3,316 2 K

$$\begin{aligned} a_{-1} &= -2,509\ 43 \quad \text{K} \\ a_0 &= 9,708\ 76 \\ a_1 &= -0,304\ 433 \quad \text{K}^{-1} \\ a_2 &= 0,210\ 429 \quad \text{K}^{-2} \\ a_3 &= -0,054\ 514\ 5 \quad \text{K}^{-3} \\ a_4 &= 0,005\ 606\ 7 \quad \text{K}^{-4} \\ b &= 2,254\ 84 \end{aligned}$$

$^4\text{He}$  entre 0,5 K et 2,176 8 K

$$\begin{aligned} a_{-1} &= -7,418\ 16 \quad \text{K} \\ a_0 &= 5,421\ 28 \\ a_1 &= 9,903\ 203 \quad \text{K}^{-1} \\ a_2 &= -9,617\ 095 \quad \text{K}^{-2} \\ a_3 &= 6,804\ 602 \quad \text{K}^{-3} \\ a_4 &= -3,015\ 460\ 6 \quad \text{K}^{-4} \\ a_5 &= 0,746\ 135\ 7 \quad \text{K}^{-5} \\ a_6 &= -0,079\ 179\ 1 \quad \text{K}^{-6} \end{aligned}$$

$^4\text{He}$  entre 2,176 8 K et 5,195 3 K

$$\begin{aligned} a_{-1} &= -30,932\ 85 \\ a_0 &= 392,473\ 61 \\ a_1 &= -2\ 328,045\ 87 \\ a_2 &= 8\ 111,303\ 47 \\ a_3 &= -17\ 809,809\ 01 \\ a_4 &= 25\ 766,527\ 47 \\ a_5 &= -24\ 601,4 \\ a_6 &= 14\ 944,651\ 42 \\ a_7 &= -5\ 240,365\ 18 \\ a_8 &= 807,931\ 68 \\ b &= 14,533\ 33 \end{aligned}$$



---

## Compte rendu des séances de la 14<sup>e</sup> Session du CCT

---

Le Président souhaite la bienvenue à tous les membres et délégués, en particulier à Mr Li de l'Institut National de Métrologie (Rép. Pop. de Chine), à Mr Jones du CSIRO (Australie) et à Mr Borovicka (Tchécoslovaquie), qui assistent pour la première fois à la réunion du CCT, ainsi qu'à Mr Hudson qui assume ses nouveaux rôles de membre du personnel du BIPM et de Rédacteur en chef de *Metrologia*.

On choisit l'anglais comme langue de travail.

### 1. Nomination d'un Rapporteur

Mr Durieux est nommé Rapporteur.

### 2. Compte rendu des séances de la 13<sup>e</sup> Session du CCT (1980)

Le compte rendu des séances de la 13<sup>e</sup> Session est approuvé.

### 3. 6th Temperature Symposium (Washington, D. C., mars 1982)

Le Président ouvre la discussion sur les communications présentées au 6th Temperature Symposium qui sont en rapport direct avec les travaux du CCT.

Mr Schooley rend compte des travaux du Symposium qui s'est tenu à Washington, du 15 au 18 mars 1982. Le discours d'ouverture, fait par R. P. Hudson, a été suivi d'environ 180 communications, de 20 minutes chacune, réparties en 32 sessions qui se déroulaient par quatre simultanément. Les comptes rendus du Symposium seront publiés par l'American Institute of Physics, à partir de documents prêts à être photographiés; on pense que le volume, qui comprendra deux parties, sortira en septembre 1982. Environ 80 fabricants d'instruments utilisés en thermométrie ont exposé. Plus d'une centaine, sur les 500 participants au Symposium, ont visité les laboratoires du NBS.

Le Président souligne que les laboratoires nationaux étaient bien représentés au Symposium et demande s'il en était de même pour les

thermométristes travaillant dans l'industrie. Mr Schooley répond que les fabricants de thermomètres étaient bien représentés, mais que les utilisateurs industriels ne l'étaient pas autant qu'on aurait pu le souhaiter.

Mr Crovini demande si le NBS a envisagé la possibilité de réunir des symposiums plus fréquents sur la température, peut-être tous les 5 ans, l'accent étant mis alternativement sur les étalons et sur les applications. Mr Schooley répond que le Symposium Committee n'a pas envisagé cette possibilité; il pense que les réunions d'autres associations (par exemple, l'Instrument Society of America) comportent suffisamment de sessions portant sur la thermométrie pratique pour satisfaire cette demande. Mr Thomas et Mr Hudson font remarquer que cette idée avait été envisagée par le passé et qu'il avait paru peu souhaitable qu'elle soit retenue. A l'époque, les représentants de l'Instrument Society of America et de la Physical Society étaient fortement opposés à l'idée de faire une distinction entre la thermométrie fondamentale et la thermométrie appliquée. Mr Quinn appuie ce point de vue.

Le Président demande à Mr Schooley s'il y a eu des commentaires de la part du secteur industriel à propos de la révision prévue de l'EIPT. Mr Schooley répond qu'aucun commentaire négatif n'a été reçu. Il ajoute que les utilisateurs industriels ont manifesté beaucoup d'intérêt pour le Symposium et ont exprimé leur satisfaction aux personnalités qui se sont chargées de l'organisation.

#### **4. Documents soumis à la 14<sup>e</sup> Session du CCT**

Le Président fait le classement des documents selon les points de l'ordre du jour. La plupart des documents sont ainsi répertoriés et leur discussion viendra au moment où seront abordés les points de l'ordre du jour concernés.

#### **5. Rapports des Groupes de travail**

##### *a. Résumés*

##### **1. Groupe de travail 1**

En tant que président du GT1, Mr Preston-Thomas résume le rapport du GT1 qui comporte deux parties : les grandes lignes du projet de texte d'une EIPT révisée et une proposition de texte pour les Renseignements complémentaires.

En ce qui concerne la première partie, le Président mentionne les points suivants :

L'EIPT révisée sera numériquement différente de l'EIPT-68, si l'on veut qu'elle soit en accord avec les températures thermodynamiques. Le GT1 propose que la limite inférieure du domaine du thermomètre à résistance de

platine soit 24,6 K, et recommande que la limite supérieure soit le point de congélation de l'or, à condition que l'on dispose de thermomètres convenables; si ce n'est pas le cas, il recommande que l'on prenne comme limite supérieure le point de congélation de l'argent. Le GT1 part du principe que l'on ne mettra pas en œuvre une EIPT révisée tant que l'on ne disposera pas de thermomètres à résistance de platine satisfaisants, susceptibles d'être utilisés au moins jusqu'au point de l'argent. Le GT1 recommande que les équations d'interpolation pour le thermomètre à résistance de platine soient déterminées par des procédés faisant appel à la méthode des moindres carrés, et avec un nombre suffisant de points fixes de définition pour permettre une redondance certaine lors des ajustements par moindres carrés et pour faciliter les étalonnages dans des domaines de température restreints. On recommande un thermomètre à gaz étalonné à 24,6 K et 4,2 K pour faire les interpolations entre ces températures; on pense que, dans la pratique, l'échelle sera généralement conservée dans ce domaine au moyen de thermomètres étalons à résistance de rhodium-fer. Au-dessous de 4,2 K, on recommande les relations entre la température et la pression de vapeur de  $^4\text{He}$  et  $^3\text{He}$ , avec 0,5 K comme limite inférieure de l'EIPT.

En ce qui concerne la monographie sur les Renseignements complémentaires, la version F a déjà été distribuée au CCT. Le GT1 demande que toutes les modifications ou additions proposées lui soient soumises par écrit avant le mois de juin 1982, époque à laquelle le GT1 préparera ce que l'on espère être la version définitive. Cette version sera diffusée aux membres du CCT pour approbation finale. Tous les petits changements seront ensuite incorporés au texte avant le mois d'octobre et la version définitive sera publiée par le BIPM peu après\*.

Mr Kemp fait remarquer que la version F a été diffusée trop tard pour en permettre une lecture détaillée avant la présente session du CCT. Il pense que le CSIRO soumettra par écrit au GT1, dans les semaines à venir, un nombre important de suggestions de modifications.

## 2. Groupe de travail 2

Le Président, Mr Bedford, résume les travaux du GT2 qui comportent deux parties: poursuite de l'étude des points de référence secondaires et préparation d'un premier projet d'un document décrivant une bonne pratique en thermométrie et portant sur les techniques secondaires.

Le rapport du GT2 contient une liste de 15 points de référence qui complète la liste parue dans *Metrologia*, 13, 1977, pp. 197-206 et la liste supplémentaire donnée dans le rapport du GT2 en 1980. Cette nouvelle liste confirme la bonne cohérence des résultats pour les points triples de l'argon et du gallium, et le point de congélation du cuivre. Le GT2 recommande que

l'on supprime la valeur du point triple du deutérium qui avait été incluse dans la liste de 1980, compte tenu de désaccords récents et inexplicables entre diverses valeurs mesurées de ce point triple. Il recommande d'entreprendre d'autres mesures du point de congélation du palladium, car ce point est très important pour l'étalonnage des thermocouples aux températures élevées; Mr Bedford signale les travaux actuellement en cours au NPL sur le point du palladium. L'accord entre la valeur du point du palladium déterminée par des techniques pyrométriques « high speed » (incluse dans la nouvelle liste) et des valeurs mesurées par des méthodes courantes, laisse à penser que l'on peut se fier aux valeurs données pour des températures de luminance obtenues par des techniques pyrométriques « high speed », même si les incertitudes indiquées sont grandes. Mr Coates fait remarquer qu'inclure cette mesure particulière du point du palladium prête à confusion parce qu'elle diffère (1 K) de valeurs plus précises données antérieurement et que l'incertitude qui lui est liée est dix fois moins bonne.

En ce qui concerne le document sur une bonne pratique en thermométrie, Mr Bedford regrette que, par manque de temps, on n'ait pas encore pu préparer un premier projet. De plus, le GT2 demande au CCT des instructions plus précises sur ce que ce document doit comporter. Le rapport du GT2 contient une liste de sujets qui pourraient être inclus, ainsi qu'une liste complète des articles généraux déjà disponibles.

### 3. Groupe de travail 3

Le Président, Mr Crovini, résume le rapport du GT3, en soulignant que plusieurs de ses recommandations diffèrent de celles du GT1. Le GT3 propose que la limite inférieure du domaine du thermomètre à résistance de platine soit 13,8 K. Les travaux de R. C. Kemp (document 82-21) laissent à penser qu'avec cette limite et une équation d'interpolation convenable, on peut avoir une unicité de l'échelle de  $\pm 1$  mK au-dessus de 20 K et, éventuellement, de  $\pm 0,2$  mK au-dessous de 20 K. De plus, le GT3 propose que le thermomètre à résistance de type capsule soit l'instrument étalon au-dessous de 273 K et que le thermomètre à tige le soit au-dessus de cette température. Le GT3 est opposé à l'emploi des procédés utilisant une méthode des moindres carrés pour déterminer les équations d'interpolation, car cela risque d'amener une ambiguïté plus grande dans l'échelle. En ce qui concerne la proposition de Rusby pour l'interpolation au-dessus de 24,6 K (document 82-3), qui ne fait pas appel à une méthode des moindres carrés, Mr Crovini fait remarquer qu'elle est moins exacte que la méthode proposée par Mr Kemp. Le GT3 n'a pas été capable de proposer un schéma d'interpolation pour le thermomètre à résistance de platine (PRT) au-dessus de 273 K par manque de données relatives au comportement de la résistance en fonction de la température des thermomètres à résistance de platine pour la mesure des hautes températures (HTPRT). Le GT3 préfère une formule d'interpolation unique dans ce domaine, formule établie de façon telle qu'elle soit utilisable dans une portion réduite du domaine; à

défaut, le GT3 envisage de scinder ce domaine en deux parties pour qu'il ne soit pas nécessaire d'étalonner tous les thermomètres au-dessus du point du zinc. Il faut attendre d'avoir plus de renseignements sur les HTPRT avant de fixer la limite supérieure pour le domaine du thermomètre à résistance de platine; le GT3 espère que l'on obtiendra ces renseignements lors des études faites sur les thermomètres fournis par le NIM.

Le GT3 a donné un tableau des points fixes de définition possibles, avec des commentaires sur leur reproductibilité. Le GT3 aimerait que les points choisis au-dessous de 500 °C fassent preuve d'une reproductibilité meilleure que 0,5 mK. Il pense que, dans le domaine compris entre 4 K et 27 K, l'échelle NPL-75 constitue la meilleure représentation des températures thermodynamiques. Entre 27 K et 273 K, les mesures faites au CSIRO, au KOL et à la PTB sont en bon accord, mais aucune de ces mesures n'est encore achevée. Dans le domaine supérieur à 0 °C, on n'a aucun nouveau résultat de mesure au thermomètre à gaz en provenance du NBS. Mr Quinn et Mr Martin ont obtenu au NPL des résultats avec une méthode de rayonnement total entre — 30 °C et 90 °C; dans la région commune, ces résultats diffèrent légèrement (jusqu'à 4 mK à 85 °C) de ceux obtenus au NBS avec le thermomètre à gaz. Au-dessus de 600 °C, les incertitudes des mesures de température thermodynamique actuellement disponibles se situent entre 0,1 K et 0,3 K. Plusieurs laboratoires envisagent de comparer l'échelle du pyromètre à l'échelle du thermomètre à résistance de platine dans le domaine compris entre 600 °C et 1 064 °C.

#### 4. Groupe de travail 4

Le Président, Mr Hudson, donne un résumé du rapport du GT4.

Tout d'abord, le GT4 a considéré sa tâche comme comportant trois parties : 1) déterminer, en collaboration avec le GT3, une limite inférieure pour le domaine du thermomètre à résistance de platine; 2) trouver les meilleurs moyens pour combler le fossé entre 5 K et 14 K et fixer une limite inférieure pour cette procédure; 3) considérer les possibilités d'extension de l'échelle au-dessous de cette limite.

Le GT4 n'est pas parvenu à établir un dialogue en ce qui concerne la première partie; le travail a été poursuivi en considérant séparément les deux points les plus évidents du choix possible, à savoir le point triple de e-H<sub>2</sub> à 13,8 K et le point triple de Ne à 24,6 K. La grande utilité, jointe à un emploi large et prolongé, des échelles de pression de vapeur de l'hélium (document 82-2) a fortement joué en faveur de leur conservation comme part de l'EIPT. Le GT4 a fait ses recommandations en conséquence; la limite inférieure de 0,5 K, qui est suggérée, est plutôt arbitraire.

Pour les températures au-dessous de 0,5 K, il existe plusieurs possibilités : elles sont discutées dans le rapport du GT4 (Annexe T5).

Actuellement, cependant, la situation d'ensemble est telle que le GT4 ne peut pas faire une recommandation ferme qui semble pouvoir rester la plus satisfaisante pour les vingt prochaines années, par exemple.

Au-dessus du domaine de l'hélium liquide, trois instruments thermométriques sont en concurrence : le thermomètre magnétique, le thermomètre à résistance de rhodium-fer, et le thermomètre d'interpolation à gaz. Etant donné la sensibilité limitée du thermomètre à résistance de platine au voisinage de 13,8 K et la nécessité d'introduire trois points de définition supplémentaires si l'on doit utiliser le thermomètre à résistance de platine à température aussi basse, le GT4 préfère que la limite inférieure soit fixée à 24,6 K. Dans ce cas, le thermomètre magnétique n'est pas à conseiller comme instrument d'interpolation au-dessous du domaine du thermomètre à résistance de platine à cause de son manque de sensibilité. Une échelle fondée sur des thermomètres étalons à résistance de rhodium-fer constituerait une échelle très reproductible et facile à réaliser, mais elle présenterait l'inconvénient de ne pouvoir être réalisée indépendamment d'une série de thermomètres étalons. En ce qui concerne les deux thermomètres d'interpolation mentionnés, on pense qu'ils ont des reproductibilités comparables. Cependant, les quelques petits avantages de fonctionnement du thermomètre à résistance de Rh-Fe sont sans doute contrebalancés, et au-delà, par le besoin d'un nombre de points fixes plus grand et par le problème de l'approvisionnement en Rh-Fe pour fabriquer la résistance. En conséquence, le GT4 suggère l'emploi d'un thermomètre d'interpolation à gaz pour définir la nouvelle EIPT entre 4,2 K et 24,6 K.

## b. *Discussion*

### 1. Groupe de travail 4

Mr Coates demande pourquoi on élimine le thermomètre magnétique comme instrument d'interpolation. Mr Hudson répond que, si la limite supérieure de son domaine doit être 13,8 K, il faudra activement envisager le thermomètre magnétique. Si, cependant, on choisit 24,6 K comme limite supérieure, le thermomètre magnétique en tant qu'instrument d'interpolation est moins à conseiller que le thermomètre à gaz ou le thermomètre à résistance de Rh-Fe, car la précision du thermomètre magnétique diminue aux températures supérieures. Cela est dû, par exemple, au « captage de courant alternatif » dans les mesures magnétiques ainsi qu'aux conséquences naturelles de la loi de Curie.

Mr Rusby fait remarquer qu'en principe on peut utiliser le thermomètre à résistance de Rh-Fe autrement que pour définir une échelle à résistance; on peut aussi l'utiliser comme instrument d'interpolation entre des points fixes, par exemple, avec une incertitude d'environ 1 mK entre 4,2 K et 24,6 K. Le Président demande si cela est comparable à la déclaration du GT3, selon laquelle on peut avoir une incertitude de  $\pm 0,2$  mK entre 13,8 K et 20 K lorsque l'on utilise un thermomètre à résistance de platine comme instrument d'interpolation; à cela Mr Rusby répond qu'il ne pense pas que, dans ce domaine, on puisse même réaliser les points fixes avec cette exactitude.

Mr Schooley rappelle que, pour les points de référence supraconducteurs dans le dispositif SRM 767, on avait choisi une reproductibilité de  $\pm 1$  mK entre échantillons comme but facile à atteindre, à l'époque où ces dispositifs ont été introduits; or les travaux actuellement en cours au NBS, sur le point de transition du Pb et sur sa dépendance à la largeur de transition, laissent à penser que l'on pourrait atteindre une reproductibilité de  $\pm 0,1$  mK ou  $\pm 0,2$  mK entre échantillons.

Mr Rusby dit que cela n'a aucune importance pour un thermomètre d'interpolation à gaz, mais que ce pourrait être très important pour l'emploi du thermomètre à résistance de Rh-Fe comme instrument d'interpolation car, dans ce dernier cas, on aurait une non-unicité importante entre 4,2 K et 13,8 K par suite de l'absence d'un point fixe reproductible dans ce domaine. Le Président souligne que si l'EIPT devait être définie à partir d'un thermomètre d'interpolation à gaz, elle serait couramment réalisée au moyen de thermomètres étalons à résistance de Rh-Fe; par conséquent, un point du Pb reproductible serait très apprécié comme point de contrôle.

Mr Hudson pose, de façon générale, la question de savoir si l'on devrait définir un point fixe de l'EIPT au moyen d'un dispositif (par exemple le point du Pb au moyen du dispositif NBS SRM 767) ou bien si l'on doit le définir avec une spécification générale (par exemple un échantillon de Pb de pureté et de préparation spécifiées). Le Président répond qu'à son avis la définition d'un point fixe au moyen d'un dispositif est équivalente à la définition d'une échelle au moyen d'un thermomètre à résistance. Si le dispositif ou les thermomètres sur lesquels est fondée l'échelle sont perdus, on ne peut reconstituer cette échelle. Si, en revanche, l'échelle est fondée sur un thermomètre d'interpolation à gaz, elle peut être reconstituée à n'importe quel moment.

Mr Schooley mentionne la déclaration faite dans le document 82-43 du NBS, au point 11-5, « il devrait exister une recette fiable qui permette à un thermométriste habile de réaliser la transition (sur laquelle est fondé le point fixe) nécessairement à la même température que celle qui est obtenue avec tous les autres dispositifs préparés de façon semblable »; à ce sujet, il indique qu'il est tout à fait prêt à approfondir l'étude des points de référence supraconducteurs, en particulier en ce qui concerne les effets dus à la présence d'isotopes et l'influence du recuit des échantillons. Il pense que, mises à part les autres possibilités, on pourrait avoir une échelle magnétique entre 13,8 K et sans doute 15 mK.

Mr Hudson fait remarquer que l'on est ainsi conduit à considérer une autre question générale importante: le CCT veut-il permettre des réalisations de remplacement d'une EIPT? Le Président indique que l'on a évité cela jusqu'à maintenant, sauf pour l'EPT-76.

Revenant sur la question de savoir si l'EIPT entre 24,6 K et 4,2 K doit être fondée sur un thermomètre à résistance de Rh-Fe ou sur un thermomètre d'interpolation à gaz, Mr Quinn fait remarquer que le CCT a, depuis de nombreuses années, une relation d'amour mêlé de haine avec les



échelles à résistance. La proposition consistant à définir la nouvelle échelle au-dessous de 24,6 K au moyen d'un thermomètre d'interpolation à gaz présente l'énorme avantage de faire appel à un instrument thermodynamique. Il est, toutefois, probable que le thermomètre à gaz serait assez rarement mis en service; dans la plupart des cas, l'échelle serait conservée au moyen de thermomètres à résistance étalons. Cela paraît donner le meilleur de deux mondes : une échelle bien définie et la simplicité dans la pratique.

Mr Schooley remarque que la définition d'une EIPT n'a pas autant besoin d'être pratique qu'elle a d'être précise; en d'autres termes, l'échelle doit être définie avec précision, même si cela a pour conséquence une réalisation moins facile dans la pratique. Il suggère, toutefois, afin de dissiper toute confusion, de supprimer le mot « pratique » dans le titre de l'échelle; il conseille aussi que le CCT officialise les échelles à résistance, ou d'autres échelles secondaires, ce qui rendrait service aux laboratoires qui les utilisent.

Le Président fait une comparaison avec la nouvelle définition du mètre en fonction de la vitesse de la lumière. Seuls quelques rares laboratoires, même parmi les laboratoires nationaux, détermineront effectivement le mètre d'après sa définition. Mr Quinn et Mr Schooley sont d'accord pour dire que l'EIPT-68 elle-même n'est réalisée dans sa totalité que dans quelques rares laboratoires nationaux.

En liaison avec le commentaire de Mr Schooley, le Président fait remarquer que le mot « pratique » a été introduit lors de la révision de l'EIT-48 en 1960, afin de faire la distinction entre l'échelle et les températures thermodynamiques théoriques.

Mr Crovini dit qu'à son avis, la comparaison avec la réalisation du mètre en fonction de la vitesse de la lumière n'est pas valable, car avec l'EIPT nous ne parlons pas d'unités fondamentales. Une EIPT reproductible doit être réalisée et disséminée dans les laboratoires nationaux. Mr Crovini pense qu'il faut laisser le mot « pratique » dans le titre de l'EIPT; cela veut dire que l'échelle est fondée sur des instruments pratiques et reproductibles.

Mr Quinn rappelle que l'on a introduit l'EIPT pour deux raisons : l'une est que les mesures de température thermodynamique sont très compliquées, et l'autre, peut-être plus essentielle, est que des instruments comme le thermomètre à résistance de platine donnent des températures plus reproductibles que les instruments thermodynamiques.

Mr Hudson et le Président proposent que l'on reprenne ultérieurement cette discussion sur les principes généraux de l'échelle.

Mr Kemp fait remarquer qu'avec les appareils modernes, il est beaucoup plus facile de construire un thermomètre d'interpolation à gaz que la plupart des gens ne le croient. Le coût des instruments de mesure de pression n'est pas excessif et le reste de l'équipement est généralement fabriqué dans un atelier du laboratoire.

En ce qui concerne le choix entre les trois instruments d'interpolation pour le domaine compris entre 4,2 K et 13,8 K ou 24,6 K, Mr Coates

souhaite que l'on choisisse celui qui fournira l'échelle la plus précise. Mr Durieux estime que, pour un thermomètre d'interpolation à gaz, la dispersion entre les réalisations de l'échelle serait de 0,3 mK environ entre 4,2 K et 13,8 K, ou de 0,5 mK entre 4,2 K et 24,6 K.

Se référant à nouveau au document 82-43 du NBS, Mr Schooley suggère que l'on étende l'EIPT de 0,5 K à 15 mK en utilisant un thermomètre magnétique (nitrate de cérium et de magnésium). Il ajoute que beaucoup de gens souhaitent une échelle dans ce domaine, qui soit meilleure que celle que l'on peut obtenir au moyen de l'extrapolation appropriée des échelles de pression de vapeur de l'hélium. Mr Schooley estime qu'une extension de l'échelle magnétique pourrait avoir une reproductibilité de 0,1 mK à 0,2 mK et que l'exactitude thermodynamique pourrait aussi être de cet ordre.

Le Président expose les opinions du GT1 dans son choix d'une limite inférieure à 0,5 K pour l'EIPT; il est toujours relativement facile d'ajouter ultérieurement quelque chose à l'échelle, mais il n'est pas du tout souhaitable de devoir la corriger sur certaines parties de son domaine pour lesquelles, peut-être, elle a été mal définie.

Mr Hudson est d'accord avec Mr Schooley qu'un thermomètre paramagnétique électronique au-dessous de 0,5 K peut avoir une bonne sensibilité; il est tout à fait possible d'avoir une sensibilité de quelques microkelvins. Mr Hudson résume brièvement la situation dans cette région: la relation entre la température magnétique, obtenue avec un seul cristal de nitrate de cérium et de magnésium, et les températures thermodynamiques a été étudiée jusqu'à une fraction de millikelvin; cependant, un cristal unique offre une sévère limitation pour des thermomètres pratiques. Avec des avantages et des inconvénients mineurs, on peut tour à tour utiliser de la poudre de nitrate de cérium et de magnésium; on peut extrapoler à partir du domaine de l'hélium pour obtenir la « température magnétique »  $T^{\square}$  et la transformer en  $T$  en faisant de petits ajustements aux températures vraiment les plus basses. Une valeur de  $T$  ainsi obtenue devrait, normalement, être exacte à 0,5 % ou 0,3 mK, jusqu'à 0,002 K. Des défauts dans le cryostat susceptibles d'entraîner des erreurs pourraient être détectés en utilisant le nitrate de cérium et de magnésium pour interpoler entre des points fixes. Cependant, on n'a pas encore suffisamment de renseignements sur la reproductibilité des points fixes supraconducteurs aux basses températures. Les thermomètres fondés sur le paramagnétisme nucléaire ne sont pas encore très « pratiques », mais le deviendront sûrement très prochainement; le thermomètre à rayonnement  $\gamma$  et le thermomètre à bruit ne sont généralement pas pratiques. En conclusion, Mr Hudson considère que le GT4 n'est pas capable de faire dès maintenant une recommandation ferme pour le domaine inférieur à 0,5 K, recommandation qui serait susceptible de demeurer valable 20 ans ou davantage.

Mr Schooley se rend compte que le NBS est le principal défenseur d'une extension de l'échelle au-dessous de 0,5 K; il voit qu'il incombe au NBS de prouver que cela peut être effectivement fait de façon satisfaisante.

Considérant à nouveau le domaine supérieur à 13,8 K, Mr Kemp fait remarquer que les discussions au 6th Temperature Symposium et les rapports sur la comparaison internationale de cellules scellées à point triple ont montré qu'il est peut-être nécessaire de spécifier la façon dont on doit réaliser les points fixes.

Revenant sur la comparaison faite par le Président entre la réalisation d'une échelle de température et la réalisation du mètre, Mr Terrien fait remarquer qu'il vaudrait mieux comparer l'EIPT avec la réalisation du volt au moyen de l'effet Josephson. Le Président n'est pas tout à fait d'accord avec cette idée, soulignant que l'on peut aisément réaliser le volt au moyen de l'effet Josephson dans les laboratoires nationaux, tandis que la réalisation du mètre d'après la nouvelle définition est si difficile que dans la pratique on doit veiller à quantité de niveaux de reproductibilités. A cet égard, cela se compare à la situation dans laquelle on se trouve avec les mesures de température.

Mr Swenson et Mr Schooley répètent qu'il faut encore travailler sur les points de référence supraconducteurs et, éventuellement, faire une comparaison internationale d'échantillons de diverses provenances.

Revenant au problème d'un thermomètre d'interpolation à gaz, Mr Rusby pense que Mr Berry s'est peut-être montré très pessimiste dans la déclaration qu'il a faite au 6th Temperature Symposium, en disant qu'il pourrait exister entre laboratoires des différences de l'ordre de 2 mK à 5 mK; à son avis, on peut s'attendre à une dispersion entre laboratoires de l'ordre de 1 mK lorsque l'on fait des interpolations entre 4,2 K et 24,6 K. Mr Berry pense aussi, et dans une certaine mesure Mr Rusby partage son opinion, que, si définir l'EIPT au moyen d'un thermomètre d'interpolation à gaz n'est qu'un moyen de fournir une échelle à résistance, cela est quelque peu décevant. Mr Swenson fait remarquer que le thermomètre à gaz à constante diélectrique de Gagan et Michel concorde avec l'échelle NPL-75 à mieux que 1 mK près.

Mr Rusby a le sentiment que si le thermomètre à résistance de platine devait servir d'instrument étalon jusqu'à 13,8 K, l'intervalle entre 4,2 K et 13,8 K serait relativement étroit pour introduire un instrument aussi encombrant que le thermomètre à gaz. Dans ce cas, il se demande si l'on ne pourrait pas être tenté de « vivre un petit peu plus dangereusement » et d'utiliser le thermomètre à résistance de Rh-Fe comme instrument d'interpolation. Il serait alors souhaitable que l'on puisse se procurer ces thermomètres auprès de plus d'un fournisseur (Tinsley) et, à ce sujet, Mr Rusby demande si l'on fabrique encore en Chine des thermomètres à résistance de Rh-Fe. Mr Ling répond que l'on n'en fabrique plus.

A la remarque de Mr Rusby, Mr Schooley ajoute qu'on pourrait atteindre une précision élevée en utilisant une échelle magnétique au-dessous de 13,8 K avec deux sels différents (un pour les températures les plus hautes et un pour les températures les plus basses) étalonnés aux points de référence supraconducteurs et au point triple de e-H<sub>2</sub>.

## 2. Groupe de travail 2

Mr Bedford demande que la discussion porte d'abord sur la partie du rapport du GT2 qui a trait aux points de référence secondaires. Mr Crovini s'inquiète du rôle des points de référence secondaires dans l'EIPT révisée. Un tableau comparable à l'actuel tableau 6 y sera-t-il inclus ou figurera-t-il dans les Renseignements complémentaires ? Mr Bedford est en faveur de la deuxième solution, ainsi que le Président. Mr Crovini est d'accord ; il souhaite fortement qu'une liste de références aux publications originales soit incorporée pour aider quiconque serait désireux de réaliser un point de référence secondaire. Mr Quinn demande si le GT2 a l'intention de recommander des valeurs pour les points de référence secondaires. Comme cela aurait pour conséquence d'élargir la tâche du GT2, le Président suggère que la question soit à nouveau posée lorsque l'on abordera le point 13 de l'ordre du jour.

Mr Bedford pose la question, différée lors de la 13<sup>e</sup> Session du CCT, de savoir si et comment on devrait publier une liste révisée des points de référence secondaires avec une évaluation de leur exactitude. Le Président a l'impression qu'il n'est pas souhaitable d'avoir un trop grand nombre de publications et qu'une liste de ce genre doit figurer dans la monographie du GT2 sur les techniques secondaires, où elle est susceptible d'être mise à jour périodiquement, peut-être tous les quatre ans environ. En revanche, Mr Schooley ajoute qu'on l'a souvent sollicité pour de tels renseignements concernant les points de référence secondaires, et il se demande si une publication séparée ne serait pas plus souhaitable, peut-être dans *Metrologia*. Il recommande aussi que la liste comporte à la fois les valeurs recommandées et une évaluation des exactitudes de ces valeurs.

Mr Pavese conteste l'emploi du mot « secondaires » pour caractériser les points de référence. Il demande ce que cela veut dire ; comment doit-on utiliser ces points ? Et quels critères utilisera-t-on pour les faire figurer dans la liste ? Il a le sentiment que cela est confus pour les utilisateurs parce que le statut des points de référence secondaires n'est pas clair. Mr Bedford répond que le GT2 a essayé d'établir des critères il y a quelques années, mais il ne semble pas que ceux-ci aient connu un plein succès. Mr Thomas souligne que l'on a introduit le concept de réalisations secondaires de l'EIPT lors des précédentes sessions et que les points de référence secondaires seront importants pour ces réalisations. Mr Schooley est d'accord et souligne l'importance particulière de directives qui donnent l'exactitude par rapport à l'EIPT des réalisations secondaires effectuées au moyen de thermocouples. De plus, ce qui concerne les thermocouples dans les Renseignements complémentaires doit être reproduit dans la monographie du GT2. Il suggère aussi qu'un point « secondaire » soit défini comme n'importe quel point qui n'est pas un point de définition de l'EIPT, et que le CCT donne des indications pour son utilisation. Mr Bedford souligne que l'exactitude des réalisations secondaires au moyen de thermocouples a été abordée dans le rapport de 1980 du GT2.

En résumé, le Président suggère que les points de référence secondaires soient éventuellement classés en catégories, selon leur reproductibilité : ils vont devenir extrêmement importants; il insiste pour que le GT2 tente d'évaluer ces reproductibilités et recommande des valeurs pour les points de référence secondaires.

Le Président ouvre ensuite la discussion sur la seconde tâche du GT2 : la monographie sur les techniques secondaires. A son avis, le document doit être utile à tous les gens qui ont à faire des mesures de température avec une exactitude, soit moyenne, soit approchant celle de l'EIPT elle-même. En réponse à une question antérieure de Mr Bedford, quant à savoir si cette monographie est nécessaire compte tenu de l'existence de divers documents et livres comparables, il pense qu'elle sera une contribution extrêmement utile, en particulier parce qu'elle pourra être mise à jour de façon périodique par le CCT. Mr Coates souligne que la publication du GT2 donnera en plus les méthodes approuvées pour les réalisations secondaires de l'EIPT, méthodes qui ne sont publiées nulle part ailleurs. Mr Jones précise que le CCT demande au GT2 d'effectuer une tâche énorme. Plusieurs membres font des suggestions sur la façon dont le GT2 peut procéder. Mr Coates recommande de ne considérer que quelques domaines pour commencer; Mr Schooley suggère d'avoir une table des matières complète, même si plusieurs sujets ne sont pas abordés dans les premiers projets; Mr Crovini estime que l'on peut résumer les renseignements disponibles et faire des recommandations en donnant les références des travaux originaux et que, comme pour les points de référence secondaires, on doit évaluer les exactitudes des réalisations secondaires ou au moins en donner la liste.

Mr Bedford demande s'il doit y avoir des additions ou des suppressions par rapport aux sujets que l'on a suggéré au GT2 d'inclure. Mr Crovini recommande de faire particulièrement attention aux nombreuses contributions qui ont été présentées au 6th Temperature Symposium et qui concernent les thermomètres à résistance de platine de fabrication industrielle. Mr Coates suggère que l'on fasse nettement la distinction entre les réalisations secondaires et les étalonnages, et que ces derniers soient exclus de la monographie. En réponse à une question de Mr Bedford quant à savoir quelle est la différence entre les deux, Mr Coates répond qu'un étalonnage se fait au moyen d'un thermomètre dont les mesures sont rattachées à l'EIPT (soit au moyen de points fixes, soit par comparaison), tandis qu'une réalisation secondaire ne comporte que l'emploi de points fixes. Par exemple, les thermomètres à liquide sont toujours étalonnés (par comparaison); il n'est donc pas nécessaire d'en parler dans la monographie. Mr Schooley n'est pas d'accord avec cette exclusion; à son avis, les thermomètres à liquide sont d'une utilisation si répandue qu'il faut inclure des recommandations sur leur emploi. Le Président est de cet avis. Il s'ensuit une longue discussion entre les membres sur la question de savoir si le sujet des thermomètres à liquide est du ressort du GT2.

Pour terminer, le Président suggère que le GT2 utilise les renseignements fournis pour en décider lui-même. Il demande qu'un

premier projet du document du GT2 soit soumis à la prochaine session du CCT et espère qu'une édition définitive sortira en 1987. Le reste de la discussion du rapport du GT2 est reporté au point 7 de l'ordre du jour.

### 3. Groupe de travail 3

#### (i) *Interpolation au-dessous de 0 °C*

Mr Rusby ouvre la discussion en disant qu'il appuie la façon de voir du GT3, selon laquelle le domaine du thermomètre à résistance de platine de la nouvelle EIPT devrait avoir des définitions spécifiées d'une même façon au-dessous de 0 °C et au-dessus de 0 °C. A son avis, la question de la limite inférieure du domaine du thermomètre à résistance de platine reste pendante. De plus, Mr Rusby souligne que, au-dessous de 0 °C, il convient d'envisager un procédé utilisant une méthode des moindres carrés pour obtenir les équations d'interpolation plutôt que la méthode exacte proposée par le GT3, parce que les résultats avec la méthode exacte sont très sensibles aux erreurs faites aux points fixes.

Le Président fait remarquer que dans le rapport du GT1 on recommande les ajustements par une méthode des moindres carrés, ce qui fournit de façon automatique une vérification de la réalisation des points fixes. Mr Kemp souligne que de toute façon on pourrait faire de telles vérifications; il a le sentiment qu'il n'y a pas beaucoup de différence quant à la reproductibilité entre la méthode exacte et la méthode des moindres carrés. Mr Rusby tient à son idée que les ajustements par la méthode des moindres carrés, avec la pondération des données selon l'inverse de la sensibilité du thermomètre à résistance de platine, diminueraient d'un facteur deux l'influence des erreurs faites aux points fixes. Mr Rusby et Mr Kemp éclairciront la question en privé (la plupart des indications sont données dans le document 82-3 du NPL, le document 82-21 du CSIRO et deux graphiques distribués par Mr Kemp qui montrent la non-unicité pour différentes méthodes d'interpolation).

Le Président suggère que l'on pourrait améliorer l'unicité en mettant d'autres restrictions sur la qualité des thermomètres.

Mr Bedford indique qu'apparemment ni Mr Kemp ni Mr Rusby ne prévoient dans leurs schémas d'étalonnage d'utiliser un thermomètre entre 273 K et 90 K sans étalonnages à des températures inférieures. Mr Crovini répond que l'on avait envisagé, dans le premier projet du rapport du GT3, des étalonnages primaires dans des domaines restreints, mais on les avait ultérieurement abandonnés parce qu'ils diminueraient la reproductibilité de l'échelle. Des étalonnages restreints au domaine compris entre 90 K et 273 K se placeraient dans la catégorie des réalisations secondaires de l'échelle, ce qui serait en fait suffisant pour l'utilisation des thermomètres à tige dans ce domaine. Dans son rapport, le GT3 a évité les définitions multiples de l'échelle. Mr Kemp, Mr Rusby et Mr Coates sont d'accord avec Mr Crovini, mais Mr Bedford indique que, dans un document du NRC datant de quelques années, on avait suggéré une méthode selon

laquelle il était possible d'avoir un étalonnage primaire dans un domaine restreint de température sans dégrader l'échelle.

Mr Quinn fait remarquer que le schéma d'interpolation 3 décrit dans le document 82-3 de Mr Rusby, selon lequel on utilise seulement trois points fixes aux basses températures (les points triples de Ne, O<sub>2</sub> et Ar), le point triple et le point d'ébullition de l'eau pour avoir l'étalonnage entre 24,6 K et 273 K, présente des défauts de reproductibilité étonnamment petits à 30 K (sur 35 thermomètres, une différence maximale de  $\pm 0,8$  mK et une différence moyenne de  $\pm 0,3$  mK); il demande si les différences sont aussi faibles à des températures plus élevées. Mr Rusby pense que les différences à des températures plus élevées ne sont pas beaucoup plus grandes et, en fait, moins graves relativement qu'à 30 K. Mr Quinn a le sentiment que la méthode d'interpolation très simple proposée par Mr Rusby constitue un argument très fort pour restreindre l'emploi du thermomètre à résistance de platine aux températures supérieures à 24,6 K. Mr Rusby indique qu'à 30 K les défauts additionnels de reproductibilité dus aux erreurs faites aux points fixes sont 2,5 fois l'erreur au point triple de O<sub>2</sub> et 1,8 fois l'erreur au point triple de Ar.

Mr Kemp souligne qu'au-dessous de 30 K, la relation de la résistance en fonction de la température du thermomètre à résistance de platine est très liée au pourcentage d'impuretés dans le platine et que des étalonnages au-dessous de 24,6 K, là où les impuretés jouent un rôle encore plus grand, seront nécessaires pour tenir compte de l'influence des impuretés au-dessus de 24,6 K.

Pour terminer, Mr Schooley attire l'attention sur l'avantage d'une cellule scellée contenant plus d'un gaz, comme l'a proposé Mr Bonnier, à la condition que cela ne diminue pas la précision des réalisations.

(ii) *Interpolation au-dessus de 0 °C*

Mr Crovini fait remarquer qu'une comparaison de thermomètres à résistance de platine entre 0 °C et le point du zinc est nécessaire. Il existe de nouveaux types de thermomètres à résistance de platine; on a découvert l'effet de l'oxydation. Il n'est pas certain que la fonction écart entre l'équation quadratique et l'EIPT-68 soit la même pour tous les thermomètres. Le Président répond qu'une comparaison de ce genre pourrait être faite dans le cadre d'un accord de coopération entre le NRC et le NBS. Mr Kemp fait remarquer que Mr McAllan, au CSIRO, vérifie des thermomètres à résistance de platine étalons au point du cadmium depuis de nombreuses années. Les résultats ont été comparés à ceux que d'autres personnes ont présentés au 6th Temperature Symposium et l'on pense que les différences entre thermomètres ne dépassent pas quelques dixièmes de millikelvin.

Reprenant la question de la limite supérieure du domaine du thermomètre à résistance de platine, Mr Jones fait remarquer qu'il faudrait étendre les comparaisons entre le thermomètre à résistance de platine et le pyromètre optique à des températures au-dessus de cette limite supérieure,

pour que les dérivées première et seconde aient, au point de jonction, respectivement la même valeur à gauche et à droite. Mr Jones a le sentiment que c'est là une raison supplémentaire pour prendre le point de l'argent comme limite supérieure du domaine du thermomètre à résistance de platine. Mr Thomas signale que Mr McAllan, au 6th Temperature Symposium, a aussi exprimé sa préférence pour le point de l'argent comme limite supérieure, parce que cela conduirait à moins d'exigence sur les propriétés des thermomètres à résistance de platine pour la mesure des hautes températures. Mr Bedford et Mr Coates, au contraire, ont l'impression que des comparaisons du thermomètre à résistance de platine et du pyromètre optique jusqu'au point de jonction devraient suffire. Le Président ajoute que le choix de la limite supérieure du domaine dépendra du comportement des thermomètres à résistance de platine pour la mesure des hautes températures.

(iii) *Choix des points fixes dans le domaine du thermomètre à résistance de platine*

Parlant de la classification des points fixes dans le rapport du GT3, Mr Pavese suggère que le point triple de Ne soit classé comme « très bon » et non pas « sensible aux isotopes ». Par ailleurs, la comparaison internationale de cellules scellées laisse à penser que le point triple de O<sub>2</sub> devrait être classé comme « bon » au lieu de « très bon ». (Dans le rapport du GT3, « bon » veut dire pire que 0,2 mK mais meilleur que 0,5 mK). Mr Pavese souhaite savoir aussi pour quelles raisons on a classé les points d'ébullition de e-H<sub>2</sub>, comme « très bon », ce qui veut dire meilleur que 0,2 mK. Mr Kemp fait remarquer que la classification des points fixes dans le rapport du GT3 est fondée sur des résultats obtenus avec des cellules ouvertes. Mr Schooley ajoute que le point triple de O<sub>2</sub> mesuré avec des cellules ouvertes était beaucoup plus reproductible qu'avec des cellules scellées. Mr Kemp précise que la classification des points d'ébullition de e-H<sub>2</sub> est fondée sur des recherches expérimentales effectuées au CSIRO. Mr Pavese fait remarquer que la comparaison de thermomètres à résistance de platine faite par Ward et Compton au NPL a fait apparaître des différences de 1 mK au point triple de O<sub>2</sub>, ce qui n'est pas meilleur que les résultats obtenus pour les cellules scellées, et des différences du même ordre pour les points d'ébullition de e-H<sub>2</sub>.

Le Président répond qu'à son avis, les reproductibilités données pour les points fixes dans le rapport du GT3 sont à considérer comme les reproductibilités qu'on peut obtenir quand la pratique est aussi parfaite que possible. Mr Schooley aimerait, à cet égard, que l'on poursuive les recherches sur les cellules scellées. Mr Bedford estime que certains des résultats, parmi les moins bons obtenus lors de la comparaison des cellules scellées, sont dus à l'emploi de gaz dont la pureté n'était pas la meilleure possible pour remplir ces cellules, car l'idée d'origine était seulement de produire des températures transférables stables.



Mr Bonnier suggère que soit conservée au BIPM une série de cellules scellées de la qualité la meilleure possible.

A une question de Mr Crovini sur le résultat qu'aurait le remplacement du point triple de  $O_2$  par le point triple de  $N_2$  sur la reproductibilité de l'échelle, Mr Rusby répond que, dans son schéma simple avec seulement trois points de référence à basses températures, l'incertitude du point triple de  $N_2$  devrait être inférieure à la moitié de celle du point triple de  $O_2$  avant que cela vaille la peine de l'utiliser.

Pour terminer, Mr Schooley souligne combien il est important de déterminer avec exactitude les températures thermodynamiques des points fixes de définition.

(iv) *Limite inférieure du domaine du thermomètre à résistance de platine*

Le Président indique que l'on peut envisager deux possibilités pour la limite inférieure du domaine du thermomètre à résistance de platine : 24,6 K et 13,8 K.

Mr Kemp suggère que l'on utilise le thermomètre à résistance de platine jusqu'à 13,8 K mais qu'il puisse aussi y avoir d'autres définitions de l'échelle dans le domaine compris entre 13,8 K et 24,6 K. Mr Rusby remarque que l'emploi du thermomètre à résistance de platine jusqu'à 13,8 K implique l'utilisation des points d'ébullition de e- $H_2$  comme points fixes. Toutefois, Mr Schooley rappelle les travaux faits par Mr McConville (Mound Laboratory) sur le point triple de  $D_2$ ; il existe peut-être une possibilité de surmonter le problème de la contamination de  $D_2$  par  $H_2$ , cette contamination résultant probablement de l'absorption de  $H_2$  par les parois du récipient. Ceux qui sont intéressés peuvent prendre contact avec Mr McConville qui dispose d'un stock de  $D_2$  conservé dans un récipient en acier inoxydable spécial. A propos de la remarque de Mr Kemp, Mr Bedford demande s'il est souhaitable que l'EIPT comporte des chevauchements de définitions. Mr Crovini et Mr Coates indiquent que le GT3, dans ses recommandations, a exclu tout chevauchement.

Le Président suggère de reprendre la discussion de cette question au point 11.

(v) *Températures thermodynamiques au-dessus de 14 K*

Le Président ouvre la discussion en indiquant que la nouvelle EIPT doit être si voisine des températures thermodynamiques que les corrections ultérieures seront virtuellement invisibles pour les utilisateurs courants. Aussi, la question de la détermination des températures thermodynamiques est-elle l'une des plus importantes de la session. Lors de la prochaine session, il faudra prendre des décisions définitives sur les températures thermodynamiques, si le CCT veut suivre le programme prévu; pour le moment, il faut voir les travaux qui doivent être faits dans ce domaine.

Mr Schooley remarque que Mr Guildner et Mr Edsinger au NBS ont l'intention de continuer leurs mesures au thermomètre à gaz jusqu'à 800 °C. On dispose d'une série de thermomètres à résistance de platine pour la

mesure des hautes températures construits au NBS. Les températures au thermomètre à gaz seront reportées sur les thermomètres à résistance de platine; le processus consistera à monter à 800 °C et à redescendre par paliers de 20 °C à 50 °C. Toutes les parties de l'appareil fonctionnent de façon satisfaisante, à l'exception peut-être du diaphragme. Avec le thermomètre à gaz, on s'attend à une exactitude d'environ 10 mK à 800 °C. A une question du Président, Mr Schooley répond qu'il ne lui est pas possible de donner des échéances pour ce travail, mais il va fermement recommander de poursuivre les mesures. Mr Coates insiste sur l'importance d'étendre les mesures au thermomètre à gaz à une température aussi élevée que possible. Les mesures au pyromètre optique doivent actuellement se rapporter au point du zinc, ce qui conduit à une incertitude au point de l'or d'environ 0,1 °C. Si l'on avait des résultats au thermomètre à gaz à 800 °C avec une exactitude de 10 mK, l'exactitude des résultats du pyromètre optique pourrait s'améliorer pour être d'environ 0,03 K au point de l'or.

A une question du Président, Mr Crovini répond que la température de l'eutectique Cu-Ag, mesurée avec les thermomètres à résistance de platine, est reproductible à  $\pm 5$  mK ou 10 mK près.

Mr Quinn donne un résumé des mesures faites par rayonnement total entre  $-30$  °C et 90 °C, au NPL. Les résultats entre 50 °C et 90 °C diffèrent légèrement de ceux de Guildner et Edsinger (de  $-4$  mK à 90 °C). A  $-30$  °C, les résultats font apparaître un écart par rapport à  $T_{68}$  d'environ  $+5$  mK. Les travaux se poursuivent, d'abord pour combler la lacune entre 0 °C et 50 °C et, ultérieurement, jusqu'à 230 °C. Au-dessus de cette température, il y a un problème technique : le revêtement du corps noir se décompose à environ 270 °C. Le plan à long terme prévoit d'aller jusqu'au point du zinc. On pourrait étendre les mesures vers le bas à partir de  $-30$  °C, mais cela n'est sans doute pas justifié compte tenu de l'exactitude probablement plus grande du thermomètre à gaz dans ce domaine. En réponse à une question du Président, Mr Quinn ajoute que l'exactitude attendue est un peu meilleure que 5 mK à 230 °C; on espère avoir des résultats jusqu'à cette température bien avant deux ans. Mr Rusby est quelque peu plus prudent en ce qui concerne les échéances : avant d'aller au-delà de 90 °C, il faut introduire des ouvertures plus petites et faire des contrôles pour voir si l'on obtient les mêmes résultats. Mr Rusby n'est pas certain que les mesures jusqu'à 230 °C soient achevées avant la prochaine session du CCT.

Abordant le domaine inférieur à 273 K, Mr Kemp parle des mesures au thermomètre à gaz faites au CSIRO et au KOL, entre 4 K et 100 K, dont il a été rendu compte au 6th Temperature Symposium. Depuis lors, on a calculé à nouveau les résultats du CSIRO et du KOL pour la même température de référence (20,2 K sur l'échelle NPL-75) et les mêmes coefficients du viriel. De cette façon, on a obtenu un accord supérieur à 1 mK entre les séries de résultats entre 20 K et 90 K. Au CSIRO, et probablement au KOL, les mesures seront étendues jusqu'à 273 K. Il y a donc quelque espoir d'avoir de nouveaux résultats au thermomètre à gaz,

sur la totalité du domaine compris entre 4 K et 273 K, avant la prochaine session du CCT. Les résultats provisoires obtenus au CSIRO confirment le résultat des mesures par rayonnement total à  $-30^{\circ}\text{C}$ .

Mr Thomas signale que des mesures au thermomètre à gaz sont en cours actuellement à la PTB. On a obtenu des valeurs préliminaires au point d'ébullition et au point triple de  $\text{O}_2$  qui diffèrent de quelques millikelvins des résultats du CSIRO et du KOL.

## **6. Discussion du texte de la monographie contenant les Renseignements complémentaires**

Mr Schooley félicite le GT1 pour la haute tenue de ce document. Il précise que la partie (qui manque actuellement) sur les thermomètres à résistance de platine pour la mesure des hautes températures ne devrait pas perturber les projets de publication, car de toute façon elle ne touche, ni l'EIPT-68, ni l'EPT-76. Mr Rusby aimerait que l'on supprime les indications historiques dans l'Introduction. Le Président répond que le GT1 les avait incluses, surtout en prévoyant qu'elles seraient éliminées des textes futurs de l'EIPT; de l'avis du GT1, elles seraient mieux dans les Renseignements complémentaires. Mr Schooley est du même avis. Le Président conclut la discussion en précisant que le GT1 se réunira au mois de juin et que toutes les suggestions pour des modifications dans les Renseignements complémentaires devront être soumises par écrit au GT1 avant cette date.

## **7. Discussion de la monographie envisagée concernant les méthodes secondaires de thermométrie**

Le Président ouvre la discussion en rappelant que le CCT avait décidé, il y a quelques années, d'essayer d'aider les utilisateurs qui ont besoin de mesures avec une exactitude qui n'est pas la plus élevée. Il y a beaucoup de membres de la Convention du Mètre qui n'ont pas besoin de l'exactitude la plus grande, mais, néanmoins, ont besoin d'aide. Mr Thomas rapporte que plusieurs organismes officiels souhaitent attirer l'attention du CCT sur le fait que l'on a rarement besoin de la très grande exactitude fournie par l'EIPT; de nombreux utilisateurs ont besoin d'un moindre degré d'exactitude, moins coûteux et plus facile à atteindre. La monographie du GT2 devrait aider à satisfaire cette demande.

Mr Coates souligne que, pour beaucoup d'utilisateurs qui n'ont besoin que d'une exactitude modérée, ou peut-être seulement d'un rattachement à l'EIPT, un étalonnage par comparaison convient probablement mieux qu'une réalisation secondaire. Cela doit être souligné dans la monographie. Il conteste aussi le titre de la monographie. Plusieurs membres discutent du titre

et on laisse au GT2 le soin d'en trouver un qui convienne. Mr Bedford, Mr Coates, Mr Bloembergen et Mr Quinn échangent leurs avis sur la différence qui existe entre une représentation de l'EIPT par « étalonnages » et par « réalisations secondaires ». Dans le premier cas, on utilise un thermomètre étalon; dans le second cas, on utilise des points fixes. Mr Schooley souligne que, lorsque l'on aura éliminé de l'EIPT le thermocouple platine/platine rhodié comme instrument étalon, il ne sera plus possible d'effectuer une réalisation secondaire selon la définition de Mr Coates. Mr Hudson pense que, pour faciliter la discussion, il faut donner la définition d'un certain nombre de ces termes et qu'il faut nommer un sous-comité pour rédiger ces définitions. Le Président est d'accord et nomme Mr Hudson à la tête d'un sous-comité qui comprend Mr Coates, Mr Bedford et Mr Bloembergen; ces personnes sont chargées de préparer un petit lexique.

Alors suit un débat assez long entre plusieurs participants sur les sujets qui doivent figurer dans la monographie. Il semble que l'on doive insister sur les réalisations secondaires, sans omettre de parler des étalonnages et de donner des conseils sur l'utilisation correcte des thermomètres. Mr Crovini pense qu'il faut donner une échelle de priorités aux réalisations secondaires dont il est question dans la monographie; les réalisations privilégiées doivent être celles qui sont les plus couramment utilisées. Il peut par exemple y en avoir qui, tout en étant très précises, sont rarement utilisées et dont il n'est pas nécessaire de parler beaucoup. Mr Schooley aimerait qu'il soit question de l'emploi du thermomètre à résonance nucléaire quadripôle. En réponse à une question de Mr Bedford pour savoir qui écrira cette partie, Mr Schooley répond que quelqu'un du NBS le fera volontiers.

Le Président clôt la discussion sur le point 7 en insistant pour que les membres du CCT et leurs collègues qui souhaitent que des points particuliers soient traités dans la monographie, soumettent au GT2 des contributions écrites. Des suggestions qui ne sont pas accompagnées de documents écrits sont d'une utilité limitée.

## **8. Thermomètres à résistance de platine pour la mesure des hautes températures**

Le Président ouvre la discussion sur toutes les questions qui peuvent concerner les thermomètres à résistance de platine pour la mesure des hautes températures. Il aimerait, en particulier, que l'on parle de ce que l'on va faire des dix thermomètres fournis par la délégation chinoise du NIM et de la façon dont ils vont être distribués. Il pense qu'il incombe au CCT plutôt qu'au BIPM de décider de la répartition de ces thermomètres. Au nom du CCT, il remercie le laboratoire chinois d'avoir si généreusement fourni ces thermomètres; il adresse aussi des remerciements tout particuliers à Mr Ling et Mr Li qui se sont chargés d'apporter ces thermomètres à Paris. Mr Ling indique qu'à l'origine il avait espéré fournir

20 thermomètres en prêt de longue durée, mais la difficulté d'en apporter autant à Paris l'en a empêché. En plus des dix qui sont à Paris, trois ont été laissés au NBS à Washington (N<sup>os</sup> 18227, 18236, 18237). Il ajoute que les autres sont disponibles à Beijing; il espère que l'on pourra prendre des dispositions pour les transporter. Il présente (document 82-44) quelques résultats obtenus au NIM sur le fonctionnement de ces treize thermomètres. Il aimerait que tous les résultats que les laboratoires obtiendront soient communiqués au NIM.

A la question du Président, à savoir quels sont les laboratoires qui sont prêts à étudier ces thermomètres par groupe d'au moins trois, les délégués du NPL, de la PTB, du NRC, de l'IMGC, du CSIRO et le BIPM indiquent que leur laboratoire est intéressé. Mr Kemp précise que le CSIRO a déjà pris ses dispositions pour se procurer trois des thermomètres qui sont restés à Beijing; le NRC et le BIPM veulent bien attendre une autre livraison, plus tard dans l'année. Aussi, est-il décidé que, par groupes de trois, les dix thermomètres seront répartis entre le NPL, la PTB et l'IMGC, le dernier restant au BIPM\*.

Le Président demande comment seront ou devraient être étudiés ces thermomètres; il insiste sur le fait que les résultats doivent être disponibles pour la 15<sup>e</sup> Session du CCT en 1984. Se faisant le porte-parole de quelques collègues du NRC et du CSIRO, Mr Bedford considère qu'un certain nombre de thermomètres devraient être soumis à des cycles rapides (100 cycles sur un temps court), à partir du point de l'argent et de celui de l'or et qu'il faudrait en étudier la stabilité. Il faudrait aussi étudier leur stabilité à long terme (jusqu'à 500 heures) à ces mêmes points. Mr Quinn pense qu'il y a peut-être dès maintenant suffisamment d'indications sur ce dernier point, mais il recommande des étalonnages aux points de congélation des métaux (jusqu'au point de l'or) pour voir si ces thermomètres sont capables de conserver une échelle de température. Mr Crovini dit que l'IMGC étudiera la stabilité des thermomètres à haute température\*\* et les soumettra aussi à des comparaisons à températures élevées dans un caloduc à pression contrôlée. Mr Schooley indique que Mr Evans au NBS vérifiera leur répétabilité, et leur unicité dans la définition d'une échelle de température; il étudiera aussi la qualité de leur isolation aux températures élevées. Mr Rusby dit que le NPL étudiera leur stabilité aux températures élevées en utilisant un four vertical et les comparera ensuite avec un pyromètre optique en utilisant un four horizontal. Plusieurs délégués indiquent que des thermomètres de fabrication différente seront incorporés à leurs expériences.

Mr Bedford et Mr Quinn posent des questions à Mr Ling sur le

---

\* NPL : N<sup>os</sup> 18210, 18221, 18228; PTB : N<sup>os</sup> 18234, 80159, 80168; IMGC : N<sup>os</sup> 18213, 18233, 80166. Le thermomètre N<sup>o</sup> 18210, qui devait rester au BIPM, a remplacé le N<sup>o</sup> 18224 arrivé cassé.

\*\* Voir Temperature Measurement 1975, Institute of Physics Conference Series No. 26, Institute of Physics, London, 1975, pp. 107-116.

traitement thermique que ces thermomètres ont déjà reçu. Mr Ling et Mr Li renvoient au document 82-44 et ajoutent que les valeurs indiquées pour le coefficient  $\alpha$  ont été obtenues après des essais de stabilité; le gaz de remplissage est de l'argon avec 10 % d'oxygène pour une pression totale de  $10^5$  pascals à 1 100 °C; au cours des essais faits au NIM, on refroidissait les thermomètres rapidement en les sortant du four et en les mettant à l'air ambiant sans précaution; jusqu'à maintenant, on n'a jamais utilisé les thermomètres en position horizontale.

Mr Schooley attire l'attention sur le programme de recherches extensives en cours au NRLM (Japon) et dit que les thermomètres chinois devraient en faire partie. Bien que personne n'en soit certain, on croit que le NRLM a déjà quelques thermomètres chinois ou, si cela n'est pas le cas, peut en avoir directement auprès du NIM.

Mr Bloembergen fait part de quelques remarques de Mr Evans (document 82-45).

### 9. Différences $T - T_{68}$

Le Président ouvre la discussion sur les mesures de température thermodynamique. Mr Crovini souligne qu'il est important, et qu'il est nécessaire, d'avoir des mesures exactes de la relation résistance/température du thermomètre à résistance de platine au-dessus de 630 °C, en particulier entre 800 °C et 1 064 °C. On devrait pouvoir y parvenir au moyen d'étalonnages par rapport à des pyromètres optiques photoélectriques, de préférence par intervalles de 10 à 20 K. Il ajoute que, pour le moment, la relation résistance/température est la propriété la plus reproductible dont on dispose pour évaluer les mesures de température thermodynamique. De plus, bien entendu, on a besoin de cette relation avant de pouvoir établir les équations d'interpolation. On envisage de faire des mesures de ce genre au CSIRO, au NPL, à la PTB, au NRC (probablement, mais pas dans l'immédiat) et, pour autant qu'on le sache, au NRLM.

Mr Coates résume la situation actuelle en ce qui concerne ( $T - T_{68}$ ) entre 460 °C et 1 064 °C, telle qu'on peut la déduire de diverses mesures. Ses résultats au pyromètre indiquent que ( $T - T_{68}$ ) diminue lorsque l'on passe de 460 °C à 630 °C, alors que d'après l'extrapolation du thermomètre à gaz du NBS dans ce domaine on devrait avoir le phénomène inverse. Les mesures de Mr Coates impliquent que la courbe à 630 °C est légèrement anguleuse. Il insiste sur la nécessité d'avoir d'autres résultats dans ce domaine.

### 10. Points fixes et comparaisons internationales

Mr Pavese attire l'attention sur le document 82-4, qui est un premier projet du rapport final de la comparaison internationale de cellules scellées

à point triple. Il poursuit en rendant compte (*voir* Annexe A p. T 37) de la réunion, tenue le 29 mars 1982, des membres des laboratoires qui ont pris part à cette comparaison.

Mr Schooley pense qu'il serait extrêmement utile que les thermomètres utilisés lors des comparaisons de cellules à point triple et lors des comparaisons antérieures faites au NPL sur des thermomètres à résistance de platine, soient maintenant utilisés en liaison avec les thermomètres à gaz du KOL et du CSIRO, afin d'obtenir des valeurs plus exactes pour la température thermodynamique des points fixes. Il s'ensuit une longue discussion sur cette suggestion et sur les meilleurs moyens d'effectuer ces mesures. Mr Kemp dit que le CSIRO essaiera probablement d'effectuer ces mesures.

Mr Swenson demande si l'exactitude de la comparaison de cellules scellées est très affectée par une pureté insuffisante des gaz utilisés. Mr Pavese répond que, seulement avec l'oxygène et le méthane, il semble y avoir quelque problème d'impuretés. Une discussion assez longue s'ensuit sur la question de la pureté des gaz dans les cellules scellées, sur le pourcentage maximal d'impuretés admissible pour avoir des résultats corrects et sur la façon dont on peut effectivement obtenir cette pureté. Les conclusions générales en sont les suivantes : *a*) un pourcentage d'impuretés inférieur à  $10 \times 10^{-6}$  est certainement suffisant; *b*) la difficulté avec les cellules à oxygène est, à n'en pas douter, due à la présence d'argon résiduel; *c*) en particulier, une des premières cellules à oxygène donne un résultat incohérent, parce qu'à l'époque on n'estimait pas nécessaire d'utiliser de l'oxygène extrêmement pur; on ne devait utiliser la cellule que pour transférer une température, et non comme point primaire de l'oxygène; *d*) on peut éviter les impuretés dans l'oxygène si l'on emploie de l'oxygène préparé en laboratoire et non commercial; *e*) il n'est pas conseillé de se fier aux puretés nominales indiquées par les fabricants de gaz; *f*) les méthodes de remplissage des cellules n'ont aucune influence sur le problème des impuretés.

Mr Quinn transmet une question posée par le laboratoire national norvégien : dans quelle mesure des cellules scellées à point triple de l'argon, conçues pour l'étalonnage des thermomètres à résistance de platine à tige, reproduisent-elles bien le point triple de l'argon ? Il suggère que le CCT envisage une comparaison internationale de cellules de ce type. Mr Bonnier dit que les cellules qu'il a fabriquées sont exactes à  $\pm 0,5$  mK près. Mr Bedford et Mr Ling indiquent que les cellules de ce type qui sont utilisées dans leurs laboratoires, ont au moins cette même exactitude.

Après quelques discussions, Mr Bloembergen donne son accord pour assurer la coordination de comparaisons internationales de ce type de cellules scellées à point triple; on décidera ultérieurement de la nature exacte de ce travail. Cependant, en gros, il comportera vraisemblablement la circulation d'une ou plusieurs de ces cellules entre les laboratoires participants.

## 11. Nouvelle EIPT : situation actuelle

Mr Quinn propose qu'avant de discuter des points particuliers de la nouvelle EIPT envisagée, le CCT s'arrête sur deux questions de principe concernant cette échelle. La première est : l'EIPT, ou l'EIT, doit-elle être une échelle qui ne soit réalisée que dans les laboratoires nationaux ou une échelle si « pratique » qu'elle puisse être réalisée dans un grand nombre de laboratoires d'étalonnage ? La seconde question est : quel compromis doit-il y avoir entre la reproductibilité la plus grande de l'échelle et la facilité relative de sa réalisation ? Mr Quinn propose que l'échelle soit destinée à être réalisée dans les laboratoires nationaux et que le CCT ne cherche pas à avoir une échelle qui soit facilement réalisée dans de nombreux laboratoires d'étalonnage, comme c'est le cas actuellement avec l'EIPT-68. Ce principe est dans l'ensemble admis par le CCT. Toutefois, Mr Crovini pense qu'il ne faut pas que l'échelle soit si compliquée qu'elle ne puisse être réalisée même dans certains laboratoires nationaux. Car on se heurterait à des problèmes de « rattachement » des étalonnages. Mr Coates appuie ce point de vue.

En ce qui concerne la seconde question de principe, Mr Quinn pense que l'échelle à résistance assurerait, sur de grandes parties du domaine, la reproductibilité la plus grande de cette échelle. Comme, toutefois, pour des raisons de « philosophie », le CCT ne veut pas d'échelle à résistance, les étalonnages à des points fixes sont nécessaires. Mr Quinn poursuit en citant deux exemples dans lesquels, à son avis, la facilité de réalisation justifie une légère réduction de la reproductibilité de l'échelle : l'étalonnage sur des parties restreintes du domaine (par exemple, les thermomètres à résistance au-dessous de 30 K), et le schéma d'interpolation de Mr Rusby entre 24,6 K et 273 K avec seulement trois points triples aux basses températures, qui donne une reproductibilité de  $\pm 1$  mK. Mr Coates demande si Mr Quinn accepterait une échelle qui serait nettement moins reproductible que la meilleure possible. A titre de compromis, Mr Schooley propose que l'on admette une diminution de la précision qui ne soit pas supérieure à un facteur trois.

Mr Thomas indique qu'aux termes de la loi en République Fédérale d'Allemagne, la PTB est responsable de la dissémination de l'EIPT dans les autres laboratoires.

Il s'ensuit une brève discussion sur la façon dont les laboratoires nationaux conservent l'EIPT-68 et effectuent des étalonnages d'après cette échelle; il s'avère qu'au-dessous de 273 K, on utilise généralement une série de thermomètres à résistance de platine étalons.

Après cette discussion générale, plusieurs participants font des remarques sur des points particuliers de l'échelle. Mr Coates indique qu'il n'est pas d'accord sur la proposition du GTI d'avoir des points fixes supplémentaires au-dessus de 0 °C pour permettre l'emploi des



thermomètres de type capsule dans ce domaine : cela diminuerait la reproductibilité de l'échelle. Mr Kemp propose de laisser la limite inférieure du domaine du thermomètre à résistance de platine à 13,8 K car la ramener à 24,6 K engendrerait une non-unicité de l'échelle trop grande au voisinage de 30 K. Mr Rusby fait remarquer la simplicité de la méthode d'interpolation avec laquelle on a seulement besoin de trois points fixes aux basses températures, mais il a bien conscience que la non-unicité de  $\pm 1$  mK est assez grande. De plus, il doute que la non-unicité de  $\pm 0,2$  mK au-dessous de 20 K indiquée par Mr Kemp tienne compte des erreurs faites aux points fixes. Le Président fait remarquer qu'une limite inférieure du domaine du thermomètre à résistance de platine à 24,6 K n'exclut pas l'utilisation de points d'étalonnage au-dessous de cette température.

Mr Bonnier est favorable au choix de 24,6 K comme limite inférieure; si la limite inférieure est 13,8 K, il faudra des manomètres pour mesurer les pressions de vapeur de l'hydrogène, mais alors il vaudrait mieux employer le manomètre avec un thermomètre d'interpolation à gaz. Mr Kemp ne voit, en principe, aucune différence entre les mesures de pression de vapeur de He et H<sub>2</sub>, mais croit qu'il faut des mesures de pression beaucoup plus exactes avec le thermomètre à gaz. Mr Hudson ne voit là aucune objection à prendre 24,6 K comme limite inférieure; à son avis, faire des mesures de pression exactes ne devrait pas constituer un problème dans un laboratoire national.

Mr Pavese ne voit pas l'intérêt d'ajouter ou non 10 K au domaine du thermomètre à résistance de platine. Historiquement, on avait choisi 13,8 K comme limite inférieure de l'EIPT, non pas à cause des propriétés du thermomètre à résistance de platine, mais parce que 13,8 K était le point fixe le plus bas dont on disposait.

Mr Quinn fait remarquer que la relation résistance/température pour le thermomètre à résistance de platine est plus simple au-dessus de 24,6 K qu'au-dessous de cette température; c'est une raison pour choisir 24,6 K comme limite inférieure.

Mr Schooley pense qu'il est prématuré de prendre une décision définitive; il doute que l'existence d'un thermomètre plus précis que le thermomètre à résistance de platine pour le domaine compris entre 13,8 K et 24,6 K ait été prouvée. Mr Durieux estime qu'on a montré que le thermomètre à résistance de Rh-Fe est plus précis au voisinage de 13,8 K. Il fait remarquer que l'emploi d'un thermomètre d'interpolation à gaz, comme instrument de définition entre 4,2 K et 24,6 K, offre un avantage : les valeurs des températures des trois points de l'hydrogène n'ont pas besoin d'être définies; le thermomètre à gaz donnera automatiquement de meilleures températures au fur et à mesure de son amélioration au cours des années, sans qu'il soit nécessaire de changer les valeurs des points fixes.

Mr Schooley n'est pas certain que l'on dispose déjà de renseignements suffisants pour un thermomètre d'interpolation à gaz. Mr Kemp craint que, couper le domaine du thermomètre à résistance de platine à 24,6 K, ne diminue la reproductibilité de l'échelle au-dessus de cette température.

Mr Swenson signale que, définir trois points fixes supplémentaires au-dessous de 24,6 K, risque d'entraîner des irrégularités dans l'échelle. Il se demande aussi si l'échelle du thermomètre à résistance de platine est unique entre 13,8 K et 20 K et si elle est précise à  $\pm 0,1$  mK ou 0,2 mK près.

Il en résulte une discussion entre Mr Kemp et Mr Rusby sur la non-unicité de l'échelle entre 24,6 K et 54 K pour diverses méthodes d'interpolation. Le Président fait remarquer que le GT1 tirerait un grand profit d'une communication écrite sur cette question. Mr Hudson estime que l'ensemble du CCT en profiterait. Pour terminer, le Président indique que l'on pourrait aussi ajouter au procès-verbal de la session, des renseignements complémentaires sur l'exactitude des méthodes d'interpolation dans ce domaine\*.

On discute ensuite de la relation entre les échelles de pression de vapeur de l'hélium et la nouvelle EIPT. Dans le projet du GT1, les nouvelles échelles de l'hélium définissent l'EIPT entre 0,5 K et 4,2 K. Mr Schooley estime qu'il est prématuré de prendre cette décision parce qu'un autre thermomètre, plus commode, pourrait être proposé avant 1986. Il suggère que l'on mette bien en évidence que le choix n'a rien de définitif. Le Président propose de l'indiquer dans le préambule du projet de texte. Pour sa part, Mr Hudson a du mal à penser que les pressions de vapeur de l'hélium ne puissent faire partie de la définition d'une future EIPT. Mr Coates aimerait voir une définition unique de l'échelle; il craint que l'utilisation des domaines de  $^4\text{He}$  et de  $^3\text{He}$  qui se chevauchent n'accroisse la non-unicité de l'échelle.

On en vient alors au choix de l'instrument d'interpolation entre 4,2 K et 13,8 K ou 24,6 K. Le Président rappelle la proposition du GT1 suivant laquelle on prendrait le thermomètre à gaz comme instrument de définition entre 4,2 K et 24,6 K, étant bien entendu que dans la pratique l'échelle serait propagée, dans la plupart des cas, au moyen de thermomètres à résistance de Rh-Fe étalons. Mr Kemp pense qu'il faudrait encore faire d'autres recherches sur le thermomètre à gaz pour déterminer sa reproductibilité. Le Président suggère que le BIPM fasse quelque recherche dans ce sens. De plus, il fait remarquer que, puisque le thermomètre à gaz est en lui-même un instrument de mesure thermodynamique, on ne devrait, en principe, rencontrer aucune difficulté. Mr Durieux signale que, lorsqu'on les utilise comme instruments d'interpolation entre 4,2 K et 24,6 K, les thermomètres à gaz du KOL et du NPL concordent à  $\pm 0,5$  mK près. Mr Swenson ajoute que cela est aussi vrai pour les thermomètres à gaz du NPL et de l'Université de Bristol (Gugan). Comme dans le cas des échelles de pression de vapeur de l'hélium, Mr Schooley fait une mise en garde : il ne faut pas donner l'impression que l'on a déjà décidé de ce que sera la définition de l'échelle entre 4,2 K et 24,6 K. Cela pourrait entraver des recherches utiles sur d'autres thermomètres et, dans le cas présent, sur le thermomètre magnétique.

---

\* Aucune information n'a été reçue.

Mr Coates pense aussi que le danger existe de négliger des possibilités de définir l'échelle autres que celles qui sont indiquées dans le rapport du GT1. En revanche, Mr Swenson estime qu'il y a peu de chance de trouver un instrument d'interpolation autre que le thermomètre à gaz : en particulier, il n'y a, à ce jour et dans aucun laboratoire, de thermomètre magnétique qui fonctionne au-dessus de 4 K. Mr Quinn partage cette opinion : pour le thermomètre à résistance de Rh-Fe, il n'existe actuellement qu'un seul fournisseur et trouver un nombre suffisant de points fixes pour son étalonnage poserait des problèmes. Toutefois, Mr Schooley suggère que le NBS poursuive ses travaux sur le thermomètre magnétique jusqu'à 13,8 K, mais il craint que cette étude ne soit gênée par la décision prématurée d'utiliser le thermomètre à gaz. Mr Coates met aussi en garde contre le risque de mettre tous ses œufs dans le même panier.

Mr Bloembergen demande si l'on pourrait utiliser un thermomètre d'interpolation à gaz jusqu'à 3,3 K afin d'éviter l'emploi des pressions de vapeur de  $^4\text{He}$ . Mr Rusby répond que l'influence des coefficients du viriel de  $^4\text{He}$  augmente rapidement au-dessous de 4,2 K. Mr Durieux considère que les pressions de vapeur de  $^4\text{He}$  sont d'un emploi si courant qu'il ne faut pas les enlever de l'échelle. Mr Rusby fait remarquer qu'afin d'éviter des chevauchements de définitions, on pourrait définir l'échelle en fonction des pressions de vapeur de  $^4\text{He}$  au-dessus de 2,1 K et en fonction des pressions de vapeur de  $^3\text{He}$  au-dessous de cette température. Mr Bonnier n'approuve pas cette idée.

Une longue discussion s'engage ensuite sur la définition des échelles au-dessus de 0 °C et, en particulier, sur la différence entre les propositions faites par le GT1 et le GT3 pour le domaine compris entre 0 °C et 100 °C. Parlant du rapport du GT3, Mr Coates défend le principe d'une définition unique de l'échelle. Suivant la proposition du GT3, la définition de l'échelle au-dessus de 0 °C comprend les points de l'étain et du zinc, de telle sorte que, officiellement, les thermomètres à résistance de platine du type capsule ne peuvent servir à réaliser l'EIPT dans ce domaine. Mr Quinn regretterait une telle situation; Mr Bedford et Mr Bonnier appuient le point de vue de Mr Quinn. Mr Coates a l'impression qu'introduire des points fixes supplémentaires, comme le point du gallium, spécialement pour l'étalonnage des thermomètres du type capsule, augmenterait la non-unicité de l'échelle. Mr Crovini, Mr Kemp et Mr Schooley partagent l'opinion de Mr Coates : une définition unique de l'échelle serait préférable. En revanche, Mr Bloembergen pense que l'on peut suffisamment bien déterminer la température du point du gallium par rapport aux températures des autres points fixes et que l'ajouter n'augmenterait pas la non-unicité de l'échelle de façon appréciable. Par ailleurs, Mr Bedford souhaite laisser la possibilité d'introduire d'autres points fixes.

Mr Hudson et Mr Quinn suggèrent que l'on continue à étudier les différentes propositions pour définir l'échelle et la non-unicité qu'elles comportent. Le Président demande quelle est la non-unicité la plus grande que l'on puisse tolérer pour l'échelle. Mr Crovini répond qu'entre 0 °C et

100 °C, on aimerait que la reproductibilité soit meilleure que  $\pm 0,2$  mK. Mr Bonnier est aussi de cet avis.

Le Président demande si l'on peut accepter une limite inférieure de l'échelle de 0,5 K, comme il est envisagé dans le rapport du GT1. Mr Schooley fait remarquer que l'on a besoin d'indications thermométriques pour le domaine inférieur à 0,5 K; ce besoin est presque exclusivement pour les milieux scientifiques, et non pour les milieux industriels. Mr Schooley rappelle qu'il a déjà parlé d'une méthode d'interpolation et de points fixes pour ce domaine, mais à son avis il est certainement prématuré d'indiquer dès maintenant que la limite inférieure de l'échelle doit être au-dessous de 0,5 K. Il rappelle, aussi, au CCT la publication de Mr Soulen \*, publication qui illustre la méthode à laquelle il fait allusion. Au NBS, on va essayer de préparer, pour la prochaine session du CCT, une nouvelle version de ce document fournissant des résultats expérimentaux.

Mr Bonnier est d'accord avec Mr Schooley pour dire qu'il existe dans les milieux scientifiques un réel besoin d'étalonnages au-dessous de 0,5 K.

En résumé, le Président estime nécessaire d'étendre l'échelle au-dessous de 0,5 K, mais jusqu'à maintenant il n'existe aucune proposition acceptable. Il convient donc, pour le moment, d'arrêter l'échelle à 0,5 K.

Le Président assure le CCT que le GT1 étudiera soigneusement les diverses propositions. S'il s'avère que la reproductibilité de l'échelle est nettement insuffisante lorsque la limite inférieure du domaine du thermomètre à résistance de platine est 24,6 K, comme le préfèrent la majorité des participants, on devra à l'évidence adopter une limite plus basse, ou une autre technique. Si les calculs et les analyses nécessaires pouvaient être faits par des membres du CCT, la tâche du GT1 en serait grandement facilitée. Le Président suggère que le projet B de la nouvelle EIPT soit distribué aux membres du CCT à la fin de 1982, ou peu après, et que la version C soit disponible plusieurs mois avant la 15<sup>e</sup> Session (1984).

## 12. Travaux du BIPM

Mr Quinn expose devant le CCT l'historique des travaux thermométriques réalisés au BIPM, les besoins actuels de déterminer des températures avec l'exactitude la plus grande possible au voisinage de la température ambiante, la nécessité d'entretenir des installations pour étalonner des thermomètres à résistance et des thermocouples platine/platine rhodié entre 90 K et 1 064 °C, et les travaux en cours sur les cellules scellées à point triple et sur les mesures radiométriques de la température thermodynamique entre 420 °C et 630 °C. Mr Crovini demande quelle est l'exactitude la plus grande dont le BIPM a besoin au voisinage de la

---

\* The calibration of paramagnetic thermometers using 5 fixed points, *Cryogenics*, 14, 1974, p. 250.

température ambiante. Mr Quinn répond que, en liaison avec la conservation du volt étalon, on a besoin d'environ  $\pm 0,5$  mK. Mr Crovini mentionne que, lors d'une récente comparaison internationale de cellules à point triple du gallium faite entre l'INM, le NPL et l'IMGC, la plus grande différence était de 0,3 mK lorsque l'on utilisait différents thermomètres (et 0,15 mK avec un même thermomètre); et cela, même si l'incertitude était de  $\pm 0,7$  mK sur l'étalonnage des thermomètres à résistance de platine résultant des incertitudes au point triple de l'eau et aux points de congélation de l'étain et du zinc. Il serait utile que l'EIPT révisée assure une reproductibilité de  $\pm 0,1$  ou  $\pm 0,2$  mK au voisinage de la température ambiante. Il s'ensuit un échange de vues animé entre Mr Quinn, Mr Coates et Mr Schooley sur la question de la reproductibilité des mesures au voisinage de la température ambiante et des cellules à point triple du gallium construites dans les différents laboratoires; il s'agit aussi de savoir quels sont les besoins du BIPM: l'exactitude dans l'EIPT-68 ou uniquement la répétabilité, et quelles sont les méthodes pour y parvenir.

Une visite des laboratoires de thermométrie du BIPM pour les participants au CCT a lieu ensuite, sous la conduite de Mr Quinn et de Mr Pello.

### **13. Travaux futurs du CCT et des Groupes de travail**

Le Président propose que le CCT essaie de se conformer aux échéances prévues pour préparer la future EIPT, avec 1987 comme date finale pour son adoption. Il propose aussi que la préparation de la monographie sur les Renseignements complémentaires soit achevée en 1982 et que l'on poursuive la préparation des renseignements sur les mesures de températures secondaires. Le CCT est d'accord.

Il est aussi convenu que les tâches et la composition des Groupes de travail, qui ont été révisées en 1980, demeurent inchangées, à l'exception des échéances d'un certain nombre de sujets qui passent de 1982 à 1984. On rappelle que l'une des tâches spécifiques du GT3 comprend la coordination des travaux faits sur les thermomètres à résistance de platine pour la mesure des hautes températures (tâche spécifique 5 du GT3, Rapport de la 13<sup>e</sup> Session, 1980).

### **14. Publication des documents**

Le Président propose que le rapport, le compte rendu des séances et les rapports des Groupes de travail soient les seuls documents publiés par le BIPM, ainsi que la liste des documents présentés à la session, comme on le fait habituellement. Le CCT donne son accord.

Mr Hudson informe les participants que, pour la première fois, les documents seront publiés à la fois en français (texte officiel) et en anglais.

## 15. Questions diverses

Mr Hudson signale que, puisque l'EIPT révisée concordera avec les températures thermodynamiques, la température du point d'ébullition de l'eau va devenir approximativement 99,975 K et que, par conséquent, les valeurs numériques des températures au voisinage de la température ambiante seront légèrement modifiées. Est-ce que cela occasionnera des difficultés ou des confusions pour ceux qui travaillent dans des disciplines autres que la thermométrie ? Le CCT risque-t-il de recevoir une demande tendant à définir à nouveau l'intervalle entre le point de glace et le point de vapeur comme égal à 100 °C ? On discute de la question et l'on arrive à la conclusion qu'il n'est pas souhaitable de définir à nouveau l'intervalle glace-vapeur, en particulier parce que les valeurs au voisinage de la température ambiante ne seront que légèrement modifiées et qu'il est improbable que le point d'ébullition de l'eau soit un point de définition de l'EIPT révisée.

Mr Hudson présente la série de définitions que son sous-comité a préparée pour être introduite dans le compte rendu des séances. Mr Schooley suggère que l'on définisse aussi une autre expression : « réalisation partielle ». Le Président pense que l'expression « étalonnage par réalisation » est assez mauvaise, mais « étalonnage par réalisation partielle » serait incompréhensible. Après quelques discussions, de légères additions et modifications sont faites et les définitions figurant à l'Annexe B sont approuvées.

Mr Ling demande quelle est la différence entre les expressions « non-reproductibilité d'une échelle » et « non-unicité d'une échelle ». Il s'ensuit une discussion sur ce point et il s'avère qu'il n'y a pas d'accord général sur les définitions. Le Président dit que le CCT prend note de la question de Mr Ling et essaiera d'y donner une réponse avant la prochaine session.

La question a été posée \* que les différents organismes concernés, par exemple ceux qui ont la responsabilité d'établir des tables critiques des grandeurs liées à la température, soient informés aussitôt que possible de la date probable (1987 à 1989) d'adoption d'une EIPT révisée.

## 16. Recommandation au CIPM

Il est proposé et convenu qu'une seule recommandation sera soumise par le CCT au CIPM ; cette recommandation concernera l'adoption de nouvelles

---

\* En fait, la question a été posée par les parties concernées, au NPL, après la session du CCT, mais elle figure ici comme faisant partie de la session avec l'accord des participants du CCT, en réponse à une lettre circulaire qui accompagnait le projet de rapport au CIPM (voir Rapport au CIPM de la 14<sup>e</sup> session du CCT) envoyé par le Président.

équations pour représenter les relations entre la pression de vapeur de  $^3\text{He}$  et  $^4\text{He}$  et la température dans l'EPT-76 (*voir* aussi le document 82-2).

Avant d'être approuvée, la recommandation (*voir* p. T 5) donne lieu à de longues discussions sur son but et sur sa rédaction précise.

### 17. Prochaine session du CCT

On estime nécessaire que le CCT se réunisse à nouveau en 1984 dans l'espoir d'introduire l'EIPT révisée en 1987. Il est aussi convenu que la réunion aura lieu entre la troisième semaine du mois de mai et la mi-juin, les dates exactes devant être fixées un an à l'avance.

\*

\* \*

Avant de lever la séance, le Président remercie tous les participants pour leur coopération pendant la session; il remercie aussi le Directeur et le personnel du BIPM pour l'aide et les services qu'ils ont pu apporter au CCT.

Juin 1982

---

ANNEXE A

**Rapport de la réunion des représentants des laboratoires  
qui ont pris part à la comparaison internationale  
de points fixes au moyen de cellules scellées**

(réunion tenue au BIPM le 29 mars 1982)

Le lundi 29 mars 1982, les résultats obtenus jusqu'à maintenant au cours de cette comparaison internationale et donnés dans le premier projet de rapport, ont été présentés; on a discuté de la façon de terminer la comparaison et de présenter le rapport définitif.

Pour l'essentiel, les laboratoires représentés à la réunion (ASMW, BIPM, CSIRO, IMG, INM, NPL, NRC) ont décidé de conserver dans le rapport complet définitif tous les types de résultats présentés dans le premier projet.

On peut les regrouper en quatre rubriques :

- a) Comparaison de modèles de cellules scellées, dans le but d'obtenir les renseignements suivants :
  - a.1) différences entre les cellules;
  - a.2) comportement de chaque cellule pendant les mesures dans les différents laboratoires;
  - a.3) comportement thermique des cellules pendant la fusion;
  - a.4) comportement des différents gaz dans les cellules.
- b) Comparaison des réalisations nationales de l'EIPT-68 aux points fixes au moyen des cellules scellées.
- c) Rapport entre les résultats de cette comparaison et ceux de la comparaison internationale de thermomètres faite au NPL en 1975.
- d) Meilleures valeurs dans l'EIPT-68 pour les points fixes secondaires considérés dans cette comparaison.

En ce qui concerne le point a.1) : Différences entre cellules : il a été convenu que chaque laboratoire communiquera l'exactitude de ses mesures, en spécifiant le niveau de confiance, afin que l'on puisse associer à chaque mesure une estimation de l'incertitude. On est aussi convenu, à la



majorité des laboratoires, que le point de liquidus ( $F = 1$ ) sera pris comme définissant la température du point triple de tous les gaz qui ont fait l'objet de cette comparaison. On n'appliquera aux résultats aucune correction, telle que la correction hydrostatique. On a considéré qu'il était important de combler tous les manques d'informations et d'ajouter les indications sur les gaz que l'on estime importantes.

C'est la raison pour laquelle on ajoutera des résultats d'expériences faites en 1982, avec comme date limite octobre 1982. Il a été convenu de faire circuler quelques nouvelles cellules et à nouveau quelques anciennes :

Cellules anciennes :

- le CSIRO mesurera  $H_2$ -NRC; Ne-IMGC
- le NRC mesurera  $H_2$ -IMGC

Cellules nouvelles :

- le CSIRO mesurera Ne-ASMW
- l'IMGC mesurera Ar-ASMW
- le NRC mesurera la cellule multiple de l'INM ( $H_2O$ , Ar,  $N_2$ , Ne)
- si possible, un autre laboratoire mesurera aussi la cellule de l'INM
- l'IMGC mesurera la cellule  $N_2$ -NRC si celle-ci est disponible.

On arrêtera la circulation de la cellule de deutérium, à cause des erreurs que l'on a découvertes sur le réalisation de ce point fixe.

En ce qui concerne les points *a.2*) et *a.3*) : Comportement des cellules : les laboratoires communiqueront les renseignements (dont on ne dispose pas actuellement) à l'IMGC dès que possible. On considère effectivement comme important de rassembler des renseignements complets sur les caractéristiques des cellules (par exemple, temps de récupération, surchauffe, chaleur de fusion,...) provenant de tous les laboratoires.

Aux résultats définitifs, on ajoutera aussi le niveau de remplissage dans les cellules et la surface de contact du corps de la cellule avec l'échantillon.

En ce qui concerne le point *a.4*) : Comportement des gaz : on laisse aux membres du CCT le soin d'en discuter.

En ce qui concerne le point *b*) : Comparaison des réalisations nationales : la plupart des résultats ne sont pas encore disponibles. Tout d'abord, chaque laboratoire doit fournir une brève description, expliquant la façon dont il réalise l'EIPT et indiquant l'exactitude avec laquelle il la réalise.

Ensuite, chaque laboratoire doit fournir les différences  $\Delta W$  entre la réalisation nationale des points fixes considérés dans la comparaison internationale et la cellule de référence; pour les points fixes secondaires, cela doit être fait en utilisant le même thermomètre que celui utilisé lors de la comparaison internationale.

On ajoutera aux tableaux de la Section V, sur les différences entre cellules, une colonne donnant ces différences de température (c'est-à-dire l'équivalent de  $\Delta W$ ).

Les deux points *a*) et *b*) ne concernent ni des valeurs de température ni des thermomètres étalons, puisqu'ils ne se rapportent qu'aux différences entre réalisations. Ils correspondent aux buts de la comparaison internationale.

Les deux points suivants, qui concernent les valeurs de la température, contiennent des indications qui ne sont pas liées à la comparaison internationale elle-même, mais que l'on peut déduire des résultats accumulés. La majorité des laboratoires estiment que ces points renferment des informations utiles et que l'on doit les conserver dans le rapport définitif.

Le point *c*) concerne le rattachement avec l'étalonnage des thermomètres fait au NPL en 1975.

Une série de tableaux donnera les valeurs des températures de la réalisation de l'EIPT-68 du NPL, correspondant à chaque mesure des cellules, en utilisant un des thermomètres du groupe étalonné au NPL en 1975 (Tableaux VI.x.1).

Une seconde série de tableaux donnera les mêmes résultats ramenés à un thermomètre commun (le « master NPL one », par commodité) afin d'éliminer la non-unicité de l'échelle (Tableaux VI.x.2).

On pense que le point *d*) aidera à établir la nouvelle EIPT puisqu'il concerne les meilleures valeurs des températures dans l'EIPT-68 de points fixes secondaires (Ar, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, Ne). Si certains de ces points étaient utilisés dans la future échelle, il serait effectivement impératif d'avoir une valeur dans l'EIPT-68 avec la meilleure exactitude possible. La dispersion des valeurs publiées est quelquefois de plusieurs millikelvins. Par conséquent, une valeur moyenne obtenue à partir de ces valeurs serait assez incertaine.

Cette comparaison internationale a montré que les réalisations de cellules scellées à point triple de chaque point fixe concordent à quelques dixièmes de millikelvin près. Chaque laboratoire peut attribuer une température à cette valeur commune, dans sa réalisation nationale de l'EIPT-68. Dans ce cas, l'exactitude est limitée par la non-unicité de l'échelle, allant de  $\pm 0,5$  mK à  $\pm 1$  mK. On peut espérer abaisser cette limite jusqu'à  $\pm 0,2$  mK, en utilisant un des thermomètres qui ont pris part à la comparaison du NPL, et en éliminant ainsi la non-unicité. En fait, les laboratoires qui sont en mesure de le faire, peuvent rapporter les valeurs des températures mesurées dans leur propre réalisation nationale de l'EIPT-68 à un même thermomètre, par exemple le « master NPL one ». Une troisième série de tableaux (Tableaux VI.x.3) donnera ces renseignements.

La valeur de la température thermodynamique de l'état d'équilibre réalisé et reproduit avec les cellules peut être directement donnée par les laboratoires qui ont aussi effectué des mesures thermodynamiques dans ce domaine de température.

En ce qui concerne la présentation finale des résultats, le CCT a estimé qu'il n'était pas nécessaire de diffuser largement le rapport définitif complet et qu'il suffisait qu'une copie en soit conservée dans les archives du BIPM, afin de pouvoir être communiquée ultérieurement à toute personne

intéressée. Le BIPM n'a pas la possibilité de publier le rapport; l'IMGC, toutefois, verra s'il est possible que le Conseil National de Recherche Italien le fasse paraître sous forme de monographie, ce qui serait une publication plus officielle qu'un document CCT.

Un article commun, contenant seulement les résultats sous leur forme définitive, sera soumis à *Metrologia* pour publication. Il sera comparable à celui qui concernait la comparaison faite au NPL et plus récemment la comparaison internationale de densités de flux de neutrons.

---

## ANNEXE B

### Définitions discutées au cours de la 14<sup>e</sup> Session du CCT

1. La *réalisation* d'une échelle de température est effectuée en suivant les méthodes prescrites dans le texte de cette échelle, texte qui spécifie les valeurs de définition d'un certain nombre de points fixes prescrits, les instruments d'interpolation, et les relations d'interpolation qui doivent être utilisées.
2. Une *réalisation secondaire* d'une échelle de température adoptée sur le plan international s'obtient lorsque l'on s'écarte d'une ou de plusieurs des méthodes de définition. Pour que cette « réalisation » soit valable, on doit en spécifier l'écart maximal par rapport à l'échelle primaire.
3. L'*étalonnage* d'un récepteur thermométrique consiste à établir une relation numériquement connue entre le paramètre thermométrique mesuré et la température.
  - a) L'*étalonnage par réalisation* est le résultat obtenu pour un récepteur, lorsque celui-ci est utilisé comme instrument d'interpolation dans une *réalisation* ou une *réalisation secondaire* d'une échelle de température (voir 1 et 2 ci-dessus). (N. B. Dans le second cas, il faut spécifier le caractère « secondaire ».)
  - b) L'*étalonnage par comparaison* consiste à étalonner (voir 3 ci-dessus) un récepteur en le comparant dans un environnement isotherme à température variable avec un récepteur préalablement *étalonné* ou un instrument de transfert *étalonné*.

N.B. Lorsqu'un récepteur est *étalonné par comparaison* avec un second récepteur qui a été lui-même *étalonné par réalisation*, l'association de l'expression *réalisation de l'échelle* avec cette méthode n'est pas recommandée ! [On pourrait peut-être l'appeler reproduction, ou représentation, de l'échelle (?).]

N.B. L'emploi du simple terme *étalonnage* (voir 1) n'est recommandé que pour des discussions très générales ou bien lorsque le sens ressort du contexte. Seuls 3a et 3b permettent d'éviter toute ambiguïté.

ANNEXE T 1

---

**Documents de travail présentés  
à la 14<sup>e</sup> Session du CCT**

---

Ces documents de travail, qu'ils soient ou non publiés dans ce volume, peuvent être obtenus dans leur langue originale sur demande adressée au BIPM.

Document  
CCT/

- 82-1 CCT Working Group 4 (1980). — Report N° 1 (January 1982) (*voir* Annexe T 5, p. T 66).
- 82-2 KOL (Pays-Bas), NPL (Royaume-Uni). — Helium Vapour Pressure Equations on the EPT-76, by M. Durieux and R. L. Rusby.
- 82-3 NPL (Royaume Uni). — Interpolation with Platinum Resistance Thermometers below 0 °C, by R. L. Rusby.
- 82-4 Final report of the international intercomparison of fixed points by means of sealed cells (1978-1982). Texte résumé à paraître dans *Metrologia*.
- 82-5 ASMW (R.D.A.). — Investigation of the superconducting transition point of niobium as a reference temperature, by B. Fellmuth and H. Maas.
- 82-6 ASMW (R.D.A.). — Sealed triple point cells for low temperature thermometer calibration, by P. Seifert.
- 82-7 NRC (Canada). — Relation between heat of fusion and the amount of catalyst, by J. Ancsin.
- 82-8 NRC (Canada). — About the usefulness of deuterium in thermometry, by J. Ancsin.
- 82-9 NRC (Canada). — Note on the reporting of thermodynamic temperature intervals measured with an optical pyrometer, by R. E. Bedford.

- 82-10 NRC (Canada). — Melting curves of  $H_2O$ , by J. Ancsin. Publié dans *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 281-284.
- 82-11 NRC (Canada). — Measurement of the melting temperature of the copper 71.9 % silver eutectic alloy with a monochromatic optical pyrometer, by R. E. Bedford and C. K. Ma. Publié dans *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 361-369.
- 82-12 NRC (Canada). — Oxidation, stability and insulation characteristics of Rosemount standard platinum resistance thermometers, by R. J. Berry. Publié dans *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 753-762.
- 82-13 NRC (Canada). — Evaluation and control of platinum oxidation errors in standard platinum, by R. J. Berry. Publié dans *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 743-752.
- 82-14 NRC (Canada). — Properties of some noble and base metal thermocouples at fixed points in the range 0-1 100 °C, by E. H. McLaren and E. G. Murdock. Publié dans *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 953-975.
- 82-15 CSIRO (Australie). — Practical high temperature resistance thermometry, by J. V. McAllan. Publié dans *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 789-793.
- 82-16 CSIRO (Australie). — The effect of pressure on the water triple-point temperature, by J. V. McAllan. Publié dans *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 285-290.
- 82-17 CSIRO (Australie). — An international intercomparison of temperature standards of Asia/Pacific countries, by T. P. Jones. Publié dans *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 197-199.
- 82-18 CSIRO (Australie). — A photoelectric pyrometer temperature scale below 1064.43 °C and its use to measure the silver point, by T. P. Jones and J. Tapping. Publié dans *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 169-174.
- 82-19 CSIRO (Australie). — The triple points of equilibrium and normal deuterium, by R. C. Kemp. Publié dans *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 249-250.

- 82-20 CSIRO (Australie). — The triple point of natural xenon, by R. C. Kemp, W. R. G. Kemp and P. W. Smart. Publié dans *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 229-230.
- 82-21 CSIRO (Australie). — Fixed point combination and termination points for platinum resistance thermometer interpolation below 273.15 K, by R. C. Kemp. Publié dans *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 155-158.
- 82-22 CSIRO (Australie). — Constant volume gas thermometry 13.8 to 83.8 K, by R. C. Kemp, L. M. Besley and W. R. G. Kemp. Publié dans *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 33-37.
- 82-23 CSIRO (Australie). — A noise thermometer for the range 100-150 °C, by C. P. Pickup. Publié dans *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 129-131.
- 82-24 CSMU (Tchécoslovaquie). — Realization of the triple point and melting point of gallium, by M. Borovicka and J. Demian.
- 82-25 Working Group 1 (H. Preston-Thomas, P. Bloembergen, T. J. Quinn) :  
82-25/1 : The next revision of the IPTS  
82-25/2 : Draft A of the International Practical Temperature Scale of 1987.  
82-25/3 : Supplementary information for the IPTS-68 and EPT-76 (Feb. 1982 — Version F).  
(*Voir Annexe T 2, p. T 46*).
- 82-26 INM (France). — Thermal behaviour of thermometric sealed cells and of a multi-compartment cell, by G. Bonnier and Y. Hermier. Publié dans *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 231-237.
- 82-27 BIPM. — Thermomètres à résistance de platine : phénomènes d'oxydation du platine, par J. Bonhoure et R. Pello.
- 82-28 NRLM (Japon). — An NRLM project for evaluating the performance of commercially available Pt thermometers at high temperature range, by M. Morimura and S. Sawada.
- 82-29 NPL (Royaume-Uni). — Interpolation with rhodium-iron resistance thermometers, 4.2 K to 24.5 K, by R. L. Rusby.
- 82-30 NRLM (Japon), Thermophysical Properties Research Laboratory (É.-U. d'Amérique). — Note on a standard blackbody radiator above 2 000 °C whose temperature is determined by the resistance ratio of a metal, by A. Ono, D. P. DeWitt and R. E. Taylor.
- 82-31 Report of Working Group 2 to the CCT (March 1982) (*Voir Annexe T 3, p. T 47*).

- 82-32 IMM (U.R.S.S.). — Point fixe de référence de fusion du gallium, par B. N. Oleinik, A.G. Ivanova, V. A. Zamkovetz et N. N. Ergardt.
- 82-33 NIM (Rép. Pop. de Chine). — The development of a sealed triple point cell of argon, realization of its temperature and intercomparison with NRC and INM, by Li Zhiran and Li Zhongyue.
- 82-34 NIM (Rép. Pop. de Chine). — High temperature platinum resistance thermometry at NIM, by Li Xumo, Su Jinrong, Fan Xiuhua and Chen Ming.
- 82-35 NIM (Rép. Pop. de Chine). — Note on the intercomparison of the sealed triple-point-of-oxygen cells of NIM, IMGCC and INM, by Wu Biqin, Wang Zilin and Huan Ninsheng.
- 82-36 IMGCC (Italie). — Interpolating equations for industrial platinum resistance thermometers in the temperature range from — 200 to 420 °C, by A. Actis and L. Crovini. Publié dans *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, p 819-827.
- 82-37 IMGCC (Italie). — Noise thermometry and related experiments at + 420 °C, by A. Actis and L. Crovini. Publié dans *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, p. 819-827.
- 82-38 IMGCC (Italie). — Ten years of research on sealed cells for phase transition studies of gases at IMGCC, by F. Pavese and D. Ferri. Publié dans *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 217-227.
- 82-39 IMGCC (Italie). — On the use of first-generation sealed cells in an international comparison of triple-point temperatures of gases, by F. Pavese. Publié dans *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 209-215.
- 82-40 CSIRO (Australie) et KOL (Pays-Bas). — Comparison of recent gas thermometer results at CSIRO and KOL by W. R. G. Kemp, R. C. Kemp, L. M. Besley, P. P. M. Steur, J. P. Mars, H. ter Harmseel and M. Durieux.
- 82-41 Report of Working Group 3 (*voir* Annexe T 4, p. T 57).
- 82-42 IMGCC (Italie). — On the use of the freezing point of antimony at IMGCC, by L. Crovini and P. Marcarino.
- 82-43 NBS (É.-U. d'Amérique). — Notes on the Comité Consultatif de Thermométrie Agenda, by J. F. Schooley.
- 82-44 NIM (Rép. Pop. de Chine). — Résultats concernant les thermomètres à résistance de platine pour la mesure des hautes températures.
- 82-45 NBS (É.-U. d'Amérique). — Evaluation of HTPRT's.
- 82-46 IMPR (U.R.S.S.). — Comments on the CCT Working Group 4.



ANNEXE T 2

---

**Rapport du Groupe de travail 1 \***

(Révision de l'EIPT et Renseignements complémentaires)

(Document CCT/82-25)

---

Le rapport du Groupe de travail 1 se compose de deux projets de textes établis pour être discutés lors de la 14<sup>e</sup> Session du CCT :

- projet A de l'Échelle Internationale Pratique de Température de 1987;
- version F des Renseignements complémentaires à l'EIPT-68 et à l'EPT-76.

Il n'a pas été jugé utile de publier ces textes qui sont encore dans une forme provisoire.

8 février 1982

---

\* Les membres de ce Groupe de travail sont : MM. H. PRESTON-THOMAS, président, Conseil National de Recherches (Canada); P. BLOEMBERGEN, Van Swinden Laboratorium (Pays Bas); T. J. QUINN, Bureau International des Poids et Mesures.

---

## ANNEXE T 3

---

### **1<sup>er</sup> Rapport du Groupe de travail 2 \***

(Traduction du Document CCT/82-31)

---

#### **1. Introduction**

Lors de la 13<sup>e</sup> Session du CCT en 1980, le Groupe de travail 2 a été chargé d'une double tâche :

1) Poursuite de l'étude des points de référence secondaires qui sont proposés ou qui existent.

2) Préparation d'un document décrivant une bonne pratique de la thermométrie, portant sur les techniques secondaires y compris les réalisations secondaires de l'EIPT, mais à l'exclusion des points traités dans le document préparé par le GT1 : « Renseignements complémentaires pour l'EIPT-68 et l'EPT-76 ».

Dans ce rapport, nous présentons un second supplément à l'« Extended List of Secondary Reference Points » publié par le Groupe de travail 1 en 1977 [1]. Un premier supplément a été donné dans le rapport du GT2 au CCT en 1980 [2]. Cette compilation peut jouer un rôle de plus en plus important dans le choix d'une série convenable de points fixes de définition (et éventuellement de points fixes secondaires approuvés) pour la future EIPT révisée.

Le Groupe de travail 2 présente ses excuses au CCT tant pour le retard apporté à faire ce rapport que pour le fait de ne pas avoir pu convenablement s'occuper de sa deuxième tâche. D'autres engagements des membres du Groupe de travail 2 (préparation de communications pour le 6th Symposium on Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry; aide apportée à d'autres tâches en liaison avec le CCT, en particulier préparation de la Monographie du Groupe de travail 1 sur les

---

\* Les membres de ce Groupe de travail sont : MM. R. E. BEDFORD, président, Conseil National de Recherches (Canada); G. BONNIER, Institut National de Métrologie (France); H. MAAS, Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung (Rép. Dém. Allemande); F. PAVESE, Istituto di Metrologia G. Colonnetti (Italie).

Renseignements complémentaires et préparation des rapports sur la comparaison internationale de cellules scellées à point triple) nous ont empêchés de préparer un projet convenable de texte sur la thermométrie secondaire. Dans ce rapport, nous donnons les grandes lignes du genre de sujets qui pourraient raisonnablement figurer dans ce document, avec les références des articles où l'on peut trouver des renseignements détaillés sur ces sujets.

De plus, au cours de discussions au sein du GT2, il est devenu évident qu'il était souhaitable d'avoir de la part du CCT davantage de directives spécifiques sur le contenu de ce document. Pour citer l'opinion exprimée par l'un des membres du Groupe, « Je suis de moins en moins certain de savoir quelles sont les limites effectives de ce travail... le CCT est de plus en plus engagé... dans la question des liens qui existent entre la définition primaire et l'utilisation pratique quotidienne des étalons... mais il se peut qu'il s'éloigne de son rôle s'il en arrive à s'occuper de la bonne pratique de la thermométrie dans les techniques secondaires. (Le CCT) ... doit indiquer les meilleures méthodes pour se servir des thermomètres et des points fixes qui ne figurent pas dans la définition officielle. Ceci incombe au GT2. Toutefois, à mon avis, cela ne doit pas ressembler à un livre sur une bonne pratique de la thermométrie, car il ne doit pas comporter de description des composants ni de leurs méthodes d'utilisation, ni de schéma d'installation,... (mais) indiquer seulement comment les mesures de température faites avec des thermomètres qui ne sont pas des thermomètres étalons ou des mesures de température de référence non-primaires peuvent être reliées à l'échelle officielle, avec la fiabilité et la sûreté les plus grandes... A cet égard, le GT2 ne peut pas avancer avant que le CCT ait choisi une stratégie officielle pour les étalonnages ». Les tâches assignées au GT2 étaient à l'évidence bien plus grandes. Une autre difficulté vient de la duplication qu'il peut y avoir entre le document dont il a été question et la littérature disponible. Il existe déjà des publications sur différents aspects de la thermométrie qui décrivent « une bonne pratique de la thermométrie dans les techniques secondaires », bien qu'il soit exact qu'aucune publication ne couvre à elle seule la totalité du sujet. La tâche du GT2 peut être envisagée comme consistant à rassembler ces matériaux en une seule monographie, mais la question reste de savoir jusqu'où il faut aller dans le détail pour que ce document conserve des proportions raisonnables. Le GT2 a besoin de l'avis du CCT à cet égard.

## **2. Points de référence secondaires**

Au Tableau I, nous donnons quinze points de référence secondaires qui ont été déterminés (ou redéterminés) depuis notre supplément de 1980 [2]. Pour chaque état d'équilibre dans la colonne 1, nous donnons, dans la colonne 2 la valeur de la température dans l'EIPT-68, dans la colonne 3 l'incertitude sur cette valeur telle qu'elle est donnée par l'auteur, dans la

colonne 4 notre avis sur la catégorie de cette incertitude (*voir* note I du Tableau I, p. T 51), et dans la colonne 5 la référence correspondante.

Bien des points concernés sont dans le domaine cryogénique où, dans l'EIPT révisée, on risque d'avoir besoin du plus grand nombre de points fixes de définition pour permettre un étalonnage correct des thermomètres à résistance de platine. Si, comme cela a été proposé, l'EIPT révisée définit la température dans le domaine du thermomètre à résistance de platine à partir d'équations d'écart, de faible degré et obtenues par moindres carrés, par rapport à une fonction de référence, on aura vraisemblablement besoin de davantage de points fixes de définition que dans l'EIPT-68 pour tenir compte de la redondance dans la méthode des moindres carrés, contrôler les erreurs d'étalonnage et la qualité des thermomètres ainsi que le chevauchement des différents intervalles de température.

Sur les quinze points portés au Tableau I, quatre [ $^{20}\text{Ne}$ , propane, Ti (0,997  $\mu\text{m}$ ), V (0,997  $\mu\text{m}$ )] sont des points qui ont été déterminés récemment, dix correspondent à de nouvelles déterminations de points faisant partie des précédentes listes, et un (acide benzoïque) donne un éclaircissement sur une valeur donnée antérieurement. Il convient de souligner que l'on continue de constater l'excellente cohérence des mesures du point triple de l'argon et du point triple du méthane, ainsi que du point de congélation du cuivre; en effet, il est certain que quelques uns d'entre eux seront choisis comme points fixes de définition de l'EIPT révisée. On a fait figurer une nouvelle détermination du point de fusion du palladium. Ce point mériterait d'être encore très étudié car il est important pour les étalonnages de thermocouples à température élevée. Il faut étudier avec plus de détails que cela ne l'a été jusqu'à maintenant l'effet de l'oxygène sur le point de fusion ou de congélation car, bien que les mesures définitives de la température de congélation soient généralement faites avec l'échantillon dans le vide ou en atmosphère inerte, les étalonnages de thermocouples sont plus simples à faire dans l'air.

Nous attirons l'attention sur de récentes mesures des points triples du deutérium en équilibre et normal. Notre supplément [2] de 1980 donnait pour le point triple de  $n\text{-D}_2$  (18,729  $\pm$  0,002) K. Nous sommes obligés de retirer ce point de notre liste en attendant de connaître les causes des écarts anormaux dont nous avons eu connaissance. L'expérience sur laquelle était fondée la valeur ci-dessus [3] indiquait que  $\text{D}_2$  se comportait d'une façon parfaitement normale comme  $\text{H}_2$ , offrant une bonne courbe de fusion que l'on pouvait extrapoler à  $F^{-1} = 1$  (où F représente la fraction fondue de l'échantillon) avec une faible incertitude. Les mesures ont été faites en utilisant une cellule scellée à point triple de  $\text{D}_2$  construite par l'IMGC. Récemment, dans le cadre d'une comparaison internationale de cellules scellées à point triple, organisée sous les auspices du CCT, une cellule de deutérium a été également construite au NRC. Les mesures faites sur cette cellule [4] donnent une température du point triple tout aussi reproductible que celle que l'on obtient avec la cellule de l'IMGC, mais inférieure de 15  $\mu\text{K}$ . Reeves [5] a récemment mesuré le point triple de  $n\text{-D}_2$  et donné une

TABLEAU I

Second supplément à l'« Extended List of Secondary Reference Points »

État d'équilibre	T <sub>68</sub> (K)	Incertitude (Estimation de l'auteur)		Réfé- rence
		Incerti- tude (K)	Caté- gorie (1)	
P.T. de <sup>20</sup> Ne	24,5457	± 0,001	B	9
	24,548 (2a)	± 0,001	B	10
	24,546 (2b)	± 0,001	B	10
P.T. du néon naturel	24,5627	± 0,0005	C	11
P.T. de l'argon	83,7977	± 0,0005	C	11
	83,7977	± 0,0007	A	12
P.T. du propane (phase β)	85,515 (3)	± 0,001	C	13
P.T. du méthane	90,6856	± 0,0007	A	12
P.T. du xénon	161,388	± 0,001	B	14
P.F. du gallium	302,9219	± 0,001	C	15
P.T. du gallium	302,9238	± 0,001	C	15
P.T. de l'acide benzoïque (4)	395,520	± 0,002	B	16
P.F. de l'acide benzoïque	395,533	± 0,002	B	16
P.F. de l'alliage eutectique cuivre 71,9 % argent	1 052,72	± 0,10	B	17
Point de congélation du cuivre	1 358,04	± 0,015	B	18
	1 358,03 (5)	± 0,06	B	19
Temp. de luminance (0,997 μm) à la fusion du titane	1 711	± 6	B	20
Temp. de luminance (0,653 μm) à la fusion du titane	1 800	± 6	B	20
P.F. du palladium (6)	1 827	± 4	B	21
Temp. de luminance (0,993 μm) à la fusion du vanadium	1 875	± 7	B	22
Temp. de luminance (0,653 μm) à la fusion du vanadium	1 992	± 7	B	22

Notes 1. Les incertitudes mentionnées se répartissent dans l'une ou l'autre des catégories suivantes :

- A) Niveau de confiance à 95 % (ou 99 %).
- B) Comporte les estimations de la reproductibilité ainsi que des erreurs systématiques.
- C) Semble inclure seulement une estimation de la reproductibilité.
- D) Aucune estimation de l'exactitude n'est donnée, mais il semble que la valeur soit comparable à l'exactitude d'autres états d'équilibre indiqués au voisinage de cette température.

2. Température mesurée dans l'échelle NBS-55 :

- a) Conversion dans l'EIPT-68 au moyen de la table de Bedford *et al.* [18].
- b) Conversion dans l'EIPT-68 au moyen de mesures avec un thermomètre étalonné [9].

3. Valeur à  $1/F = 1$  (où F est la fraction fondue de l'échantillon).

4. Point triple précédemment donné à 395,52 K. Conversion dans l'EIPT-68 par Crovini *et al.* [23]. Le point de fusion à la pression normale (101 325 Pa) peut être aussi obtenu à partir de la référence [16].

5. Cette valeur a été mesurée par rapport au point de congélation de l'argent pris à 1 235,20 K (moyenne de cinq déterminations indépendantes du point de congélation de l'argent par rapport au point de congélation de l'or).

6. Température mesurée avec un échantillon dans une atmosphère d'argon à une pression de  $\sim 200\,000$  Pa.

7. Abréviations :

P.T. point triple

P.F. point de fusion

---

valeur de  $(18,678 \pm 0,002)$  K. Le même point mesuré par Ancsin [4] avec une cellule du NRC est de nouveau 15 mK plus bas, de telle sorte que les deux auteurs obtiennent 51 mK pour la différence entre les deux points triples. Une cellule de l'IMGC a également été mesurée au NRC dans le cadre de la comparaison et la température donnée par Pavese a été confirmée. Des essais pour modifier le deutérium dans une cellule du NRC afin d'entraîner des écarts aussi grands laissent à penser que les écarts ne sont pas dus à des impuretés. On n'a pas encore fait d'essai sur l'éventualité de différences isotopiques. Pour compliquer la situation, Kemp [6] a mesuré le point triple de e-D<sub>2</sub> et obtenu 18,691 K (13 mK de plus que Pavese !) et a trouvé comme différence entre n-D<sub>2</sub> et e-D<sub>2</sub> seulement 18 mK. Des mesures antérieures faites par Woolley *et al.* [7] ont donné 32 mK pour la différence entre les points triples, tandis que Grenier et White [8] ont obtenu un résultat plus voisin de 60 mK. Compte tenu de ces écarts, on ne peut dès maintenant recommander les points triples du deutérium comme points de référence secondaires. A l'évidence, il faut envisager avec précaution le deutérium comme éventuel point fixe de définition car, même lorsque la difficulté sera résolue, il risque de ne pas être facile d'avoir la certitude qu'un échantillon donné se trouve bien dans l'état spécifié pour la définition.

### **3. Monographie sur les techniques secondaires de thermométrie**

Une des tâches du GT2 est la préparation d'un document décrivant une bonne pratique de la thermométrie portant sur les techniques secondaires. Ci-après nous passons en revue les principaux sujets qui devraient figurer dans un tel document et donnons les références des articles où l'on peut déjà trouver des informations valables sur ces sujets. La liste de références n'est absolument pas exhaustive. Les articles indiqués abordent les sujets plutôt dans leurs grandes lignes; en revanche, les bibliographies que comportent ces articles sont complètes et l'on peut trouver dans les articles mentionnés des détails précis. Il est évident que le document à préparer s'inspirera beaucoup de ces publications ou d'autres du même genre.

A l'heure actuelle, il n'existe aucun texte d'ensemble qui couvre tous les aspects de la thermométrie secondaire moderne. Il y a, cependant, un certain nombre de publications qui abordent la plupart des sujets avec un certain détail. Parmi les rares manuels qui existent, on peut recommander celui de Terny [24]. Il existe également deux bons exposés assez longs sur les mesures de température, faits par McElroy et Fulkerson [25] et par Bedford *et al.* [26]. Malheureusement, tout ce qui concerne les appareils dans ces trois publications est quelque peu dépassé maintenant. Il existe bien sûr une moisson de renseignements sur tous les domaines de la thermométrie dans les comptes rendus imprimés dans la série des conférences « Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry » [27], dont le cinquième volume doit paraître en 1982. On peut trouver des renseignements détaillés sur tous les sujets passés en revue ci-après, dans l'un ou l'autre de ces volumes. Freeze et Parker [28] ont établi une bibliographie considérable des articles traitant de tous les types de mesures de température qui ont été publiés entre 1953 et 1969. Par ailleurs, nous croyons savoir qu'un manuel sur la thermométrie écrit par T. J. Quinn paraîtra prochainement.

#### **3.1 Thermomètres en verre contenant un liquide**

Selon toute vraisemblance, pour les températures au voisinage de la température ambiante, la plupart des thermomètres secondaires les plus utilisés dans le monde appartiennent encore à cette catégorie. Les techniques pour un bon emploi sont établies depuis longtemps; peu de changements sont intervenus au cours des dernières années. Wise [29] donne un exposé détaillé de leur étalonnage et de leur emploi. Les autres laboratoires nationaux donnent vraisemblablement des renseignements comparables. Thompson [30] traite de la construction des thermomètres en verre contenant un liquide, et Ween [31] décrit comment les choisir et les utiliser correctement.

#### **3.2 Thermomètres pour utilisation au-dessous de 273 K**

Ce groupe comporte principalement différents thermomètres à résistance (capsule et platine industriel, rhodium-fer, germanium, carbone)

et des thermocouples, plus un petit nombre de types d'un usage moins courant comme les thermomètres à capacitance, les diodes semi-conductrices, etc. Ce dont on a besoin, ce sont des détails sur leurs limites, leur stabilité, leur utilisation convenable, leur étalonnage, leur exactitude probable, etc. Trois articles (comportant des bibliographies détaillées) abordant certaines de ces questions sont ceux de Corruccini [32], Swenson [33] et Rubin [34]. Riddle *et al.* [35] traitent des thermomètres à résistance de platine, quoique cet article porte davantage sur leur utilisation comme thermomètres primaires. La plupart des travaux sur le thermomètre rhodium-fer viennent du NPL; certains sont exposés, par exemple, par Rusby [36]. Un peu partout dans la littérature on trouve des descriptions de thermocouples pour basses températures. Des renseignements, ainsi que des tables de référence, sont donnés par Sparks *et al.* [37] et Powell *et al.* [38]. Des rapports antérieurs faits par l'ancien GT5 et le rapport récent du GT4 présentent les mérites respectifs de certains de ces instruments.

### 3.3 Thermomètres à résistance

Les thermomètres à résistance de différents types sont très largement utilisés et on a besoin d'une documentation comparable à celle dont il a été question au point 3.2. A l'évidence, ce point et le point 3.2 se recouvrent beaucoup; on pourrait envisager ici le domaine supérieur à 273 K et inclure les instruments à résistance de platine de type industriel, les thermomètres à résistance en autres métaux (cuivre, nickel, alliages au nickel), les thermistances, etc. Les thermistances ont fait l'objet d'un livre par Hyde [39]. Wood *et al.* [40] étudient la stabilité de différents types. La plupart des renseignements dont on dispose sur les instruments à résistance se trouvent dans les différents ouvrages de référence [27]. Johnston [41] parle de la construction et de la fiabilité de plusieurs types d'emploi courant. Anderson et Kollie [42] traitent de leur emploi aux températures élevées.

### 3.4 Thermocouples

Les thermocouples constituent le type de thermomètres le plus utilisé et couvrent le domaine le plus large ( $\sim 4$  K à 3 000 K). Il faut rassembler des renseignements sur les différents types, leur domaine d'utilisation, leurs mérites respectifs, le recuit approprié et ses effets, le bon emploi, le montage, l'effet des inhomogénéités, la fréquence des étalonnages, l'atmosphère correcte d'utilisation, l'isolation et la protection, etc. Dans une ancienne circulaire de Roeser et Lonberger [43] et dans une monographie de l'ASTM [44], on trouve une quantité importante de renseignements de ce genre sur les thermocouples en métaux nobles ou de base. Powell *et al.* [38] donnent des tables de référence pour tous ces couples, ainsi que des renseignements sur leur stabilité et la reproductibilité d'une série à l'autre. Burns et Hurst [45] donnent un excellent aperçu de la situation de la thermométrie avec les thermocouples, et Guildner et Burns [46] exposent les principaux facteurs qui



limitent l'exactitude des thermocouples. Bedford [47] et Anderson et Kollie [42] traitent des thermocouples utilisés aux températures élevées. Kinzie [48] donne une liste complète des types de thermocouples, en précisant leurs caractéristiques et leurs limites.

### 3.5 Thermométrie par rayonnement

La thermométrie par rayonnement prend de plus en plus d'importance. La pyrométrie optique primaire ne figure pas dans cette monographie, mais il n'en est pas de même pour d'autres types de thermomètres par rayonnement. Une grande quantité de renseignements, en particulier sur les thermomètres en infrarouge, sont dispersés dans l'ensemble de la littérature. La plupart des aspects de la question seront traités dans un manuel d'instructions « Theory and Practice of Radiation Thermometry » qui doit paraître prochainement (sous les auspices du NBS).

### 3.6 Réalisations secondaires de l'EIPT-68

Au cours des dernières sessions du CCT, on a beaucoup discuté de l'appellation même de ce sujet; en employant l'expression « réalisation secondaire », il n'est pas dans notre propos d'attiser la controverse.

Lors de la 13<sup>e</sup> Session (1980), le GT2 a rendu compte de plusieurs possibilités de réalisation secondaire couvrant les différents domaines de température (on peut en trouver le détail dans le rapport du GT2 [2]). Pour l'essentiel, la situation n'a pas changé depuis ce rapport. Lors de sa 13<sup>e</sup> Session, le CCT a recommandé deux réalisations secondaires : 0 °C à ~1 200 °C, fondée sur les thermocouples Pt 13 Rh/Pt, et ~1 000 °C à 1 800 °C, fondée sur les thermocouples Pt 30 Rh/Pt 6 Rh. Ces réalisations sont obtenues en étalonnant un thermocouple à des points fixes spécifiés et en ajustant les équations par moindres carrés aux différences entre les f.é.m. aux points fixes et les f.é.m. correspondantes dans les tables de référence acceptées sur le plan international [38]. Des réalisations de ce type reproduiront vraisemblablement l'EIPT-68 à  $\pm 0,5$  °C près au-dessous de 1 200 °C et à  $\pm 1$  °C près au-dessus.

12 mars 1982

### Bibliographie

1. CROVINI, L., BEDFORD, R. E. et MOSER, A. *Metrologia*, **13**, 1977, pp. 197-206.
2. BEDFORD, R. E., CROVINI, L., MAAS, H. et SKAKALA, J. *Comité Consultatif de Thermométrie*, 13<sup>e</sup> Session, Annexe T3, 1980, pp. T55-T79.
3. PAVESE, F. et BARBERO, C. *Cryogenics*, **19**, 1979, pp. 255-260.
4. ANCSIN, J., Document CCT/82-8.
5. PAVESE, F. *Physica*, **107B**, 1981, pp. 333-334.
6. KEMP R. C. *In* : Temperature, Its Measurement and Control in Science and

- Industry, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 249-250 (et Document CCT/82-19).
7. WOOLLEY, H. W., SCOTT, R. B. et BRICKWEDDE, F. G. *J. Res. Nat. Bur. Stand.*, **41**, 1948, pp. 379-475.
  8. GRENIER, G. et WHITE, D. *J. Chem. Phys.*, **40**, 1964, pp. 3015-3030.
  9. KEMP, R. C. et KEMP, W. R. G. *Metrologia*, **17**, 1981, pp. 67-68.
  10. FURUKAWA, G. T. *Metrologia*, **8**, 1972, pp. 11-27.
  11. SEIFERT, F., Document CCT/82-6.
  12. BLANKE, W. et THOMAS, W. Temperature Measurement in Industry and Science, IMEKO Symposium, 1981.
  13. PAVESE, F. et BESLEY, L. M. *J. Chem. Thermodyn.*, **13**, 1981, pp. 1095-1104.
  14. KEMP, R. C., KEMP, W. R. G. et SMART, P. W. *In : Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 229-230.
  15. BOROVICKA, M. et DEMIAN, J., Document CCT/82-24.
  16. SCHWAB, F. W. et WICKERS, E. *J. Res. Nat. Bur. Stand.*, **34**, 1945, pp. 333-372.
  17. BEDFORD, R. E. et MA, C. K. *In : Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 361-369 (et Document CCT/82-11).
  18. JONES, T. P. et TAPPING, J. *In : Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 169-174 (et Document CCT/82-18).
  19. OHTSUKA, M. et BEDFORD, R. E. *In : Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 175-181.
  20. RIGHINI, F., ROSSO, A., COSLOVI, L., CEZAIIRLIYAN, A. et McLURE, J. L. Proceedings of the Seventh Symposium on Thermophysical Properties, New York, American Society of Mechanical Engineers, 1977, pp. 312-318.
  21. MILLER, A. P. et CEZAIIRLIYAN, A. *Int. J. Thermophysics*, **2**, 1981, pp. 63-71.
  22. CEZAIIRLIYAN, A., MILLER, A. P., RIGHINI, F. et ROSSO, A. *High Temp. Sci.*, **11**, 1979, pp. 223-232.
  23. CROVINI, L. et MARCARINO, P. *Anal. Chem.*, **53**, 1981, pp. 681-686.
  24. TERNY, M. La Mesure des Températures au Laboratoire et dans l'Industrie, Paris, Dunod, 1962.
  25. McELROY, D. L. et FULKERSEN, W. « Temperature Measurement and Control », Chapter 2, *In : Techniques of Metals Research*, New York, Interscience, 1968.
  26. BEDFORD, R. E., DAUPHINEE, T. M. et PRESTON-THOMAS, H. « Temperature Measurement », Chapter 1, *In : Tools and Techniques in Physical Metallurgy*, New York, Marcel Dekker, 1970.
  27. Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry : Vol. 1, New York, Reinhold, 1941; Vol. 2, New York, Reinhold, 1955; Vol. 3, New York, Reinhold, 1962; Vol. 4, Pittsburgh, Instrument Society of America, 1972, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982.
  28. FREEZE, P. D. et PARKER, L. P. *NBS Special Publication 373*, 1972.
  29. WISE, J. A. *NBS Monograph 150*, 1976.
  30. THOMPSON, R. D. *ISA Trans.*, **7**, 1968, pp. 87-92.
  31. WEEN, S. *ISA Trans.*, **7**, 1968, pp. 93-100.
  32. CORRUCINI, R. J. *Adv. Cryogenic Eng.*, **8**, 1962, pp. 315-333.
  33. SWENSON, C. A. *Critical Reviews in Solid State Sciences*, **1**, 1970, pp. 99-136.
  34. RUBIN, L. G. *Cryogenics*, **10**, 1970, pp. 14-22.

35. RIDDLE, J. L., FURUKAWA, G. T. et PLUMB, H. H. *NBS Monograph 126*, 1973.
  36. RUSBY, R. L. *In*: Temperature Measurement 1975, London, Institute of Physics, Conference Series N° 26, 1975, pp. 125-130.
  37. SPARKS, L. L., POWELL, R. L. et HALL, W. J. *NBS Monograph 124*, 1972.
  38. POWELL, R. L., HALL, W. J., HYINK, C. H., SPARKS, L. L., BURNS, G. W., SCROGER, M. G. et PLUMB, H. H. *NBS Monograph 125*, 1974.
  39. HYDE, F. J. *Thermistors*, London, Iliffe Books, 1971.
  40. WOOD, S. D., MANGUM, B. W., FILLIBEN, J. J. et TILLET, S. B. *J. Res. Nat. Bur. Stand.*, **83**, 1978, pp. 247-264.
  41. JOHNSTON, J. S. *In*: Temperature Measurement 1975, London, Institute of Physics, Conference Series N° 26, 1975, pp. 80-90.
  42. ANDERSON, R. L. et KOLLIE, T. G. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, **6**, 1976, pp. 171-221.
  43. ROESER, W. F. et LONBERGER, S. T. *NBS Circular 590*, 1958.
  44. ASTM Special Technical Publication 470 B: «Manual on the Use of Thermocouples in Temperature Measurement», Philadelphia, American Society for Testing and Materials, 1980.
  45. BURNS, G. W. et HURST, W. S. *In*: Temperature Measurement 1975, London, Institute of Physics, Conference Series N° 26, 1975, pp. 144-161.
  46. GUILDNER, L. A. et BURNS, G. W. *High Temp.* — *High Press.*, **11**, 1979, pp. 173-192.
  47. BEDFORD, R. E. *High Temp.* — *High Press.*, **4**, 1972, pp. 241-260.
  48. KINZIE, P. A. *Thermocouple Temperature Measurement*, New York, John Wiley, 1973.
-

## ANNEXE T 4

---

### 1<sup>er</sup> Rapport du Groupe de travail 3 \*

(Traduction du Document CCT/82-41)

---

Le Groupe de travail 3 a été créé à la 13<sup>e</sup> Session du CCT; ses tâches spécifiques sont les suivantes :

A) Préparation, pour la nouvelle EIPT, des équations d'interpolation dans le domaine de température (probablement 14 K à 1 064 °C) couvert par le thermomètre à résistance de platine.

B) Choix d'une température de jonction entre le domaine du thermomètre à résistance de platine et celui du pyromètre optique.

C) Choix de points fixes dans le domaine du thermomètre à résistance de platine.

D) Choix, en liaison avec le GT4, de la limite inférieure du domaine de température dans lequel le thermomètre à résistance de platine définira l'EIPT.

E) Organisation d'une comparaison portant sur le comportement des thermomètres à résistance de platine pour la mesure des hautes températures, actuellement en cours de mise au point ou prêts à fabriquer; évaluation des résultats de cette comparaison.

F) Étude des mesures de température thermodynamique au-dessus de 14 K.

---

\* Les membres de ce Groupe de travail sont MM. L. CROVINI, Président, Istituto di Metrologia G. Colonnetti (Italie); P. B. COATES, National Physical Laboratory (Royaume-Uni); W. R. G. KEMP, CSIRO (Australie); LING SHAN KANG, Institut National de Métrologie (Rép. Pop. de Chine); J. F. SCHOOLEY, National Bureau of Standards (États-Unis d'Amérique); W. THOMAS, Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Rép. Féd. d'Allemagne).

Il s'ensuit que le présent rapport porte sur les points suivants :

- A) équations d'interpolation pour les thermomètres à résistance de platine et points fixes;
- B) déterminations des températures thermodynamiques;
- C) thermométrie par rayonnement;
- D) thermomètres à résistance de platine pour les hautes températures, leur mise au point et leur comparaison.

## **1. Interpolation des températures entre 13,8 K et 273,15 K**

Le CCT n'a jamais établi de spécification précise pour l'extrémité inférieure de la prochaine EIPT mais de temps en temps des membres de ce Comité ont exprimé certaines préférences; il faut y inclure aussi, par exemple, l'incertitude globale de la réalisation de l'EIPT et le désir d'éviter l'emploi des mesures de pression. On espère que la reproductibilité de la nouvelle échelle sera meilleure que 1 mK sur la totalité du domaine et de préférence de l'ordre de 0,2 mK au-dessous de 20 K. On devrait éviter les mesures de pression en remplaçant les points d'ébullition et les mesures de pression de vapeur par des points triples bien choisis. Les exigences importantes de la nouvelle échelle viennent de ce qu'elle doit représenter les températures thermodynamiques dans les limites d'un facteur trois de sa reproductibilité et qu'elle doit être lisse par rapport aux températures thermodynamiques. On a tenu compte de ces exigences pour élaborer le schéma présenté ci-après.

Pour le moment, il est impossible de satisfaire les exigences indiquées ci-dessus, puisque l'on ne dispose pas de données suffisantes pour spécifier la température thermodynamique des points fixes de définition entre 27,1 K et 273,15 K. On dispose de renseignements suffisants pour montrer que les valeurs assignées dans l'EIPT-68 diffèrent de la température thermodynamique de quantités allant jusqu'à 8 mK. Une situation comparable d'absence de renseignements empêche aussi d'éliminer de la nouvelle échelle toutes les mesures de pression.

On dispose de suffisamment de renseignements pour indiquer quelle forme devra prendre le processus d'interpolation lorsque l'on disposera de toute l'information nécessaire. Les recommandations suivantes sont donc faites pour constituer une base de discussions.

**1.1.** — On doit conserver le thermomètre à résistance de platine de type capsule, sous sa forme actuelle, comme instrument d'interpolation dans le domaine qui va du point triple de l'hydrogène à 273,15 K.

**1.2.** — La nouvelle échelle peut être fondée sur les points de définition suivants. Les nouvelles valeurs probables des températures sont indiquées sous le titre EIPT-XX.

Point de Référence	EIPT-XX
Point triple de l'hydrogène en équilibre (e-H <sub>2</sub> )	13,804 4
Point d'ébullition de e-H <sub>2</sub> à une pression de 33 330,6 Pa	17,037 3
Point d'ébullition de e-H <sub>2</sub> à une pression de 101 325 Pa	20,273 5
Point triple de <sup>20</sup> Ne	24,540 2
Point triple de O <sub>2</sub> * <sup>+</sup>	54,359 ?
Point triple de Ar <sup>+</sup>	83,806 ?
(Point triple de Kr) <sup>+</sup>	?
Point triple de l'eau	273,16 K

\* Les variations inattendues de la température du point triple en cellule scellée posent la question de la reproductibilité de ce point.

<sup>+</sup> Pour ces points, on a besoin de valeurs exactes à ± 1 mK près par rapport aux températures thermodynamiques.

Il faut envisager la possibilité d'ajouter à cette liste le point triple du Xe isotopiquement pur, qui peut être utile par suite d'une anomalie dans la relation entre la résistance du thermomètre à résistance de platine et la température.

Un point d'étalonnage au-dessus de 273,15 K est nécessaire pour donner une interpolation lisse à 273,15 K. On ne connaît pas à l'heure actuelle l'intervalle minimal de température entre 273,15 K et un tel point.

**1.3.** — La fonction de référence pour le domaine compris entre le point triple de e-H<sub>2</sub> et 273,15 K devra s'appuyer sur les propriétés du groupe de 35 thermomètres à résistance de platine étudiés par Ward et Compton au NPL [1, 7].

**1.4.** — La fonction d'écart  $\Delta W = W - W_{\text{ref}}$  pour la nouvelle échelle devra être du type :

$$\Delta W = a(W - 1) + b(W - 1)^2 + \sum_{i=1}^{i=5} c_i (\ln W)^i$$

où  $W_{\text{ref}}$  est la fonction de référence fondée sur les propriétés d'un seul thermomètre à résistance de platine.

Il existe de nombreux schémas possibles d'interpolation [2, 3, 4, 5, 6, 7] utilisant différentes possibilités de températures de définition. Plusieurs ne tiennent pas compte des points d'ébullition et font appel à leur place aux points triples de e-D<sub>2</sub>, du krypton ou du xénon. On a aussi utilisé la transition β-γ de O<sub>2</sub>. *Pour le moment*, on ne peut recommander aucun de ces points, car les résultats dont on dispose sont insuffisants pour les évaluer correctement ou bien il existe des difficultés de réalisation qui les rendent inutilisables.

Tout récemment, Rusby au NPL [8] a proposé un schéma d'interpolation qui fait appel à une fonction d'écart comportant six paramètres, liée aux sept points fixes, en plus du point triple de l'eau, indiqués plus haut en 1.2. Au lieu des points d'ébullition, on a proposé les

points triples du mercure et du gallium. Le point du gallium a été étudié dans plusieurs laboratoires; il a fait preuve d'une reproductibilité meilleure que 0,2 mK. Une détermination approchée, par les moindres carrés, des coefficients de la fonction d'écart est toutefois difficile à accepter, car elle donne une courbe qui ne passe pas exactement aux points fixes, bien que la « non-unicité » aux points fixes soit, en pratique, bien plus faible qu'entre les points fixes.

Au cas où le point de jonction inférieur serait relevé à 24,6 K, Rusby suggère un schéma avec une équation d'interpolation comportant quatre paramètres, avec les coefficients déterminés exactement aux quatre points fixes, c'est-à-dire aux points triples de Ne, O<sub>2</sub> et Ar, et au point d'ébullition de l'eau. Au voisinage de 30 K, cette échelle présente une « non-unicité » de 0,8 mK et des irréproductibilités de 2,4 et 1,8 mK par suite d'erreurs d'étalonnage de 1 mK aux points triples de O<sub>2</sub> et Ar, respectivement.

## 2. Équations d'interpolation au-dessus de 273,15 K

Cette section traite essentiellement des thermomètres à résistance de platine étalons, à longue tige. Elle comporte le domaine courant de 0 °C à 630,74 °C. Elle comporte aussi le domaine des températures élevées, c'est-à-dire allant jusqu'au point de congélation de l'argent ou de l'or.

Il serait souhaitable de n'avoir qu'une seule relation d'interpolation pour les thermomètres à résistance de platine, qui convienne à la totalité du domaine entre 273,15 K et le point de jonction avec le domaine de la thermométrie par rayonnement. Il serait de plus souhaitable que cette relation soit utilisable sur des parties restreintes de ce domaine. Si cette façon de faire n'est pas possible, nous recommandons de mettre au point séparément des équations d'interpolation pour les domaines de 0 à 420 °C et de 420 °C et au-dessus.

**2.1.** — A la 13<sup>e</sup> Session du CCT, il a été suggéré qu'il soit possible d'étendre l'étalonnage de ces thermomètres jusqu'au point de congélation de l'aluminium. L'expérience dont on dispose avec les thermomètres isolés au mica a toutefois montré que, même au point de l'antimoine (630,755 °C), il existe déjà de sérieuses erreurs systématiques dues à des pertes d'isolation [9]. Il semble donc souhaitable de ne conserver cette extension que comme échelle secondaire.

On dispose de résultats thermodynamiques corrects entre 0 °C et 420 °C. En revanche, on a constaté qu'aucune comparaison internationale de thermomètres dans ce domaine n'avait eu lieu depuis 23 ans (la dernière fut probablement celle de McLaren en 1958 [10]). Depuis lors, on a découvert l'effet d'oxydation et on connaît de nouveaux modèles de thermomètres étalons à résistance de platine. Le temps est peut-être venu de procéder à des comparaisons de thermomètres à résistance de platine de conception différente dans le domaine de 0 à 420 °C, à ± 0,5 mK près ou

mieux. On pourrait organiser cette comparaison en même temps que la comparaison de thermomètres à résistance de platine pour les températures élevées et elle devrait comporter quelques spécimens de ce type. Il conviendrait toutefois de bien faire la distinction entre les comportements aux températures élevées et aux températures moyennes basses.

On ne sait rien quant aux équations d'interpolation au-dessus de 420 °C. On pense que la comparaison de thermomètres à résistance de platine aux températures élevées donnerait aussi des indications utiles sur les points fixes dont on dispose et sur les températures de jonction. Le peu de résultats thermodynamiques disponibles constitue encore un autre problème.

### **3. Liste des points fixes primaires disponibles**

La liste ci-jointe est une version modifiée de celle qui a été établie à la 13<sup>e</sup> Session du CCT et qui figure dans le compte rendu. Les points fixes mentionnés sont ceux qui ont toute chance d'être choisis comme points fixes de définition dans la nouvelle EIPT, compte tenu des indications dont on dispose. Toutefois, ces points ne sont pas tous de la même qualité pour le moment. Dans le tableau, on en donne une appréciation en commentaire.

Comme éventuel critère de sélection finale, il a été suggéré qu'un point fixe de la nouvelle EIPT soit reproductible à  $\pm 0,5$  mK près ou mieux, d'un laboratoire à l'autre et d'une fois sur l'autre, et que les preuves de son comportement soient apportées. A cet égard, les comparaisons de cellules scellées fournissent des indications précieuses pour les points fixes aux basses températures.

La comparaison de cellules de gallium, qui est en cours entre l'IMGC, l'INM et le NPL, montre déjà que cette exigence est entièrement satisfaite pour le point triple du gallium.

Les points fixes aux températures élevées ( $t \geq 600$  °C) pourraient sembler ne pas être aussi reproductibles, essentiellement parce que les thermomètres à résistance de platine ne sont pas suffisamment stables à ces températures.

Nous recommandons que l'on n'autorise pas l'emploi de points fixes de définition de remplacement pour réaliser l'échelle.

### **4. Détermination des températures thermodynamiques**

#### **4.1. — Domaine de 14 K à 27 K**

Nous recommandons l'adoption de l'échelle NPL-75 pour représenter les températures thermodynamiques dans ce domaine.

#### **4.2. — Domaine de 20 K à 100 K**

Les travaux effectués par la PTB, le CSIRO et le KOL, et discutés au 6<sup>th</sup> Symposium on Temperature, portent sur les mesures dans ce domaine.



Il faut encore interpréter les résultats avant d'attribuer des températures thermodynamiques entre 20 K et 100 K.

Il est souhaitable que les températures thermodynamiques soient mesurées dans le domaine de 100 à 273 K avec une exactitude de  $\pm 1$  mK près.

#### 4.3. — Domaine de 0 °C à 1 065 °C

Il est très souhaitable d'obtenir une valeur de la température thermodynamique pour le point de congélation, soit de Sb, soit de Al, à  $\pm 10$  mK près.

Une nouvelle valeur de la température thermodynamique du point de l'antimoine ( $T - T_{68} = -0,03$  K) a été déterminée par le NPL [11] et l'IMGC [12]. L'analyse des résultats entre 440 et 630 °C par pyrométrie à comptage de photons, au NPL [11], est encore en cours. Si l'on considère comme correcte la température thermodynamique mesurée pour le point de l'antimoine, les résultats préliminaires laissent à penser que la température thermodynamique du point de l'or est inférieure d'environ 0,1 °C seulement à la valeur donnée dans l'EIPT-68.

L'expérience de pyrométrie par rayonnement total (calorimétrie), faite par Quinn et Martin au NPL, a récemment donné des résultats dans le domaine de  $-30$  °C à 90 °C. Au-dessus de 0 °C, les résultats sont en accord avec ceux de Guildner *et al.* (NBS) au thermomètre à gaz. L'incertitude estimée sur chaque point, exprimée sous forme d'un écart-type, varie entre 1 et 2 mK.

### 5. Thermométrie par rayonnement

Cette section traite de la thermométrie par rayonnement là où elle se recoupe avec la réalisation d'une échelle du thermomètre à résistance de platine aux températures élevées. Bien que l'on ne dispose d'aucun résultat actuellement, un certain nombre d'expériences sont en cours dans divers laboratoires nationaux.

Au NRLM, Ibaraki (Japon), Sakuma effectue une comparaison entre un pyromètre photoélectrique en infrarouge ( $\lambda = 1 \mu\text{m}$ ) et des thermomètres à résistance de platine, dans le domaine de température compris entre le point de l'aluminium et le point de l'argent.

Jung, à la PTB, à Berlin, a l'intention d'étudier les caractéristiques des thermomètres à résistance de platine entre le point du zinc et celui de l'or, en utilisant son pyromètre photoélectrique en infrarouge.

Au NPL, on envisage d'étendre le domaine des mesures avec le pyromètre à comptage de photons jusqu'au point de l'or et d'effectuer une comparaison avec des thermomètres à résistance de platine.

Enfin, Bonhourse, au BIPM, tente de mesurer  $T - T_{68}$  au-dessous de 630 °C.

## 6. Comparaison internationale de thermomètres à résistance de platine aux températures élevées

Les renseignements que l'on a sur la stabilité aux températures élevées des thermomètres à résistance de platine dont on dispose, laissent penser qu'une comparaison internationale est possible. En plus du NBS, l'Institut National de Métrologie [NIM] de Beijing et le National Research Laboratory of Metrology d'Ibaraki souhaitent prendre part à la comparaison internationale avec des thermomètres de leur conception.

Les thermomètres chinois (NIM) font preuve d'excellentes caractéristiques de stabilité aux températures élevées. Selon Long Guang et Tao Hongtu [13], après 455 heures à 1 070 °C, la dérive des thermomètres de 0,25  $\Omega$  est de 0,5 mK à 3,6 mK sur le  $R(0)$  par 100 heures. D'après Jung et Nubbemeyer [14], les thermomètres japonais, fabriqués par Chino Works, présentent une dérive de 3,6 mK à 12,7 mK sur  $W$  par 100 heures, au point de l'argent. Les thermomètres de 2,5  $\Omega$  du NBS présentent un changement de leur  $R(0)$  de 8 mK à 40 mK, après 400 heures à 1 100 °C.

Le NIM et le NBS sont prêts à fournir au moins trois thermomètres pour la comparaison, et nous croyons savoir qu'il en serait de même pour le NRLM. Le NIM a bien voulu fournir au CCT 20 thermomètres à résistance de platine pour les températures élevées, pour étude. Nous recommandons que ces thermomètres soient distribués par séries de deux ou trois à des laboratoires compétents, afin qu'ils en étudient les caractéristiques.

Les essais seraient faits en suivant les recommandations du laboratoire d'origine. Les laboratoires participant aux essais doivent soumettre leur programme au Groupe de travail 3. Ils devront donner les valeurs de  $R$  et de  $W$  au point triple de l'eau et à des points de congélation de métaux aussi nombreux que possible (par exemple Sn, Zn, Al, Ag, Au, Cu).

Les laboratoires d'origine doivent donner des indications sur la stabilité à long terme, les caractéristiques d'immersion et la facilité de construction. Tous les résultats devront être étudiés par le Groupe de travail 3 aussi vite que possible après leur communication, afin de choisir un point supérieur de jonction convenable et des points fixes de définition, et de solliciter des renseignements sur les méthodes d'interpolation.

On envisage que la comparaison commence tout de suite après la 14<sup>e</sup> Session du CCT.

25 mars 1982

### Bibliographie

1. WARD, S. D. et COMPTON, J. P. *Metrologia*, **15**, 1979, p. 31.
2. KIRBY, C. G., BEDFORD, R. E. et KATHNELSON, J. *Metrologia*, **11**, 1975, p. 117.
3. KEMP, R. C., BESLEY, L. M., et KEMP, W. R. G. *Metrologia*, **14**, 1978, pp. 137-142.

4. WARD, S. D., Document CCT/78-36.
  5. WARD, S. D. et RUSBY, R. L., Document CCT/80-52.
  6. KEMP, R.C., KEMP, W. R. G. et BESLEY, L. M., *Metrologia*, **17**, 1981, p. 43.
  7. KEMP, R.C. *In*: Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 155-158.
  8. RUSBY, R. L., Document CCT/82-29.
  9. BERRY, R. J. *Metrologia*, **2**, 1966, p. 80.
  10. McLAREN, E. H. *Can. J. Phys.*, **37**, 1959, p. 422.
  11. COATES, P. B., ANDREWS, J. W. et CHATTLE, M. V., Document CCT/80-27.
  12. CROVINI, L. et ACTIS, A. *Metrologia*, **14**, 1978, p. 69.
  13. LONG Guang et TAO Hongtu. *In*. : Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 783-787.
  14. JUNG, H. J. et NUBBEMAYER, H. *In* : Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 763-770.
-

## ANNEXE T 5

---

### **1<sup>er</sup> Rapport du Groupe de travail 4 \***

(Nouvelle EIPT au-dessous du domaine  
du thermomètre à résistance de platine)

(Traduction du Document CCT/82-1)

---

### **I. Introduction**

A notre avis, il existe trois types de thermomètres que l'on pourrait éventuellement utiliser comme instruments d'interpolation dans une EIPT révisée et étendue. Ce sont :

1. Le thermomètre à résistance, plus précisément à résistance de rhodium-fer (Rh-Fe), qui présenterait comme avantages : la simplicité, le faible prix de revient (en supposant que l'on dispose déjà d'un pont pour thermomètres à résistance de platine capable de fonctionner dans le domaine de 0,1 à 1 mA) et la facilité d'emploi jusqu'à 0,5 K.

2. Le thermomètre d'interpolation à gaz. C'est un instrument quasi-thermodynamique et, en principe, simple. Il suppose l'existence d'installations manométriques et deux dépenses importantes (une jauge à piston et un diaphragme); son montage n'est pas une affaire simple.

3. Le thermomètre magnétique. Les conditions d'étalonnage sont de complexité moyenne (4 points); son montage est moins onéreux que celui du thermomètre à gaz, mais il est moins à l'abri des fausses manœuvres. Toutefois, les mesures étant électriques, elles sont simples, une fois que l'appareil est monté.

---

\* Les membres de ce Groupe de travail sont : MM. R. P. HUDSON, Président, Bureau International des Poids et Mesures; M. DURIEUX, Kamerlingh Onnes Laboratorium (Pays Bas); R. L. RUSBY, National Physical Laboratory (Royaume-Uni); C. A. SWENSON, Iowa State University (États-Unis d'Amérique).

Notre étude de ces options fait jouer un rôle important à la pression de vapeur saturante de  $^3\text{He}$  ou de  $^4\text{He}$ . Une autre idée importante est que, bien que l'on puisse sous une forme appropriée donner des renseignements et des conseils pour aider les thermométristes dans le domaine inférieur à 0,5 K, il n'existe aucun problème qui nécessite l'extension d'une EIPT dans ce domaine.

## II. Remarques sur les alternatives possibles selon le domaine et l'instrument

### A. Température-limite du thermomètre à résistance de platine : 13,81 K

#### 1) *Rh-Fe* : 4,2 K à 13,81 K

##### a) *Première possibilité*

Étalonnage entre 2,2 K et 4,2 K en fonction de la pression de vapeur saturante de  $^4\text{He}$  (six points au minimum), point de transition supraconductrice ( $T_c$ ) du plomb, et thermomètre à résistance de platine entre 13,81 K et 20 K — avec également six points au minimum. Si la non-unicité de l'échelle du thermomètre à résistance de platine est de 1 mK à 17 K, à 10 K l'erreur devrait être aussi d'environ 1 mK.

L'exactitude de cette interpolation dépend aussi de l'exactitude de  $T_c$  (Pb), pour laquelle la différence entre échantillons peut s'élever à 1 mK. Une erreur de 1 mK sur le point du plomb devrait entraîner une erreur d'interpolation de 1 mK à 10 K.

Par comparaison, on peut s'attendre à ce que les erreurs provenant des mesures de pression de vapeur saturante soient petites.

D'une récente étude de 25 thermomètres Rh-Fe \*, il ressort que les interpolations du type de celles qui ont été indiquées plus haut sont exactes (par comparaison avec la courbe complète d'étalonnage) à  $\pm 1$  mK près; une part inconnue (vraisemblablement environ la moitié) est due à des erreurs sur les valeurs d'étalonnage, tandis que le reste constitue une véritable erreur d'interpolation. Toutefois, cela concerne seulement les 25 thermomètres en question et pourrait ne pas s'appliquer à des instruments construits à l'avenir.

##### b) *Deuxième possibilité*

Remplacer la plupart des points de pression de vapeur saturante par cinq points fixes supraconducteurs — en particulier, les éléments que comporte le dispositif SRM 767 du NBS — et utiliser le point  $\lambda$  et le point d'ébullition normal de  $^4\text{He}$ . A n'en pas douter cela ne constitue pas une proposition valable tant que les points fixes supraconducteurs n'ont pas acquis un véritable statut de « point fixe par nature ».

---

\* RUSBY, R. L. *In*: Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 829-833.

c) *Échelle à résistance de Rh-Fe*

Une échelle à résistance, acceptée sur le plan international et fondée sur une batterie de thermomètres en Rh-Fe étalonnée et conservée au BIPM (ou par contrat dans un laboratoire national) pour les transferts d'échelles, assurerait l'exactitude la plus haute dans les meilleures conditions d'économie, bien que cela puisse soulever des objections pour des raisons d'esthétique ou de tradition. Toutefois, les craintes qu'une échelle de ce type puisse se perdre ne sauraient constituer une objection valable, sauf à être liées au problème de fourniture des matériaux\*.

2) *Thermomètre d'interpolation à gaz : 4 K à 13,81 K*

Récemment, un thermomètre à gaz à réservoir de 1 litre, étalonné à 27 K dans l'échelle NPL-75 au moyen d'un thermomètre Rh-Fe de transfert, a été comparé<sup>+</sup> à NPL-75 en descendant jusqu'à 4 K. Dans le domaine allant de 4 K à 14 K, l'accord s'est révélé bon à  $\pm 0,25$  mK, ce qui tient compte, bien entendu, des erreurs de transfert.

On peut considérer cette expérience comme une preuve de l'unicité d'une échelle reposant sur le thermomètre d'interpolation à gaz dans ce domaine; ce thermomètre est donc, à l'évidence, supérieur au thermomètre Rh-Fe comme instrument d'interpolation (bien qu'il soit beaucoup plus complexe et coûteux).

Les spécifications possibles sont : réservoir en cuivre avec l'intérieur doré, volume 1 litre; capillaire de connexion de 1 mm de diamètre intérieur, en acier inoxydable; volume de l'espace nuisible à température ambiante  $\sim 10$  cm<sup>3</sup>; pression de remplissage  $\sim 1,3$  kPa.K<sup>-1</sup>. A utiliser avec une expression recommandée pour le coefficient du viriel  $B(T)$ .

Comme précédemment, la pression de vapeur saturante de l'hélium serait utilisée au-dessous de 4 K; ou bien on pourrait se servir du thermomètre d'interpolation à gaz jusqu'à 3 K, avec la pression de vapeur saturante de <sup>3</sup>He seulement au-dessous.

3) *Thermomètre magnétique Gd(PO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> : 4 K à 13,81 K*

Nous sommes parvenu à la conclusion qu'il serait hautement souhaitable de spécifier le matériau sensible (verre au phosphate de gadolinium). En se fondant sur les connaissances actuelles, un étalonnage en quatre points serait nécessaire en utilisant des points au voisinage de

---

\* Toutes les propositions fondées sur le thermomètre Rh-Fe sont peu sûres, pour le moment; on ne peut en effet se procurer le matériau qu'auprès d'un seul fournisseur et il n'existe pas de spécification du produit (sauf en ce qui concerne son comportement thermométrique).

<sup>+</sup> STEUR, P. P. M., VAN DIJK, J. E., MARS, J. P., TER HARMSSEL, H. and DURIEUX, M. In: *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 25-31.

2, 3 et 4 K, plus 13,81 K. Ainsi qu'il a été dit en IIA(1), on pourrait envisager les points fixes supraconducteurs, la pression de vapeur saturante, ou une combinaison des deux.

Spécifications que l'on pourrait envisager : élément sensible de  $1 \text{ cm}^3$ , inductance mutuelle  $\geq 1 \text{ mH}$ , fréquence de mesure dans le domaine de 20 à 200 Hz. L'exactitude d'interpolation n'est pas bien connue, mais elle est vraisemblablement de l'ordre de celle du thermomètre d'interpolation à gaz.

Les remarques faites en (2), au sujet de la pression de vapeur saturante de He et du domaine inférieur à 4 K (ou  $2 \text{ K}^+$ ) restent valables.

## **B. Température-limite du thermomètre à résistance de platine : 24,56 K**

### 1) *Rh-Fe* : 4,2 K à 24,56 K

Par rapport à ce qui a été dit plus haut en IIA(1), on étendrait le domaine d'étalonnage du thermomètre à résistance de platine vers le haut et l'on utiliserait les points fixes 13,81 K, 17 K et 24,56 K, plus deux ou trois points du thermomètre à résistance de platine jusqu'à 26 K.

Dans l'étude des 25 thermomètres dont il a été question plus haut, la pire erreur d'interpolation faite en utilisant ce schéma était encore de 1 mK seulement; et, à nouveau, probablement la moitié de cette erreur était en réalité due à des erreurs dans les valeurs aux points fixes (si l'on en juge par les résidus des ajustements globaux). L'effet de telles erreurs est facilement calculé en ajustant à nouveau avec des erreurs additionnelles de 1 mK à chaque point pris séparément. Ces erreurs ne décalent pas la courbe de plus de 1,1 mK au voisinage des points fixes et leurs effets sont très atténués ailleurs. L'effet des multiples erreurs est simplement la somme des composantes individuelles et les ordres de grandeur ne varient pas d'un thermomètre à l'autre.

Notons qu'une erreur de + 1 mK au point 17 K entraîne un décalage de la courbe de + 0,7 mK à 17 K et de - 0,5 mK à 10 K. Il n'y a aucune raison pour que des réalisations de ce point effectuées avec soin diffèrent de plus de 1 mK, mais au vu des différences constatées dans le passé on peut penser qu'il vaut mieux omettre le point 17 K. L'exactitude d'interpolation globale pour les 25 thermomètres n'en est pas modifiée de façon significative. Toutefois, les effets des erreurs à 7,2 K et 20,3 K sont environ 20 % plus grands, tandis qu'une erreur à 13,8 K se fait encore sentir à des températures plus élevées.

---

+ On ne pourrait pas utiliser beaucoup au-dessous de 4 K, avec seulement un étalonnage en quatre points, ce thermomètre choisi pour sa « force » et, par conséquent, son bon rapport signal/bruit en présence des interférences électromagnétiques couramment rencontrées. Un étalonnage en cinq points permettrait vraisemblablement de descendre jusqu'à 2 K.

### 2) *Thermomètre d'interpolation à gaz* : 4 K à 24,56 K

La comparaison de thermomètres à gaz entre le KOL et le NPL a fait apparaître des désaccords de l'ordre de 0,5 mK entre 14 K et 24 K, révélateurs des difficultés croissantes rencontrées avec le thermomètre à gaz au fur et à mesure que  $T$  croît (plus grand effet d'espace nuisible et chute de l'exactitude relative des mesures de pression).

Y a-t-il des compensations ? Par exemple, pourrait-on avoir de cette façon une échelle qui, dans le domaine de 14 K à 25 K, présente une unicité améliorée par rapport à ce que l'on obtient avec le thermomètre à résistance de platine actuel (ou un futur instrument de ce type) ? Vraisemblablement, oui.

### 3) *Thermomètre magnétique* : 4 K à 24,56 K

D'après nos connaissances actuelles, même un thermomètre magnétique « fort » ne fournirait pas directement un moyen satisfaisant pour résoudre les besoins d'une échelle internationale jusqu'à une température aussi élevée que 24,56 K, essentiellement à cause de pertes de sensibilité.

## C. Températures inférieures au domaine de la pression de vapeur saturante de $^3\text{He}$

Dans l'état actuel de nos connaissances, il n'est pas commode de suggérer un schéma pour le domaine inférieur à 0,5 K susceptible de demeurer assez satisfaisant au cours des quinze prochaines années environ. Toutefois, nous passerons brièvement en revue les principales options qui s'offrent actuellement, au cas où le CCT choisirait de donner des conseils sous forme de « renseignements complémentaires ». Les options se divisent en deux groupes : 1) extrapolation au-dessous de 0,5 K (par analogie avec le domaine supérieur au point de l'or) et 2) interpolation entre 0,5 K et un point fixe quelconque à une température nettement plus basse.

### 1) *Extrapolation*

#### a) *Thermomètre à résonance nucléaire en régime d'impulsions à élément de platine [ $^{195}\text{Pt}$ ]*

Nous choisissons le platine parce qu'il présente des avantages pratiques sur d'autres éléments et, de même, la résonance magnétique nucléaire en régime d'impulsions de préférence au régime continu (*voir*, par exemple, Document 80-36). Un instrument de ce genre a été étalonné au voisinage de 2 K ; son exactitude serait supérieure à  $\pm 2\%$  jusqu'à 0,1 mK, peut-être même jusqu'à une température encore inférieure. L'étalonnage par rapport à un point de pression de vapeur saturante de  $^3\text{He}$  ou un point supraconducteur au voisinage de 0,5 K devrait pouvoir se faire pour les appareils que l'on trouve actuellement dans le commerce et qui sont moins sophistiqués ; mais pour l'instant on manque d'informations valables. Ce



même instrument comporte aussi un dispositif interne d'étalonnage; mais celui-ci doit être utilisé dans le domaine de 10 mK à 20 mK et, de plus, d'autres recherches sur les propriétés du platine sont encore nécessaires avant que l'on puisse franchement le recommander. Des mises au point techniques au cours des toutes prochaines années devraient éliminer tous les soucis à cet égard; on disposera alors d'un thermomètre capable de donner des températures thermodynamiques de 1 K jusqu'à 10  $\mu$ K environ.

b) *Thermomètre magnétique à nitrate de cérium et de magnésium (CMN)*

Il peut être étalonné aussi bien dans le domaine de 1 K à 2 K que dans le domaine de 0,5 K et plus. On a besoin de deux points seulement; si l'on choisit 2,1 K et 1,2 K, une incertitude sur  $T$  de 0,25 % et 0,5 % respectivement donnera une incertitude de 0,5 % sur la température magnétique,  $T^{\blacksquare}$ , à n'importe quelle température. Ces conditions correspondent à 3 % sur la mesure de la pression de vapeur saturante de  $^3\text{He}$  aux points d'étalonnage. On peut obtenir au prorata d'autres niveaux d'incertitude.

Pour un élément sensible « normal » à poudre de CMN, on peut déduire la relation

$$T^{\blacksquare} - T = \left[ 0,16 - \frac{1,055 \text{ mK}}{T} \right] \text{mK}$$

des mesures de Wheatley *et al.*; cette relation est valable jusqu'à 2,5 mK. S'il est confirmé, ce résultat pourrait être utilisé pour corriger  $T^{\blacksquare}$  afin d'avoir  $T$ ; de toute façon, les termes correctifs sont trop faibles pour être prélevés dans le domaine de la pression de vapeur saturante de He. Une autre solution pourrait consister à considérer la correction comme donnée par  $T^{\blacksquare} - T = (0,2 \pm 0,2) \text{ mK}$  et ensuite simplement à n'en pas tenir compte; dans ce cas, l'erreur sur  $T$  (en ne tenant compte d'aucune incertitude sur  $T^{\blacksquare}$ ) descend au-dessous de 1 % lorsque  $T$  devient supérieur à 20 mK.

Pour un élément sensible sphérique monocristallin, les écarts de  $T^{\blacksquare}$  par rapport à  $T$  sont plus grands, mais on les connaît mieux. Il est difficile d'établir le contact thermique au-dessous de 30 mK; toutefois, il s'agit là d'un problème *général* aux températures inférieures à 1 K; il devrait vraisemblablement être traité dans le cadre de « renseignements complémentaires ».

2) *Interpolation*

La situation est quelque peu déconcertante, car bien que l'on dispose d'un bon instrument d'interpolation, soit avec la susceptibilité du CMN, soit avec la résonance magnétique nucléaire Pt (ou Cu) ainsi que de la possibilité de mesurer la température thermodynamique des points fixes à  $\pm 0,5 \%$  (au moyen de thermomètres à bruit ou à orientation nucléaire, ainsi que l'a montré le NBS), les points de référence disponibles que l'on

pourrait envisager pour définir l'extrémité inférieure de l'échelle de température sont, au mieux, seulement « prometteurs » pour le moment. Dans le domaine de 20 mK, on a les transitions supraconductrices du tungstène (16 mK) et du béryllium (24 mK); la purification est un problème difficile avec ces métaux; il s'ensuit que  $T_c$  varie quelque peu. On pourrait éventuellement utiliser la transition superfluide de  $^3\text{He}$  au voisinage de 2 mK, en principe, en liaison avec la résonance magnétique nucléaire  $^{195}\text{Pt}$  (mais pas avec la magnétométrie CMN), bien que vraisemblablement cela ne puisse être réellement mis en pratique si l'on tient compte des installations dont les laboratoires nationaux et les laboratoires d'étalonnage secondaires sont susceptibles de disposer. Pour être un petit peu plus optimiste et en voyant plus loin, cependant, on peut penser que les systèmes de réfrigération à 10 mK, au moins, deviendront plus nombreux; aussi ceux qui sont en faveur de l'interpolation doivent continuer à espérer que des recherches et des mises au point nouvelles amèneront la transition supraconductrice du tungstène ou du béryllium à un statut « universel »\*.

On n'a pas en vue d'autres points fixes que ceux qui ont été indiqués plus haut, jusqu'à ce que l'on atteigne le voisinage de 0,1 K où l'on trouve la transition de l'iridium (pour lequel se posent aussi des problèmes de purification); à des températures plus élevées, il y a les transitions de  $\text{AuAl}_2$  (0,160 K),  $\text{AuIn}_2$  (0,205 K) et du cadmium (0,519 K). Par conséquent, il ne paraît pas possible qu'un thermomètre d'interpolation à résistance, tel que Rh-Fe, joue un rôle notable, même si toutes les recherches actuellement en cours sur les points supraconducteurs sont couronnées de succès, car les points fixes dont on dispose seront en nombre insuffisant.

Ce qui précède tient peu compte des connaissances précises concernant la courbe de fusion de  $^3\text{He}$  qui se sont accumulées au cours des années passées. Ce phénomène hautement reproductible repose sur une base théorique solide et constitue un paramètre thermométrique dont la liaison avec la température est assez simple. Mieux encore, ce paramètre particulier — la pression de fusion — est apparemment très simple à mesurer. En conséquence, l'intérêt de ce phénomène en thermométrie est que, non content de permettre des mesures de températures thermodynamiques, il peut directement fournir un continuum de points fixes sur un large domaine (de 2 mK à 0,8 K). La courbe de fusion n'est pas non plus perturbée de façon significative par les champs magnétiques au-dessous du niveau de 0,1 T. Son principal inconvénient demeure, tout simplement, que c'est un sujet peu familier pour les scientifiques en général. Au fur et à mesure que ce phénomène sera plus connu de tous, il deviendra tout à fait possible qu'il joue un rôle appréciable dans la définition d'une échelle pour les basses températures.

---

\* Il faut noter que les dispositifs  $T_c$  dont on dispose actuellement, qui ne sont pas universels puisqu'ils sont étalonnés individuellement, peuvent être extrêmement utiles en fournissant des contrôles ponctuels.

### III. Conclusions et recommandations

1. Une échelle fondée sur des thermomètres à résistance de Rh-Fe serait très simple, très bon marché et assurerait une exactitude d'interpolation aussi élevée que possible. Ce serait le premier choix si l'on pouvait résoudre les problèmes de fourniture de matériaux et les objections d'ordre esthétique.

2. En second choix, nous recommandons un thermomètre d'interpolation à gaz. Celui-ci, quoiqu'un peu malcommode et assez onéreux, est fondamentalement simple, très « thermodynamique », commercialement indépendant et son exactitude d'interpolation est (presque) aussi élevée que possible.

3. Dans les deux cas 1 et 2, on continue à recommander l'usage des échelles de pression de vapeur de l'hélium (équations). La limite inférieure serait en principe 0,2 K, bien qu'une réalisation pratique au-dessous de 0,5 K serait difficile et sujette à erreur. A moins que le Groupe de travail 3 ne trouve qu'il soit possible d'élaborer une échelle du thermomètre à résistance de platine présentant une non-unicité de 1 mK ou moins dans le domaine compris entre 13,81 K et 24,562 K, nous proposons que la température de jonction avec le thermomètre à résistance de platine soit 24,562 K.

15 janvier 1982

---



## *Notice for the reader of the English version*

*In order to make the reports of the various Comités Consultatifs more accessible to the many readers who are more familiar with the English language than with the French, the Comité International des Poids et Mesures has decided to publish an English version of these reports. The reader must however be aware that the official report is always the French one. The English version is published for convenience only. If any matter gives rise to controversy, or if an authoritative reference is needed, the French text must be used. This applies especially to the text of the recommendations submitted to the Comité International des Poids et Mesures.*

## **Avertissement au lecteur de la version anglaise**

Afin de rendre plus facile l'accès aux rapports des divers Comités Consultatifs pour de nombreux lecteurs qui sont plus familiers avec la langue anglaise qu'avec la langue française, le Comité International des Poids et Mesures a décidé de publier une version en anglais de ces rapports. Le lecteur doit cependant prendre garde au fait que le rapport officiel est toujours celui qui est rédigé en français. La version anglaise n'est publiée que pour faciliter la lecture. Si un point quelconque soulève une discussion, ou si une référence autorisée est nécessaire, c'est toujours le texte français qui doit être utilisé. Ceci s'applique particulièrement au texte des recommandations présentées au Comité International des Poids et Mesures.



---

## HISTORICAL NOTE

---

### Organs of the Convention du Mètre BIPM, CIPM, CGPM

The Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) was set up by the Convention du Mètre signed in Paris on 20 May 1875 by seventeen States during the final session of the Diplomatic Conference of the Metre. This Convention was amended in 1921.

BIPM has its headquarters near Paris, in the grounds (43 520 m<sup>2</sup>) of the Pavillon de Breteuil (Parc de Saint-Cloud) placed at its disposal by the French Government; its upkeep is financed jointly by the Member States of the Convention du Mètre.\*

The task of BIPM is to ensure worldwide unification of physical measurements; it is responsible for :

- establishing the fundamental standards and scales for measurement of the principal physical quantities and maintaining the international prototypes;
- carrying out comparisons of national and international standards;
- ensuring the co-ordination of corresponding measuring techniques;
- carrying out and co-ordinating determinations relating to the fundamental physical constants that are involved in the above-mentioned activities.

BIPM operates under the exclusive supervision of the Comité International des Poids et Mesures (CIPM) which itself comes under the authority of the Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM).

The Conférence Générale consists of delegates from all the Member States of the Convention du Mètre and meets at present every four years. At each meeting it receives the Report of the Comité International on the work accomplished, and it is responsible for :

- discussing and instigating the arrangements required to ensure the propagation and improvement of the International System of Units (SI), which is the modern form of the metric system;
- confirming the results of new fundamental metrological determinations and the various scientific resolutions of international scope;
- adopting the important decisions concerning the organization and development of BIPM.

The Comité International consists of eighteen members each belonging to a different State; it meets at present every year. The officers of this committee issue an Annual Report on the administrative and financial position of BIPM to the Governments of the Member States of the Convention du Mètre.

The activities of BIPM, which in the beginning were limited to the measurements of length and mass and to metrological studies in relation to these quantities, have been extended to standards of measurement for electricity (1927), photometry (1937), and ionizing radiations (1960). To this end the original laboratories, built in 1876-1878, were enlarged in 1929 and two new buildings were constructed in 1963-1964 for the ionizing radiation laboratories. Some thirty physicists or technicians work in the laboratories of BIPM. They do metrological research, and also undertake measurement and certification of material standards of the above-mentioned quantities. BIPM's annual appropriation is of the order of 9 570 000 gold francs, approximately 17 400 000 French francs (in 1982).

---

\* As of 31 December 1982 forty-six States were members of this Convention : Argentina (Rep. of), Australia, Austria, Belgium, Brazil, Bulgaria, Cameroon, Canada, Chile, China (People's Rep. of), Czechoslovakia, Denmark, Dominican Republic, Egypt, Finland, France, German Democratic Rep., Germany (Federal Rep. of), Hungary, India, Indonesia, Iran, Ireland, Italy, Japan, Korea (Rep. of), Korea (Dem. People's Rep.), Mexico, Netherlands, Norway, Pakistan, Poland, Portugal, Romania, Spain, South Africa, Sweden, Switzerland, Thailand, Turkey, U.S.S.R., United Kingdom, U.S.A., Uruguay, Venezuela, Yugoslavia.

In view of the extension of the work entrusted to BIPM, CIPM has set up since 1927, under the name of *Comités Consultatifs*, bodies designed to provide it with information on matters that it refers to them for study and advice. These *Comités Consultatifs*, which may form temporary or permanent « Working Groups » to study special subjects, are responsible for co-ordinating the international work carried out in their respective fields and proposing recommendations concerning the amendments to be made to the definitions and values of units. In order to ensure worldwide uniformity in units of measurement, the *Comité International* accordingly acts directly or submits proposals for sanction by the *Conférence Générale*.

The *Comités Consultatifs* have common regulations (*Procès-Verbaux CIPM*, 1963, 31, 97). Each *Comité Consultatif*, the chairman of which is normally a member of CIPM, is composed of delegates from the major metrology laboratories and specialized institutes, a list of which is drawn up by CIPM, as well as individual members also appointed by CIPM and one representative of BIPM. These committees hold their meetings at irregular intervals; at present there are eight of them in existence :

1. The *Comité Consultatif d'Électricité* (CCE), set up in 1927.
2. The *Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie* (CCPR), new name given in 1971 to the *Comité Consultatif de Photométrie* set up in 1933 (between 1930 and 1933 the preceding committee (CCE) dealt with matters concerning Photometry).
3. The *Comité Consultatif de Thermométrie* (CCT), set up in 1937.
4. The *Comité Consultatif pour la Définition du Mètre* (CCDM), set up in 1952.
5. The *Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde* (CCDS), set up in 1956.
6. The *Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants* (CCEMRI), set up in 1958. In 1969 this committee established four sections : Section I (Measurement of X and  $\gamma$  rays, electrons) ; Section II (Measurement of radionuclides) ; Section III (Neutron measurements) ; Section IV ( $\alpha$ -energy standards). In 1975 this last section was dissolved and Section II made responsible for its field of activity.
7. The *Comité Consultatif des Unités* (CCU), set up in 1964 (this committee replaced the « Commission for the System of Units » set up by the CIPM in 1954).
8. The *Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées* (CCM), set up in 1980.

The proceedings of the *Conférence Générale*, the *Comité International*, the *Comités Consultatifs*, and the *Bureau International* are published under the auspices of the latter in the following series :

- *Comptes rendus des séances de la Conférence Générale des Poids et Mesures* ;
- *Procès-Verbaux des séances du Comité International des Poids et Mesures* ;
- *Sessions des Comités Consultatifs* ;
- *Recueil de Travaux du Bureau International des Poids et Mesures* (this collection for private distribution brings together articles published in scientific and technical journals and books, as well as certain work published in the form of duplicated reports).

From time to time BIPM publishes a report on the development of the Metric System throughout the world, entitled *Les récents progrès du Système Métrique*.

The collection of the *Travaux et Mémoires du Bureau International des Poids et Mesures* (22 volumes published between 1881 and 1966) ceased in 1966 by a decision of CIPM.

Since 1965 the international journal *Metrologia*, edited under the auspices of CIPM, has published articles on the more important work on scientific metrology carried out throughout the world, on the improvement in measuring methods and standards, on units, etc., as well as reports concerning the activities, decisions, and recommendations of the various bodies created under the *Convention du Mètre*.



AGENDA  
for the 14th Session

---

1. Designation of a rapporteur.
2. Approval of the report of the 13th Session of the CCT in 1980.
3. The 6th Temperature Symposium (Washington, D. C., March 1982).
4. Documents presented at the 14th Session of the CCT.
5. Reports of the Working Groups :
  - a) Summaries :
    1. Working Group 1.
    2. Working Group 2.
    3. Working Group 3.
    4. Working Group 4.
  - b) Discussion :
    1. Working Group 4.
    2. Working Group 2.
    3. Working Group 3.
      - (i) Interpolation below 0 °C.
      - (ii) Interpolation above 0 °C.
      - (iii) Selection of fixed points in the PRT-range.
      - (iv) The lower limit of the PRT-range.
      - (v) Thermodynamic temperatures above 14 K.
6. Discussion of the text of the monograph on Supplementary Information.
7. Discussion of the proposed monograph on Secondary Thermometry.
8. High temperature platinum resistance thermometers.
9. Differences  $T - T_{68}$ .
10. Fixed points and international comparisons.
11. The new IPTS : current status.
12. Work at the BIPM.

13. Future work of the CCT and of the Working Groups.
14. Publication of documents.
15. Miscellaneous subjects.
16. Recommendation to the CIPM.
17. Next Session of the CCT.

---

---

REPORT  
OF THE  
COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE  
(14th Session — 1982)  
TO THE  
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

by M. DURIEUX, Rapporteur

---

The 14th Session of the Comité Consultatif de Thermométrie (CCT) was held at the BIPM from March 30th to April 1st, 1982, two weeks after the 6th Symposium on Temperature in Washington, D. C. so as to take advantage of the information provided by the 182 papers given at that Symposium.

An informal meeting, with fifty people attending, was held during the Symposium to discuss the introduction of a new International Practical Temperature Scale (IPTS) as proposed by the CCT : the proposition was, in general, favourably received, but with extensive discussion as to the details.

Present at the 14th session of the CCT :

H. PRESTON-THOMAS, member of the CIPM, president of the CCT.

Delegates from the member laboratories :

Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung [ASMW],  
Berlin (H. MAAS).

Československý Metrologický Ústav [CSMU], Bratislava  
(M. BOROVICKA).

Conseil National de Recherches [NRC], Ottawa (R. E. BEDFORD).

CSIRO, Division of Applied Physics [CSIRO], Lindfield  
(W. R. G. KEMP, T. P. JONES).

Institut National de Métrologie [INM], Paris (A. MOSER, G. BONNIER).

Istituto di Metrologia G. Colonnetti [IMGC], Turin (L. CROVINI,  
F. PAVESE).

Kamerlingh Onnes Laboratorium [KOL], Leiden (M. DURIEUX).

National Bureau of Standards [NBS], Washington, D. C.  
(J. F. SCHOOLEY).

National Institute of Metrology [NIM], Beijing (LING Shankang, LI Xumo).

National Physical Laboratory [NPL], Teddington (P. B. COATES, R. L. RUSBY).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig (W. THOMAS).

Van Swinden Laboratorium [VSL], Delft (P. BLOEMBERGEN).

One of the members by appointment :

C. A. SWENSON (Ames).

The director of the BIPM (P. GIACOMO).

Also present : J. TERRIEN, director emeritus of the BIPM; T. J. QUINN, deputy director; J. BONHOURE, R. P. HUDSON and G. GIRARD, assistants to the director.

Excused : National Research Laboratory of Metrology [NRLM], Ibaraki (M. MORIMURA); F. G. BRICKWEDDE (Pennsylvania), member by appointment.

Absent : Institut de Métrologie D. I. Mendéléev [IMM], Leningrad; Institut des Mesures Physicotechniques et Radiotechniques (IMPR), Moscow.

The discussions held, the points noted, and the proposals and decisions made by the CCT are summarized as follows :

## 1. The new IPTS

Three of the four Working Groups of the CCT reported on the possible structure of the forthcoming IPTS. Progress made in thermometry in the last two years allowed the CCT to be moderately optimistic concerning the time-table set out at its last meeting, *i.e.* that a new IPTS could be proposed to the CIPM in 1986 for implementation in 1987; however, a slippage of two years would not be surprising. The following points were made :

- a) *Measurements of thermodynamic temperatures.* — These are being made by a variety of means, appropriate to the various temperature ranges, in all of the critical regions between the freezing point of gold and 4 K.
- b) *High temperature platinum resistance thermometers.* — High-temperature platinum resistance thermometers are now available from the NBS (United States), Chino Works (Japan), and the NIM (China). In particular, the Chinese delegates to the CCT brought ten thermometers with them for distribution among national standards

laboratories for testing. Seven more of these thermometers are available in Beijing and three have already been received by the NBS.

- c) *Fixed points and interpolation methods.* — Further detailed information has become available on the realization of fixed points (see 2 below) and on the accuracy available from interpolations with platinum resistance thermometers. The prospects for using rhodium-iron resistance thermometers and gas thermometers as interpolating instruments were considered in detail.
- d) *Vapour pressure of  $^4\text{He}$  and  $^3\text{He}$ .* — New vapour pressure equations for  $^4\text{He}$  and  $^3\text{He}$  have been proposed (see Recommendation to the CIPM) and it is expected that these will be used for the next IPTS.

## 2. International comparison of sealed cells

This intercomparison program, organized by IMGCC, is nearing completion although some additional comparisons have still to be made. A draft document of the results was extensively discussed.

## 3. Forthcoming publications of the CCT

- a) Working Group 1 invited final amendments and additions from members of the CCT to a document on Supplementary Information for the IPTS-68 and EPT-76. It is expected that the document will be published by the BIPM by the beginning of 1983. This document will be revised periodically: in particular, it will be amended at the time of the introduction of a new IPTS.
- b) The CCT took notice of the considerable efforts of Working Group 2 in making a compilation of best values for secondary reference points and of a bibliography relating to secondary temperature measurements. It is hoped that a first draft of a document related to secondary thermometric techniques will be ready for consideration by the CCT at its next session.
- c) The present report, a detailed report of the 14th Session of the CCT, and the reports of the four Working Groups will be published in French (official text) and in English in *Comité Consultatif de Thermométrie*, 14th Session, 1982.

## 4. Miscellaneous

The proposed general format of the next version of the IPTS was delineated in greater detail: this will be incorporated in a new version (B)

of an IPTS text that will be distributed to CCT members for their consideration and comments before the end of 1982; a further version (C) will be available some months before the 1984 session of the CCT.

It was suggested, and generally approved, that consideration be given to deleting the word «practical» from the title of the next IPTS, or substituting some more appropriate word. The initial intention when «practical» was added in 1960 was to distinguish numerical temperature values given by the ITS from the (ideal but inaccessible) corresponding thermodynamic temperatures; unfortunately, the word has instead come to be taken as indicating that the scale can be easily realized.

A number of new tasks were assigned to the four Working Groups; however, the membership of these groups and their terms of reference remained unchanged.

The probable date (1987 to 1989) for a new IPTS should be brought to the attention of interested bodies, *e.g.*, those responsible for producing critical tables of temperature-dependent quantities, as soon as practicable\*.

The date of the next session will be in late May or early June, 1984.

June 1982

---

\* This was not, in fact, discussed during the session, but later. It is included in the present report with the unanimous consent of the members of the CCT.

**Recommendation  
of the  
Comité Consultatif de Thermométrie  
submitted to the  
Comité International des Poids et Mesures**

Helium vapour pressure scales

RECOMMENDATION T 1 (1982)

The Comité Consultatif de Thermométrie,

*considering*

— that, at the time of the adoption of EPT-76, work was in progress to determine the equations relating the saturation vapour pressure of  $^3\text{He}$  and  $^4\text{He}$  to  $T_{76}$ ,

— that this work has been completed and new equations published,

— that these new equations have been approved at the 14th Session of the CCT,

*recommends*

— that the equations in the appendix (below) be used to express the saturation vapour pressure of  $^3\text{He}$  and of  $^4\text{He}$  as functions of  $T_{76}$ ;

— that these same equations be used to obtain  $T_{76}$  starting from the saturation vapour pressure of helium, in place of the method indicated in the text of Table 3 of EPT-76, which refers to the scales for  $^4\text{He}$  (1958) and  $^3\text{He}$  (1962).

---

Appendix to Recommendation T 1 (1982)

1)  $^3\text{He}$  between 0.5 K et 3.3162 K :

$$\ln (P/\text{Pa}) = \sum_{k=-1}^n a_k T_{76}^k + b \ln (T_{76}/\text{K})$$

This equation is valid between 0.5 K and 0.2 K with  $T_{76}$  replaced by  $T$ .

2)  $^4\text{He}$  between 0.5 K et 2.1768 K ( $\lambda$  point) :

$$\ln (P/\text{Pa}) = \sum_{k=-1}^n a_k T_{76}^k$$

3)  $^4\text{He}$  between 2.1768 K and the critical temperature  $T_c = 5.1953$  K

$$\ln (P/\text{Pa}) = \sum_{k=-1}^n a_k (T_{76}/T_c)^k + b(1 - T_{76}/T_c)^{1.9}$$

The coefficients  $a_k$  and  $b$  of these equations are given in the tables below.

<sup>3</sup>He between 0.5 K and 3.3162 K

$$\begin{aligned} a_{-1} &= -2.509\ 43\ \text{K} \\ a_0 &= 9.708\ 76 \\ a_1 &= -0.304\ 433\ \text{K}^{-1} \\ a_2 &= 0.210\ 429\ \text{K}^{-2} \\ a_3 &= -0.054\ 514\ 5\ \text{K}^{-3} \\ a_4 &= 0.005\ 606\ 7\ \text{K}^{-4} \\ b &= 2.254\ 84 \end{aligned}$$

<sup>4</sup>He between 0.5 K and 2.1768 K    <sup>4</sup>He between 2.1768 K and 5.1953 K

$$\begin{array}{ll} a_{-1} = -7.418\ 16\ \text{K} & a_{-1} = -30.932\ 85 \\ a_0 = 5.421\ 28 & a_0 = 392.473\ 61 \\ a_1 = 9.903\ 203\ \text{K}^{-1} & a_1 = -2\ 328.045\ 87 \\ a_2 = -9.617\ 095\ \text{K}^{-2} & a_2 = 8\ 111.303\ 47 \\ a_3 = 6.804\ 602\ \text{K}^{-3} & a_3 = -17\ 809.809\ 01 \\ a_4 = -3.015\ 460\ 6\ \text{K}^{-4} & a_4 = 25\ 766.527\ 47 \\ a_5 = 0.746\ 135\ 7\ \text{K}^{-5} & a_5 = -24\ 601.4 \\ a_6 = -0.079\ 179\ 1\ \text{K}^{-6} & a_6 = 14\ 944.651\ 42 \\ & a_7 = -5\ 240.365\ 18 \\ & a_8 = 807.931\ 68 \\ & b = 14.533\ 33 \end{array}$$

---



## **Minutes of the Meeting**

---

The President welcomes all members and delegates, in particular Mr. Li from the National Institute of Metrology in Beijing, Mr. Jones from the CSIRO in Australia, and Mr. Borovicka from Czechoslovakia who attend for the first time, and Mr. Hudson in his new role as a member of the BIPM staff and as Editor of *Metrologia*.

English is chosen as the working language.

### **1. Designation of a rapporteur**

Mr. Durieux is appointed as rapporteur.

### **2. Report of the 13th Session of the CCT in 1980**

The minutes of the 13th Session are approved.

### **3. The 6th Temperature Symposium (Washington, D. C., March 1982)**

The President calls for discussion of papers presented at the 6th Temperature Symposium that are especially relevant to the work of the CCT.

Mr. Schooley reports on the Symposium held in Washington, D. C., March 15-18, 1982. The keynote address by R. P. Hudson was followed by about 180 20-minute presentations distributed over 32 sessions, with as many as four sessions in parallel. The Symposium proceedings will be published by the American Institute of Physics from camera-ready manuscripts, distribution of the two-part volume being expected by September 1982. There was also an exhibit by some 80 manufacturers of thermometric instruments and a tour of the National Bureau of Standards laboratories by more than 100 of the nearly 500 Symposium participants.

The President remarks that the national standards laboratories were well represented at the Symposium and asks if the same was true for industrial thermometrists. Mr. Schooley replies that manufacturers of thermometers were well represented but industrial users not as well as was hoped.

Mr. Crovini asks if NBS has considered the possibility of holding more frequent temperature symposia, perhaps every five years, with the emphasis alternating between standards and applications. Mr. Schooley remarks that the Symposium Committee did not consider this possibility; he suggests that meetings of other societies (e.g. the Instrument Society of America) include enough sessions on practical thermometry to meet this demand. Mr. Thomas and Mr. Hudson remark that the idea has been considered in the past and considered undesirable. At that time, the representatives of the Instrument Society of America and the Physical Society strongly opposed the idea of making a separation between fundamental and applied thermometry. Mr. Quinn supports this view.

The President asks Mr. Schooley if comments were received from the industrial sector regarding the proposed revision of the IPTS. Mr. Schooley answers that no negative comments were received. He also remarks that the users of thermometry expressed considerable interest in the Symposium and appreciation to the sponsoring agencies.

#### **4. Documents presented at the 14th Session of the CCT**

The President calls for the identification of documents that are particularly relevant to items on the agenda. Many documents are so identified and discussion will be included with the appropriate agenda items.

#### **5. Reports of the Working Groups**

##### *a. Summaries*

##### **1. Working Group 1**

The President, as Chairman of WG1, summarizes the report of WG1 which consists of two parts: a draft outline of the text of a revised IPTS and a proposed text of the Supplementary Information to the IPTS.

Regarding the first part, the President mentions the following points:

The revised IPTS will be required to be numerically different from the IPTS-68 if it is to conform with thermodynamic temperatures. WG1 proposes that the lower limit of the platinum resistance thermometer range be 24.6 K. It recommends that the upper limit of the platinum resistance thermometer range be the freezing point of gold, subject to the availability of suitable thermometers; failing this, it recommends that the freezing point of silver be the upper limit: WG1 assumes that a revised IPTS will not be implemented until satisfactory platinum thermometers for use up to at least the silver point are available. WG1 recommends that interpolation equations for the platinum resistance thermometer be determined by least squares procedures, together with enough defining fixed points to allow for

sufficient redundancy in the least squares fitting and to facilitate calibration in restricted temperature ranges. A gas thermometer calibrated at 24.6 K and 4.2 K is recommended for interpolation between these temperatures, the expectation being that in practice the scale in this range will be maintained in most cases with calibrated rhodium-iron thermometers. Below 4.2 K, vapour pressure-temperature relations for  $^4\text{He}$  and  $^3\text{He}$ , with a lower limit for the IPTS of 0.5 K, are recommended.

Regarding the monograph on Supplementary Information, version F has already been distributed to the CCT. WG1 asks for any proposed changes or additions to be submitted in writing before June 1982, at which time WG1 will prepare what is hoped to be the final version. This version will be circulated to the CCT for final approval. Any small changes will be incorporated before October and the final version will be published by the BIPM shortly thereafter\*.

Mr. Kemp points out that version F was circulated too late to allow for detailed reading before the present session of the CCT. He expects that a substantial number of written suggestions for revision will be submitted to WG1 by CSIRO within a few weeks.

## 2. Working Group 2

The Chairman, Mr. Bedford, summarizes the work of WG2 which consists of two parts: a continuation of the reviewing of secondary reference temperatures and the preparation of a first draft of a document describing good thermometric practice directed at secondary techniques.

The report of WG2 contains a list of 15 reference points which is supplementary to the list published in *Metrologia*, **13**, 1977, pp. 197-206 and to the additional list given in the 1980 WG2 report. This new list shows continued consistency of results for the triple points of argon and gallium and the freezing point of copper. WG2 recommends that the value of the triple point of deuterium that was included in its 1980 list be deleted in view of the recent unresolved discrepancies in measured deuterium triple point values. It recommends that more measurements of the freezing point of palladium be undertaken, since this point is very important for the calibration of high temperature thermocouples; Mr. Bedford acknowledges the work currently in progress at NPL on the palladium point. The agreement of the value of the palladium point, determined by high-speed pyrometric techniques (included in the new list), with values measured by standard methods lends confidence to values given for radiance temperatures obtained by the high-speed pyrometric techniques, even though the quoted uncertainties are large. Mr. Coates remarks that inclusion of this particular measurement of the palladium point is confusing because it differs (by 1 K) from previously listed, more accurate values and its associated uncertainty is ten times worse.

---

\* *Note added in proof*: In January 1983 a final version, I, was submitted to the CCT members for approval.

Regarding the document on good thermometric practice, Mr. Bedford apologizes that, due to lack of time, a first draft has not yet been prepared. Furthermore, WG2 asks for more specific instructions from the CCT as to the material that should be included in this document. The WG2 report contains a list of topics that might be included, together with an extensive list of review papers that are already available.

### 3. Working Group 3

The Chairman, Mr. Crovini, summarizes the report of WG3, emphasizing that several of its recommendations differ from those of WG1. WG3 proposes that the lower limit of the platinum resistance thermometer range be 13.8 K. The work of R. C. Kemp (document 82-21) suggests that with this limit and a suitable interpolation equation, a scale uniqueness of  $\pm 1$  mK above 20 K and, possibly,  $\pm 0.2$  mK below 20 K, can be obtained. Further, WG3 proposes that the capsule platinum resistance thermometer be the defining instrument below 273 K and the long-stem thermometer above this temperature. WG3 opposes the use of least-squares procedures for determining the interpolation equations because this may lead to greater ambiguity in the scale. Regarding the proposal of Rusby for interpolation above 24.6 K (document 82-3), which does not involve a least-squares method, Mr. Crovini remarks that this is less accurate than the method proposed by Mr. Kemp. WG3 was unable to propose an interpolation scheme for the platinum resistance thermometer (PRT) above 273 K because of lack of data on the  $R$  vs  $T$  behaviour of high-temperature platinum resistance thermometers (HTPRT). WG3 prefers that in this range a single interpolating equation be developed for the PRT in such a form that it can be used within restricted parts of the range; failing this, WG3 envisages splitting the range into two parts so that not every thermometer need be calibrated above the zinc point. This choice of the upper limit for the PRT range must await more information on HTPRT's; WG3 hopes that such information will come from studies with the thermometers that have been provided by NIM.

WG3 provided a table of possible defining fixed points, with comments on their reproducibilities. WG3 would like any point chosen below 500 °C to exhibit a reproducibility better than 0.5 mK. It believes that in the range 4 K to 27 K the NPL-75 scale is the best representation of thermodynamic temperatures. From 27 K to 273 K measurements at CSIRO, KOL, and PTB exhibit a good degree of agreement but none of these measurements has yet been completed. In the range above 0 °C no new gas thermometer results are yet available from NBS. Quinn and Martin at NPL have obtained results with a total radiation method from  $-30$  °C to 90 °C; in the region of overlap these results differ slightly (by up to 4 mK at 85 °C) from the NBS gas thermometer results. Above 600 °C the uncertainties of thermodynamic temperature measurements at present available are between 0.1 K and 0.3 K. Several laboratories plan to compare the radiation thermometer scale with the PRT-scale in the range from 600 °C to 1 064 °C.

#### 4. Working Group 4

The Chairman, Mr. Hudson, gives a résumé of the report of WG4.

At the outset WG4 saw its task as having three parts : (1) to determine, in collaboration with WG3, a lower limit for the PRT range; (2) to find the best means for bridging the gap between 5 K and 14 K and to set a lower limit for that procedure; and (3) to consider the possibilities for extending the scale below that point. WG4 did not succeed in generating a dialogue for the first part; the work was pursued by considering separately each of the two most obvious choices, viz., the e-H<sub>2</sub> triple point at 13.8 K and the Ne triple point at 24.6 K. The great utility plus the long-standing and wide use of the He vapour pressure scales (document 82-2) strongly favour their retention for part of the scale. The WG recommends accordingly; the suggested lower limit of 0.5 K is rather arbitrary.

For temperatures below 0.5 K, several possibilities arise and these are discussed in the report (document 82-1). At this time, however, the overall situation is such that WG4 cannot make a firm recommendation that seems likely to remain the most satisfactory one for, say, the next twenty years.

To proceed above the liquid He region, three major thermometric candidates present themselves : the magnetic, the rhodium-iron resistance, and the interpolating gas thermometers. Because of the limited sensitivity of the PRT near 13.8 K and the necessity of introducing three extra defining points if the PRT is to be used down to this temperature, WG4's preference is that 24.6 K be the lower limit of the PRT-range. In that case, the magnetic thermometer is not desirable as an interpolation instrument below the PRT-range because of lack of sensitivity. A wire scale based on calibrated rhodium-iron resistance thermometers would constitute a very reproducible and easy-to-realize scale but has the disadvantage that it cannot be realized independently of a set of calibrated thermometers.

Regarding the two mentioned interpolating thermometers, these are thought to be comparable in reproducibility. However, certain modest operational advantages of the Rh-Fe thermometer are felt to be outweighed by its requirements of a rather large number of fixed points and by the problem of the supply of the sensor material. Therefore, WG4 suggests the use of the interpolation gas thermometer for the definition of the new IPTS between 4.2 K and 24.6 K.

#### b. Discussion

##### 1. Working Group 4

Mr. Coates asks for a clarification of the rejection of the magnetic thermometer as an interpolating instrument. Mr. Hudson replies that if the upper limit of its range is to be 13.8 K, the magnetic thermometer should be actively considered. If, however, 24.6 K is chosen as the upper limit, the magnetic thermometer as the interpolation instrument becomes less desirable than the gas thermometer or the Rh-Fe resistance thermometer

because the precision of the magnetic thermometer become less at the higher temperatures. This is due to, *e.g.*, AC pick-up in magnetic measurements as well as the natural consequences of the Curie law.

Mr. Rusby remarks that, in principle, the Rh-Fe resistance thermometer can be used otherwise than to define a wire scale; it can also be used as an interpolating device between fixed points, *e.g.* with an uncertainty of about 1 mK between 4.2 K and 24.6 K. To a question of the President as to how this compares with WG3's statement that an uncertainty of  $\pm 0.2$  mK between 13.8 K and 20 K is possible when using a PRT as the interpolating instrument, Mr. Rusby answers that in his opinion the fixed points themselves in this range are not likely to be realized with that accuracy.

Mr. Schooley remarks that, whereas for the superconducting reference points in the SRM 767 device a reproducibility of  $\pm 1$  mK between samples was chosen as an easily obtainable goal at the time these devices were introduced, work now in progress at NBS on the transition point of Pb and on its dependence on the width of the transition suggests that a reproducibility of  $\pm 0.1$  mK to  $\pm 0.2$  mK between samples is within reach.

Mr. Rusby says that this has no relevance for the interpolating gas thermometer but might be very relevant for the use of the Rh-Fe resistance thermometer as an interpolating instrument since, in the latter case, a great deal of the non-uniqueness between 4.2 K and 13.8 K arises from the lack of a reproducible fixed point in this range. The President emphasizes that if the IPTS is to be defined in terms of an interpolating gas thermometer, it would be routinely realized in terms of calibrated Rh-Fe resistance thermometers and so a reproducible Pb point would be extremely valuable as a check-point.

Mr. Hudson poses the general question whether a fixed point on an IPTS should be defined by an artifact (*e.g.* the Pb point in terms of the NBS SRM 767 device) or whether it should be defined by a general specification (*e.g.* a Pb sample of specified purity and preparation). The President answers that in his opinion a definition of a fixed point in terms of an artifact is equivalent to a definition of a scale in terms of a wire scale. If the artifact or the thermometers upon which the wire scale would be based are lost, the scale cannot be reconstituted. If, on the other hand, a scale is based upon an interpolating gas thermometer, it can be reconstituted at any time.

Mr. Schooley, referring to the statement in document 82-43 from NBS, item 11-5, «there must exist a reliable recipe by which a skilled thermometrist can realize the transition (on which the fixed point is based) at essentially the identical temperature exhibited by all other similarly-prepared devices», remarks that he would be perfectly happy to undertake the refinement of the superconducting reference points, in particular as regards isotopic effects and the influence of annealing of the samples. He suggests that, apart from other possibilities, a magnetic scale between 13.8 K and, say, 15 mK would be possible.

Mr. Hudson remarks that this touches upon another important general item : does the CCT want to allow alternative realizations of an IPTS. The President comments that this has been avoided up to now except in the EPT-76.

Mr. Quinn, commenting on the question of whether the IPTS between 24.6 K and 4.2 K should be based on a Rh-Fe wire scale or on the interpolating gas thermometer, remarks that the CCT has had for many years a love-hate relation with wire scales. The proposal to define the new scale below 24.6 K in terms of an interpolating gas thermometer has the outstanding advantage that it is based on a thermodynamic instrument. The gas thermometer, however, would probably be set up relatively rarely; in most cases the scale would be maintained in terms of calibrated resistance thermometers. This seems to give the best of two worlds : a well defined scale and simplicity in practice.

Mr. Schooley remarks that the definition of an IPTS need not be as practical as it should be precise, in other words that the scale should be precisely defined even if this causes the realization to become less easy in practice. He suggests, however, that in order to avoid confusion the word « practical » be deleted from the title of the scale, and also that the CCT give status to wire scales, or other secondary scales, for the benefit of those laboratories who use them.

The President makes a comparison with the new definition of the metre in terms of the speed of light. Only very few laboratories, even national standards laboratories, will actually determine length according to this definition. Mr. Quinn and Mr. Schooley agree that the IPTS-68 itself is realized over its entire range only in very few of the national standards laboratories.

In connection with Mr. Schooley's comment, the President remarks that the word « practical » was introduced in the revision of the ITS-48 in 1960 in order to distinguish between the IPTS and theoretical thermodynamic temperatures.

Mr. Crovini says that, in his opinion, the comparison with the realization of the metre in terms of the speed of light is not applicable because in the IPTS we are not talking about basic units. An IPTS is for realization and dissemination and should be reproducible in national standards laboratories. Mr. Crovini suggests that the word « practical » be left in the title of IPTS and should mean that the scale is based on practical and reproducible instruments.

Mr. Quinn comments that the IPTS was introduced for two reasons : one was that thermodynamic temperature measurements are very complicated, but the other, even more essential, was that instruments such as the PRT give more reproducible temperatures than the thermodynamic instruments.

Mr. Hudson and the President propose that this discussion on general principles of the scale may be taken up later.

Mr. Kemp remarks that, with modern equipment, an interpolating gas

thermometer is much easier to build than most people realize. The cost of pressure-measuring instruments is not outrageous and the rest of the equipment is usually made in a laboratory workshop.

With regard to the choice between the three interpolating instruments for the range 4.2 K to 13.8 K or 24.6 K, Mr. Coates wishes that the one which will give the most precise scale be chosen. Mr. Durieux says that for the interpolating gas thermometer the spread between realizations of the scale would be about 0.3 mK between 4.2 K and 13.8 K or 0.5 mK between 4.2 K and 24.6 K.

Mr. Schooley, referring once more to document 82-43 from NBS, suggests that the IPTS be extended from 0.5 K to 15 mK by using a magnetic (cerium magnesium nitrate) thermometer. He adds that there is considerable interest in a scale in this range that would be better than that achieved by ad hoc extrapolation of the helium vapour pressure scales. Mr. Schooley estimates that such a magnetic extension of the scale could have a reproducibility of 0.1 mK to 0.2 mK and also the thermodynamic accuracy could be of that order.

The President explains the philosophy of WG1 in choosing a lower limit of 0.5 K for the IPTS; it is always relatively easy to add something to the scale later, but it would be highly undesirable to have to correct the scale in parts of the range where it has, perhaps, been wrongly defined.

Mr. Hudson agrees with Mr. Schooley that an electronic paramagnetic thermometer below 0.5 K can have good sensitivity; indeed, it is possible to obtain  $\mu\text{K}$  sensitivity. He summarizes briefly the current state of affairs in this region: the relation between the magnetic temperature obtained with a cerium magnesium nitrate single crystal and thermodynamic temperatures has been examined down to a fraction of a millikelvin; single crystals have severe limitations as practical thermometers, however. With some practical advantages and some minor drawbacks, one may alternatively use cerium magnesium nitrate powder; one can extrapolate from the helium range to obtain the « magnetic temperature »  $T^{\text{M}}$ , and convert this to  $T$  by making small adjustments at the very lowest temperatures. A value of  $T$  so obtained should, normally, be accurate to the worse of 0.5 % or 0.3 mK, down to 0.002 K. Error-producing defects in one's cryostat might best be detected by using CMN to interpolate between fixed points. However, there is not yet sufficient information on the reproducibility of the low temperature superconducting fixed points. Thermometers based on nuclear paramagnetism are not yet truly « practical » but will surely become so in the very near future; the  $\gamma$ -ray thermometer and the noise thermometer, though primary, generally are not practical. Mr. Hudson concludes by saying that WG4 thought it was not yet in a position to make a firm recommendation for the range below 0.5 K that could reasonably be expected to be valid for 20 years or more.

Mr. Schooley realizes that NBS is the major proponent of an extension of the scale below 0.5 K and accepts that it is the responsibility of NBS to demonstrate that it can indeed be done in a satisfactory way.



Returning to the range above 13.8 K, Mr. Kemp remarks that discussions at the 6th Temperature Symposium and reports on the intercomparison of sealed triple point cells have indicated that it may be necessary to specify the way in which fixed points should be realized.

Coming back to the President's comparison of the realization of a temperature scale with the realization of the metre, Mr. Terrien remarks that the IPTS could better be compared with the realization of the volt by means of the Josephson effect. The President gives qualified agreement to this, pointing out that the Josephson volt can readily be realized in national standards laboratories, whereas the realization of the metre according to the new definition is so difficult that one has in practice to look at a variety of levels of reproducibilities. In this respect it is comparable to the situation in temperature measurements.

Mr. Swenson and Mr. Schooley repeat that more work on the superconducting reference points should be done, possibly an international comparison of specimens from different sources.

Mr. Rusby, returning to the consideration of an interpolating gas thermometer, remarks that whereas Mr. Berry was, perhaps, very pessimistic in his statement at the 6th Temperature Symposium, suggesting that differences between laboratories of the order of 2 mK to 5 mK could occur, he believes that a spread between laboratories of about 1 mK should be expected when interpolating between 4.2 K and 24.6 K. Mr. Berry's further opinion, which Mr. Rusby shares to some extent, is that if the definition of the IPTS in terms of the interpolating gas thermometer is just a means of providing a wire scale, this is something of a deception. Mr. Swenson points out that the dielectric constant gas thermometer of Gagan and Michel agrees with NPL-75 to better than 1 mK.

Mr. Rusby feels that if the PRT were to continue as the defining instrument down to 13.8 K, the gap from 4.2 K to 13.8 K would be relatively narrow for introducing such a cumbersome instrument as the gas thermometer. In this case he wonders whether one might not be tempted to live a little more dangerously and use the Rh-Fe resistance thermometer as an interpolating device. It would then be advisable that these thermometers become available from more than one source (Tinsley) and, in this connection, Mr. Rusby asks whether Rh-Fe resistance thermometers are still being made in China. Mr. Ling replies that they are not.

Mr. Schooley adds to Mr. Rusby's remark that, in his opinion, a high precision could be obtained by using a magnetic scale below 13.8 K with two different salts, one for the higher and one for the lower temperatures, calibrated at superconducting reference points and at the triple point of e-H<sub>2</sub>.

## 2. Working Group 2

Mr. Bedford asks that discussion first be directed to the portion of the WG2 report dealing with secondary reference points (SRP's). Mr. Crovini

asks about the role of SRP's in the revised IPTS. Will a table equivalent to the present Table 6 be included or will it be incorporated in the Supplementary Information? Mr. Bedford suggests the latter as does the President. Mr. Crovini agrees and strongly suggests that a list of references to the original publications be included to assist anyone planning to realize an SRP. Mr. Quinn asks if WG2 intends to provide recommended values for the SRP's. Since this would involve enlarging the task of WG2, the President suggests that this matter be raised again under agenda item 13.

Mr. Bedford raises the question, held over from the 13th Session of the CCT, of whether and how a revised list of SRP's together with an assessment of accuracies should be published. The President feels that it will be undesirable to have too many publications and that such a list should be included in the WG2 monograph on secondary techniques where it is amenable to periodical updating, say about every four years. Mr. Schooley, on the other hand, points out that he has frequently been asked for such information regarding SRP's and wonders if a separate publication might be more advisable, perhaps in *Metrologia*. He also recommends that the list include both recommended values and an assessment of the accuracies of these values.

Mr. Pavese questions the use of the word « secondary » to describe the reference points. He asks what it means, how these points are to be used, and what criteria are used to determine their presence in the list. He feels there is confusion for the users because the status of the SRP's is not clear. Similar lists are compiled by other organizations. Mr. Bedford replies that WG2 attempted to establish criteria several years ago but these seemed not to have been wholly successful. Mr. Thomas points out that the concept of secondary realizations of the IPTS was introduced in previous sessions and that SRP's will be of importance for such realizations. Mr. Schooley agrees, and stresses the particular importance of guidelines which give the accuracy with respect to the IPTS of secondary realizations by means of thermocouples. In addition, the material in the Supplementary Information on thermocouples should be reproduced in the WG2 monograph. He also suggests that a « secondary » point be defined as any point that is not a defining point of the IPTS, and that suggestions for their use be provided by the CCT. Mr. Bedford in reply points out that the accuracy of secondary realizations using thermocouples was discussed in the 1980 report of WG2.

The President summarizes by suggesting that the SRP's may eventually be classified into various categories depending on their reproducibilities, and that they are going to be extremely important; he urges WG2 to try to assess these reproducibilities and to give recommended values for the SRP's.

The President then opens the discussion to the second part of the WG2 task — the monograph on secondary techniques. His opinion is that the document is meant to be useful to all people concerned with temperature measurements from moderate accuracy up to an accuracy approaching that

of the IPTS itself. In reply to an earlier question of Mr. Bedford as to whether this was necessary in view of the availability of assorted similar documents and books, he believes that it would be an extremely useful contribution, in particular because it can be periodically updated by the CCT. Mr. Coates points out that, in addition to this, the WG2 publication would give, and should place special emphasis on, approved procedures for secondary realizations of the IPTS that would not appear elsewhere. Mr. Jones comments that the CCT is asking WG2 « to perform a massive task ». There are several suggestions from the members as to how WG2 can proceed: Mr. Coates recommends that initially only a few areas be considered; Mr. Schooley suggests that a complete table of contents be included even if several of the topics are not discussed in early drafts; Mr. Crovini says that available information can be summarized and recommendations given, together with references to the original work and that, as with the SRP's, the accuracies of secondary realizations should be assessed or at least categorized.

Mr. Bedford asks if there should be additions to or deletions from the topics suggested for inclusion by WG2. Mr. Crovini recommends that special attention be paid to the numerous contributions to industrial platinum resistance thermometry that were presented at the 6th Temperature Symposium. Mr. Coates suggests that a clear distinction be drawn between secondary realizations and calibrations, and that the latter be excluded from the monograph. In reply to a question of Mr. Bedford as to the difference between them, Mr. Coates replies that a calibration is in terms of a thermometer which is traceable to the IPTS (either by fixed points or by a comparison) whereas a secondary realization involves only the use of fixed points. For example, liquid-in-glass thermometers are always *calibrated* (by comparison) and so need not be discussed in the monograph. Mr. Schooley disagrees with such an exclusion, expressing the opinion that liquid-in-glass thermometers are so widely used that recommendations for their proper use should be included. The President concurs. There follows considerable discussion among the members on the question of whether the subject of liquid-in-glass thermometry should be addressed by WG2.

The President suggests finally that WG2 use the information provided to make its own assessment. He asks that a first draft of the WG2 document be presented at the next session of the CCT, and hopes a final edition will be available by 1987. Further discussion of the WG2 report is withheld until agenda item 7.

### 3. Working Group 3

#### (i) *Interpolation below 0 °C*

Mr. Rusby starts the discussion by saying that he supports the approach of WG3 that the PRT-range of the new IPTS should have single

specified definitions below  $0^{\circ}\text{C}$  and above  $0^{\circ}\text{C}$ . In his opinion, the question of the lower limit of the PRT is still an open one. Further, Mr. Rusby points out that, below  $0^{\circ}\text{C}$ , a least-squares method for deriving the interpolation equations rather than the exact method, proposed by WG3, should be considered because the results of the exact method are very sensitive to errors at the fixed points.

The President remarks that in the WG1 report least-squares fitting, which gives automatically a check on the fixed point realizations, is recommended. Mr. Kemp points out that such checks could be made anyhow; he feels that there is not much difference in reproducibility between the exact and the least-squares methods. Mr. Rusby holds to his opinion that least-squares fitting, with weighting of the data according to the inverse of the sensitivity of the PRT, would decrease the influence of errors at the fixed points by a factor of two. He and Mr. Kemp will clarify this matter privately (much of the information is given in document 82-3 from NPL, document 82-21 from CSIRO, and two graphs distributed by Mr. Kemp which show the non-uniqueness for various interpolation procedures).

The President suggests that the uniqueness could be improved by putting further restraints on the quality of the thermometers.

Mr. Bedford states that both Mr. Kemp and Mr. Rusby apparently make no provision in their calibration schemes for using a thermometer between 273 K and 90 K without calibrations at lower temperatures. Mr. Crovini replies that primary calibrations in restricted ranges were considered in the first draft of the WG3 report but they were dropped later because they would decrease the reproducibility of the scale. Calibrations restricted to the range from 90 K to 273 K would fall into the category of secondary realizations of the scale, which would really be sufficient for the use of long-stem thermometers in this range. In its report, WG3 avoided multiple definitions of the scale. Mr. Kemp, Mr. Rusby, and Mr. Coates agree with the opinion expressed by Mr. Crovini, but Mr. Bedford mentions that in an NRC paper of several years ago a method was suggested by which a primary calibration in a restricted temperature range was possible without degrading the scale.

Mr. Quinn remarks that the interpolation scheme 3 in document 82-3 of Mr. Rusby, in which only three low-temperature fixed points (the triple points of Ne,  $\text{O}_2$ , and Ar) and the triple and boiling points of water are used for obtaining the calibration between 24.6 K and 273 K, gives astonishingly small irreproducibilities at 30 K (among 35 thermometers a maximum difference of  $\pm 0.8$  mK and an average difference of  $\pm 0.3$  mK) and asks whether the differences are as small at the higher temperatures. Mr. Rusby thinks that the differences at higher temperatures are not much larger and, in effect, less serious in a relative sense than at 30 K. Mr. Quinn feels that the very simple interpolation procedure proposed by Mr. Rusby is a very strong argument for restricting the use of the PRT to temperatures above 24.6 K. Mr. Rusby states that at 30 K the additional

irreproducibilities due to errors at the fixed points are 2.5 times the errors at the O<sub>2</sub> triple point and 1.8 times the error at the Ar triple point.

Mr. Kemp points out that below 30 K the  $R$  vs  $T$  relation of the PRT is very dependent on the impurity content of the platinum and that calibrations below 24.6 K, where impurities play a still larger role, will be necessary to account for their influence above 24.6 K.

Finally, Mr. Schooley draws attention to the advantage of using a sealed cell with more than one gas in it, as proposed by Mr. Bonnier, providing this does not decrease the precision of the realizations.

(ii) *Interpolation above 0 °C*

Mr. Crovini remarks that a comparison of PRT's between 0 °C and the Zn point is necessary. New types of PRT's have been introduced and the oxidation effect has been discovered and it is not sure whether the deviation function between the quadratic equation and IPTS-68 is the same for all thermometers. The President answers that there is a possibility of such an intercomparison as a cooperative project between NRC and NBS. Mr. Kemp remarks that Mr. McAllan at CSIRO has checked calibrated PRT's at the Cd point for many years. The results were compared with those presented by other people at the 6th Temperature Symposium and differences between thermometers are believed to be not greater than a few tenths of a millikelvin.

Taking up the question of the upper limit of the PRT-range, Mr. Jones remarks that comparisons between the PRT and the optical pyrometer should be extended to temperatures above this upper limit in order to ensure smooth first and second derivatives at the junction point. Mr. Jones feels that this is an additional reason for taking the Ag point as the upper limit of the PRT-range. Mr. Thomas says that Mr. McAllan, at the 6th Temperature Symposium, also preferred the Ag point as the upper limit, because this would place a lesser demand on the properties of the HTPRT. Mr. Bedford and Mr. Coates, on the contrary, feel that comparisons of the PRT and the optical pyrometer up to the junction point should be sufficient. The President adds that the choice of the upper limit of the PRT-range will depend on the behaviour of the HTPRT's which are available.

(iii) *Selection of fixed points in the PRT-range*

Mr. Pavese, referring to the classification of fixed points in the report of WG3, suggests that the Ne triple point be classified as « very good » and not « isotope sensitive ». On the other hand, the intercomparison of sealed cells suggests that the O<sub>2</sub> triple point should be classified as « good » instead of « very good ». (« Good » in the report of WG3 meant worse than 0.2 mK but better than 0.5 mK.) Also, Mr. Pavese wishes to know the basis for classifying the e-H<sub>2</sub> boiling points as « very good », which means better

than 0.2 mK. Mr. Kemp points out that the classification of the fixed points in the report of WG3 was based on data obtained with open cells. Mr. Schooley adds that the  $O_2$  triple point measured with open cells was much more reproducible than with the sealed cells. Mr. Kemp says that the classification of the e- $H_2$  boiling points was based on experimental work at CSIRO. Mr. Pavese remarks that the intercomparison of PRT's by Ward and Compton at NPL showed differences of 1 mK at the  $O_2$  triple point, which is not better than the results for sealed cells, and differences of the same order for the e- $H_2$  boiling points.

The President answers that, in his opinion, the reproducibilities for the fixed points given in the report of WG3 are meant to be potential reproducibilities when practice is as perfect as possible. Mr. Schooley would, in this respect, like the work on sealed cells to be continued. Mr. Bedford is of the opinion that some of the less good results obtained in the intercomparison of sealed cells arose from the use of gases of less than the highest available purity for filling these cells, since the original intention was merely to produce stable transferable temperatures.

Mr. Bonnier suggests that a set of sealed cells of the highest possible quality be kept at BIPM.

To the question from Mr. Crovini as to the effect on the reproducibility of the scale of replacing the  $O_2$  triple point by the  $N_2$  triple point, Mr. Rusby answers that in his simple scheme with only three low-temperature reference points the uncertainty of the  $N_2$  triple point should be less than one half that of the  $O_2$  triple point before it would be worth using.

Finally, Mr. Schooley points to the importance of accurately determining the thermodynamic temperatures of the defining fixed points.

(iv) *The lower limit of the PRT-range*

The President states that there are two possibilities under consideration for the lower limit of the PRT-range: 24.6 K and 13.8 K.

Mr. Kemp suggests that the PRT be used down to 13.8 K but that there could also be alternative definitions of the scale in the range 13.8 K to 24.6 K. Mr. Rusby remarks that use of the PRT to 13.8 K implies the use of e- $H_2$  boiling points as fixed points. Mr. Schooley, however, refers to work on the  $D_2$  triple point by Mr. McConville at the Mound Laboratory; there may be a possibility of overcoming the problem of contamination of  $D_2$  with  $H_2$ , the contamination probably arising from absorption of the  $H_2$  from the walls of the container. Anybody interested can contact Mr. McConville who has available a supply of  $D_2$  stored in a special stainless steel container. Mr. Bedford, commenting on Mr. Kemp's remark, asks whether overlapping definitions are desirable in the IPTS. Mr. Crovini and Mr. Coates remark that WG3 has, in its recommendations, excluded overlapping definitions.

The President suggests that the CCT break for tea and take this topic up again under item 11.

(v) *Thermodynamic temperatures above 14 K*

The President opens the discussion by saying that the replacement scale should be so close to thermodynamic temperatures that subsequent corrections will be virtually invisible to general users. Thus the question of the determination of thermodynamic temperatures is one of the most important of the meeting. At the next meeting, final decisions on thermodynamic temperature values will have to be made if the CCT wants to adhere to the proposed time table; at the present meeting, the main concern is that work that needs to be done in this field be identified.

Mr. Schooley remarks that Mr. Guildner and Mr. Edsinger at NBS intend to continue their gas thermometer measurements up to 800 °C. A set of HTPRT's constructed at NBS is available for this work. Gas thermometer temperatures will be recorded on the PRT's and the technique will be to go to 800 °C and come down in steps of 20 °C to 50 °C. All parts of the apparatus work satisfactorily, except, possibly, the diaphragm. The expected accuracy with the gas thermometer is about 10 mK at 800 °C. In answer to a question by the President, Mr. Schooley says that he is not able to give a time table for this work, but Mr. Schooley will strongly recommend that the measurements be continued. Mr. Coates emphasizes the importance of extending the gas thermometer measurements up to as high a temperature as possible. The optical pyrometer measurements have now to be referred to the Zn point, which results in the uncertainty at the Au point being about 0.1 °C. If gas thermometer temperatures were available at 800 °C with an accuracy of 10 mK, the accuracy of the optical pyrometer data might improve to about 0.03 K at the Au point.

In answer to a question by the President, Mr. Crovini says that the Cu-Ag eutectic temperature, measured with PRT's, is reproducible to within 5 mK to 10 mK.

Mr. Quinn gives a résumé of the total radiation measurements at NPL. Measurements have been made between — 30 °C and 90 °C. The results between 50 °C and 90 °C differ slightly from those of Guildner and Edsinger (by — 4 mK at 90 °C). At — 30 °C the results show a departure from  $T_{68}$  of about + 5 mK. The work is being continued, at first to fill the gap between 0 °C and 50 °C and subsequently up to 230 °C. Above this latter temperature there is a technical problem — the black-body coating decomposes at about 270 °C. The long-term plan is to continue to the Zn point. Measurements could be extended downwards from — 30 °C but this is probably not justified in view of the probable higher accuracy of the gas thermometer in this range. In answer to a question by the President, Mr. Quinn adds that the expected accuracy of the measurements is rather better than 5 mK at 230 °C and that it is hoped to have results up to this temperature well within two years. Mr. Rusby is somewhat more cautious with respect to the time table: before going above 90 °C, smaller apertures have to be put in and checks must be made to see if they give the same results. Mr. Rusby is not certain that the measurements up to 230 °C will be completed before the next meeting of the CCT.

Coming to the range below 273 K, Mr. Kemp comments on gas thermometer measurements at CSIRO and KOL between 4 K and 100 K reported at the 6th Temperature Symposium. Since then, the CSIRO and KOL results have been recalculated to the same reference temperature (20.2 K on NPL-75) and the same virial coefficients. An agreement between the two sets of data between 20 K and 90 K of better than 1 mK was obtained in this way. At CSIRO, and probably at KOL, the measurements will be extended up to 273 K. There is thus some hope that new gas thermometer results will be available over the entire range from 4 K to 273 K before the next meeting of the CCT. Provisional results at CSIRO support the result of the total radiation measurements at  $-30^{\circ}\text{C}$ .

Mr. Thomas reports that gas thermometer measurements are in progress now at PTB. Preliminary values have been obtained at the  $\text{O}_2$  boiling and triple points which differ by a few mK from the CSIRO and KOL results.

## **6. Discussion of the text of the monograph on Supplementary Information**

Mr. Schooley commends WG1 for the high quality of the document. He comments that the section (now missing) on HTPRT's should not affect publication plans because it is not relevant anyway to the IPTS-68 or the EPT-76. Mr. Rusby would like the historical information in the Introduction to be deleted. The President replies that WG1 included it largely in anticipation of its removal from future texts of the IPTS; in the opinion of WG1, it is better placed in the Supplementary Information. Mr. Schooley concurs. The President concludes the discussion by emphasizing that WG1 will meet in June and that any suggestions for changes in the Supplementary Information should be submitted in written form to WG1 before that time.

## **7. Discussion of the proposed monograph on Secondary Thermometry**

The President opens the discussion by recalling that the CCT decided some years ago to try to assist those users who require measurements of less than the highest accuracy. There are many adherents to the Convention du Mètre who do not require the highest possible accuracy, but, nevertheless, do require assistance. Mr. Thomas reports that several official organizations wish to bring to the attention of the CCT that the highest accuracy provided by the IPTS is seldom required — many practitioners require a lesser degree of accuracy that is less expensive and more readily obtained. The WG2 monograph should help meet this demand.



Mr. Coates emphasizes that for many users who require only moderate accuracy, or perhaps only traceability to the IPTS, a calibration by comparison is likely to be more suitable than a secondary realization. This should be emphasized in the monograph. He also questions the suitability of the title of the monograph. Several members discuss the title and it is left to WG2 to devise a suitable one. Mr. Bedford, Mr. Coates, Mr. Bloembergen, and Mr. Quinn debate the difference between obtaining a representation of the IPTS by «calibrations» and by «secondary realizations». In the former case one uses a calibrated thermometer, and in the latter case one uses fixed points. Mr. Schooley points out that when the platinum/rhodium thermocouple is removed as a defining instrument for the IPTS, it will no longer be possible to produce a secondary realization according to Mr. Coates's definition. Mr. Hudson suggests that, for clarification of the discussion, a definition of several of these terms is required and that a subcommittee to draft such definitions be appointed. The President agrees and appoints Mr. Hudson to chair a subcommittee consisting of Mr. Coates, Mr. Bedford, and Mr. Bloembergen, which will prepare such a lexicon for the following day.

There follows a lengthy debate amongst several members regarding the subjects to be included in the monograph. Apparently it should emphasize secondary realizations, but not exclude discussion of calibrations and advice on the proper use of thermometers. Mr. Crovini suggests that the secondary realizations discussed in the monograph should be assigned a position on a scale of priority; the preferred realizations would be those in widest use. There may, for example, be some that, although very precise, are seldom used and thus need little attention. Mr. Schooley would like a discussion of the use of the nuclear quadrupole resonance thermometer included. In reply to a question of Mr. Bedford as to who will write this section, Mr. Schooley replies that someone at NBS will be happy to do so.

The President closes the discussion on item 7 by emphasizing that members of the CCT and their colleagues who wish particular topics to be treated in the monograph should send written versions to the WG2 Chairman for consideration. Suggestions unaccompanied by written material are of limited usefulness.

## **8. High temperature platinum resistance thermometers**

The President remarks that this item is open for discussion on the whole subject of HTPRT's. In particular, he would like to discuss suggested experiments with, and the disposition of, the ten thermometers provided by the Chinese delegation from NIM. He suggests that the CCT rather than the BIPM staff should have final authority as to the disposition of the thermometers. On behalf of the CCT, he thanks the Chinese laboratory for having so generously supplied the thermometers, and thanks Mr. Ling and Mr. Li, in particular, for their efforts in transporting the thermometers to

Paris. Mr. Ling remarks that he had originally hoped to supply 20 thermometers for long-term loan, but the impracticality of transporting so many to Paris prevented it. In addition to the ten in Paris, three (serial numbers 18227, 18236, 18237) were left with NBS in Washington. He says that the remaining thermometers are available in Beijing; he hopes that arrangements to transport them can be made. He introduces (document 82-44) some data obtained at NIM on the performance of these thirteen thermometers. He would like any data obtained on these thermometers by the laboratories to be sent to NIM.

In response to the President's question as to which laboratories are prepared to test the thermometers in groups of at least three, the delegates of NPL, PTB, NRC, IMGCC, CSIRO and BIPM indicate that their laboratories are interested. Of these, Mr. Kemp says CSIRO has already arranged to obtain three of the group left in Beijing, while NRC and BIPM are prepared to wait for another delivery later in the year. Thus, of the ten thermometers, it is decided three will go to each of NPL, PTB and IMGCC, and the other one will remain at BIPM as a spare. \*

The President then asks for suggestions as to how the thermometers will or should be tested, emphasizing that the results must be available for the 15th Session of the CCT in 1984. Mr. Bedford (forwarding the suggestions of colleagues from NRC and CSIRO) says some of the thermometers should be subjected to rapid cycling (100 cycles in a short time) from both the Ag and Au points and tested for stability (up to 500 hours) at these same points. Mr. Quinn thinks that there may already be enough information on the latter point, but recommends calibration at metal freezing points up to and including gold to test the ability of the thermometers to carry a temperature scale. Mr. Crovini says IMGCC will test theirs for high-temperature stability \*\* and also will intercompare them at high temperatures in a pressure-controlled heat pipe. Mr. Schooley says Mr. Evans of NBS will check their repeatability and their uniqueness in defining a temperature scale, as well as test their insulation resistance at high temperatures. Mr. Rusby says NPL will test their high temperature stability using a vertical furnace, then compare them with an optical pyrometer in a horizontal furnace. Several members remark that thermometers of different manufacture will also be included in their experiments.

Mr. Bedford and Mr. Quinn question Mr. Ling regarding the heat

---

\* The serial numbers and distribution of the thermometers are as follows :

PTB : N° 80168, 80159, 18234  
IMGCC : N° 18213, 18233, 80166  
NPL : N° 18210, 18221, 18228

Thermometer 18224 was found to be broken so was replaced with 18210 originally left as a spare at BIPM.

\*\* See Temperature Measurement 1975, Institute of Physics Conference Series No. 26, Institute of Physics, London, 1975, pp. 107-116.

treatment already received by these thermometers. Mr. Ling and Mr. Li refer to document 82-44 and add that: quoted values of the  $\alpha$ -coefficient were obtained after the stability tests; the gas filling is argon with 10 % oxygen for a total pressure of  $10^5$  pascals at  $1\ 100\ ^\circ\text{C}$ ; in NIM testing, the thermometers were cooled rapidly by extracting them from the furnace into room air; the thermometers have so far not been operated horizontally.

Mr. Schooley draws attention to the extensive research program at NRLM (Japan) and says Chinese thermometers should be included. Although no one is certain, the feeling is that NRLM already has some Chinese thermometers or, if not, can obtain them directly from NIM.

Mr. Bloembergen introduces some relevant notes by Mr. Evans (document 82-45).

### 9. Differences $T - T_{68}$

The President asks for discussion relating to measurements of thermodynamic temperature. Mr. Crovini stresses the importance of, and need for, accurate measurements of the resistance/temperature relation of the PRT above  $630\ ^\circ\text{C}$ , especially from  $800\ ^\circ\text{C}$  to  $1\ 064\ ^\circ\text{C}$ . This should be obtained by calibration against photoelectric optical pyrometers, preferably at 10 to 20 K intervals. He says that, at present, the platinum resistance/temperature relation is the most reproducible property available with which to evaluate thermodynamic temperature measurements. In addition, of course, this relation is required before interpolation equations for the PRT can be assessed. Such measurements are being planned at CSIRO, NPL, PTB, NRC (probably, but not soon), and apparently at NRLM.

Mr. Coates reviews the present position regarding  $T - T_{68}$  from  $460\ ^\circ\text{C}$  to  $1\ 064\ ^\circ\text{C}$  as deduced from a variety of measurements. His pyrometer measurements indicate that  $T - T_{68}$  decreases from  $460\ ^\circ\text{C}$  to  $630\ ^\circ\text{C}$ , whereas extrapolation of NBS gas thermometry into this range would predict the reverse. Mr. Coates's measurements imply that the discontinuity in slope at  $630\ ^\circ\text{C}$  is small. He stresses the need for further data in this region.

### 10. Fixed points and international comparisons

Mr. Pavese draws attention to document 82-4 which is a first draft of the final report of the international intercomparison of sealed triple-point cells. He goes on to give a report (attached herewith as Appendix A) of the meeting held on March 29 of members of the laboratories participating in this intercomparison.

Mr. Schooley suggests that it would be extremely useful if thermometers used in the triple-point-cell intercomparisons and in the earlier NPL PRT

intercomparisons could now be used in conjunction with the KOL and CSIRO gas thermometers to obtain more accurate values of the thermodynamic temperatures of the fixed points. There follows considerable discussion of this suggestion, and of the best means of carrying out the measurements. Mr. Kemp indicates that CSIRO will likely attempt the measurements.

Mr. Swenson asks if the accuracy of the sealed-cell intercomparison is unduly affected by insufficient purity of the constituent gases. Mr. Pavese replies that only with oxygen and methane did there appear to be any impurity problem. A lengthy discussion follows on the question of the purity of the gases in the sealed cells, of the maximum allowable impurity content to obtain satisfactory results, and how to ensure that such a purity is indeed obtained. The general conclusions drawn are: *a*) an impurity content of less than  $10 \times 10^{-6}$  is certainly sufficient; *b*) the difficulty with the oxygen cells is undoubtedly due to the presence of residual argon; *c*) one of the early oxygen cells in particular gives a discrepant result because it was not at that time deemed necessary to take special care to use highly pure oxygen — the cell was meant to be used only as a transferable fixed temperature, not as a primary oxygen point; *d*) impurities in oxygen can be avoided if laboratory-prepared rather than commercially-supplied oxygen is used; *e*) it is undesirable to rely upon nominal purities supplied by manufacturers of the gases; *f*) the procedures used in filling the cells do not contribute to the impurity problem.

Mr. Quinn introduces a question raised by the Norwegian national standards laboratory; how well do sealed argon-triple-point cells designed for the calibration of long-stem PRT's reproduce the argon triple point? He suggests that the CCT might consider an intercomparison of such cells. Mr. Bonnier says the cells he has manufactured are accurate to  $\pm 0.5$  mK. Mr. Bedford and Mr. Ling indicate that such cells used in their laboratories are also at least this accurate.

After some discussion, Mr. Bloembergen agrees to undertake coordination of some intercomparisons of this type of sealed argon-triple-point cell, the exact nature of the work to be decided later. However, in general, it will likely involve transfer of one or more such cells amongst the participating laboratories.

## 11. The new IPTS : current status

Mr. Quinn proposes that, before discussing specific points of the proposed new IPTS, the CCT pay attention to two principles of the scale. The first is : is the IPTS, or ITS, meant to be a scale which should be realized only in national standards laboratories or a scale that is so « practical » that it can be realized in a large number of calibrating laboratories? The second one is : what should be the balance between highest possible reproducibility of the

scale and relative ease of realization? Mr. Quinn proposes that the scale should be intended for realization in national standards laboratories and that the CCT should not aim for a scale that is easily realized in many calibrating laboratories, this being in accordance with the situation that exists with-IPTS-68. This principle is generally accepted by the meeting. Mr. Crovini, however, remarks that one should not make the scale so complicated that it cannot be realized even in national standards laboratories. This would present problems in « traceability » of calibration. Mr. Coates supports this view.

Regarding the second principle, Mr. Quinn remarks that a wire scale would, in large parts of the range, give the highest reproducibility of the scale. Since, however, on philosophical grounds, the CCT does not want a wire scale, calibrations at fixed points are necessary. Mr. Quinn continues by mentioning two examples where, in his opinion, ease of realization justifies a slight reduction of reproducibility of the scale: calibration in restricted parts of the range (*e.g.* resistance thermometers below 30 K), and the interpolation scheme of Mr. Rusby between 24.6 K and 273 K with three low-temperature triple points only which yields a reproducibility of  $\pm 1$  mK. Mr. Coates asks if Mr. Quinn would accept a scale which would be considerably less reproducible than the best possible. Mr. Schooley proposes tentatively that a decrease in precision by not more than a factor of three be permitted.

Mr. Thomas mentions that according to the law in West Germany, PTB is responsible for disseminating the IPTS among other laboratories.

There is a short discussion on the way in which national standards laboratories maintain the IPTS-68 and carry out calibrations on it; it becomes clear that this is generally done, below 273 K, by using a set of calibrated PRT's.

After this general discussion, remarks are made by various members on specific items of the scale. Mr. Coates says that he does not agree with the proposal of WG1 to have extra fixed points above 0 °C for allowing the use of capsule thermometers in that range since it will decrease the reproducibility of the scale. Mr. Kemp proposes to leave the lower limit of the PRT-range at 13.8 K because moving it to 24.6 K would cause too large a non-uniqueness of the scale near 30 K. Mr. Rusby stresses the simplicity of the interpolation method in which only three low-temperature fixed points are needed, but he realizes that the non-uniqueness of  $\pm 1$  mK is rather large. Further, he doubts whether the non-uniqueness of  $\pm 0.2$  mK below 20 K given by Mr. Kemp includes allowance for errors at the fixed points. The President remarks that a lower limit of the PRT range of 24.6 K does not exclude the use of calibration points below this temperature.

Mr. Bonnier is in favour of taking 24.6 K as the lower limit; if the lower limit is 13.8 K, manometers will be required for measuring hydrogen vapour pressures, but then it would be better to use the manometer for the interpolating gas thermometer. Mr. Kemp sees, in principle, no difference

between vapour pressure measurements of He and H<sub>2</sub>, but feels that gas thermometry needs much more accurate pressure measurements. Mr. Hudson thinks that that is no argument against 24.6 K as the lower limit; in his opinion, accurate pressure measurements should be no problem in a national standards laboratory.

Mr. Pavese does not see the significance of adding 10 K or not to the PRT-range. Laboratories which require measurements below, say, 20 K will probably go down to 4 K. Historically, 13.8 K was chosen as the lower limit of the IPTS not because of the properties of the PRT, but because 13.8 K was the lowest fixed point available.

Mr. Quinn remarks that the  $R$  vs  $T$  relation of platinum is more simple above 24.6 K than below this temperature; this is a reason for choosing 24.6 K as the lower limit.

Mr. Schooley finds it premature to make a judgement; he doubts whether it has been shown that a more precise thermometer than the PRT exists for the range 13.8 K to 24.6 K. Mr. Durieux answers that, in his opinion, it has been shown that the Rh-Fe resistance thermometer is more precise near 13.8 K. He remarks also that use of the interpolating gas thermometer as the defining instrument between 4.2 K and 24.6 K has the advantage that the temperature values of the three hydrogen points do not have to be defined; the gas thermometer will automatically give better temperatures as it is improved over the years whereas fixed point values should not be changed.

Mr. Schooley doubts whether sufficient information on the interpolation gas thermometer is available yet. Mr. Kemp is afraid that cutting off the PRT-range at 24.6 K would decrease the reproducibility of the scale above this temperature.

Mr. Swenson points out that defining three extra fixed points below 24.6 K could cause irregularities in the scale. He also questions whether the PRT-scale between 13.8 K and 20 K is unique and precise to within  $\pm 0.1$  mK to  $\pm 0.2$  mK.

There is a discussion between Mr. Kemp and Mr. Rusby about the non-uniqueness of the scale between 24.6 K and 54 K with various interpolation procedures. The President remarks that WG1 would benefit enormously from some written submission on this matter. Mr. Hudson adds that the entire committee would benefit from this. The President finally remarks that some additional information on the accuracy of interpolation procedures in this range could even be added to the minutes of the meeting\*.

The relation between the helium vapour pressure scales and the new IPTS is then discussed. In the draft of WG1 the new helium scales define the IPTS between 0.5 K and 4.2 K. Mr. Schooley is of the opinion that it is premature to make the decision because another, more convenient, thermometer might be proposed before 1986. He proposes that it be made clear that the choice is by no means final. The President answers that this

---

\* No such information was submitted.

can be written in the preamble of the proposed text. Mr. Hudson, on the other hand, finds it hard to conceive that the He vapour pressures will not be a part of the definition of a future IPTS. Mr. Coates would like to see a unique definition of the scale and is afraid that the use of overlapping  $^4\text{He}$  and  $^3\text{He}$  ranges will increase the non-uniqueness of the scale.

The interpolating instrument between 4.2 K and 13.8 K or 24.6 K is then discussed. The President recalls the proposal of WG1 that the interpolating gas thermometer be chosen as the defining instrument of the scale between 4.2 K and 24.6 K, with the understanding that in practice the scale will, in most cases, be propagated with calibrated Rh-Fe resistance thermometers. Mr. Kemp feels that some further work on the gas thermometry should be done to find what the reproducibility is. The President suggests that the BIPM might do some work in that direction. He further remarks that because the gas thermometer is a straightforward thermodynamic instrument, no difficulties should, in principle, be expected. Mr. Durieux says that the gas thermometers of KOL and NPL, when used as interpolating instruments between 4.2 K and 24.6 K, agree within 0.5 mK. Mr. Swenson adds that this is also true for the gas thermometers at NPL and Bristol University (Gugan). Mr. Schooley cautions, as in the case of the He vapour pressure scales, against giving the impression that it has already been decided what the definition of the scale will be between 4.2 K and 24.6 K. This could impair useful work on other thermometers, in this case, on the magnetic thermometer. Mr. Coates agrees that there is, in general, a danger that possibilities for defining the scale, other than the ones mentioned in the WG1 report, will be neglected. Mr. Swenson, on the contrary, feels that there is not much chance that any interpolation instrument other than the gas thermometer can be found since, in particular, there is no working magnetic thermometer above 4 K in any laboratory at this time. Mr. Quinn is of the same opinion: for the Rh-Fe resistance thermometer, there is presently only one supplier and finding a sufficient number of fixed points for its calibration would present problems. Mr. Schooley, however, suggests that NBS could pursue magnetic thermometry up to 13.8 K, but fears that such work would be hampered by a premature decision to use the gas thermometer. Also, Mr. Coates cautions against putting all the eggs in one basket.

Mr. Bloembergen asks whether the interpolating gas thermometer could be used down to 3.3 K so as to avoid the use of the  $^4\text{He}$  vapour pressures. Mr. Rusby answers that the influence of the virial coefficients of  $^4\text{He}$  increases rapidly below 4.2 K. Mr. Durieux feels that the use of the  $^4\text{He}$  vapour pressures is so common that they should not be dropped from the scale. Mr. Rusby remarks that, in order to avoid overlap of definitions, the scale could be defined in terms of  $^4\text{He}$  vapour pressures above 2.1 K and of  $^3\text{He}$  vapour pressures below this temperature. Mr. Bonnier does not like this idea.

The discussion on the current status of the new IPTS was continued on the third day of the meeting. It began with an extensive discussion on the

definition of the scales above 0 °C and, in particular, on the difference between the proposals of WG1 and WG3 for the range from 0 °C to 100 °C. Mr. Coates, referring to the report of WG3, defends the principle of a single definition of the scale. According to the proposal of WG3, the definition of the scale above 0 °C includes the Sn and Zn points, so that capsule PRT's cannot, officially, realize the IPTS in this range. Mr. Quinn would regret such a situation; Mr. Bedford and Mr. Bonnier support Mr. Quinn's view. Mr. Coates feels that the introduction of extra fixed points, especially for the calibration of capsule thermometers, such as the Ga point, would increase the non-uniqueness of the scale. Mr. Crovini, Mr. Kemp and Mr. Schooley share Mr. Coates's opinion that a single definition of the scale would be preferable. Mr. Bloembergen, on the contrary, thinks that the temperature of the Ga point, for example, can be determined well enough, with respect to the temperatures of the other fixed points, that its addition would not add appreciably to the non-reproducibility of the scale. Also, Mr. Bedford wants to leave open the possibility of introducing extra fixed points.

Mr. Hudson and Mr. Quinn suggest that the various proposals for the definition of the scale and the associated non-uniqueness be further studied. The President asks what the largest tolerable non-uniqueness of the scale is. Mr. Crovini replies that between 0 °C and 100 °C, one would like an irreproducibility not greater than  $\pm 0.2$  mK. Mr. Bonnier agrees with this.

The President asks whether a lower limit of the scale of 0.5 K as outlined in the report of WG1 is acceptable. Mr. Schooley remarks that there is a need for thermometric guidance for the range below 0.5 K; this is almost entirely in scientific circles and not in industrial circles. Mr. Schooley recalls that he suggested an interpolating procedure and fixed points for this range but feels that it is certainly premature for him to suggest now that the lower limit of the scale should be below 0.5 K. However, he reminds the committee of the publication by Mr. Soulen, « The calibration of paramagnetic thermometers using 5 fixed points » (*Cryogenics*, 14, 1974, p. 250), which illustrates the procedure to which he referred. A strong attempt will be made at NBS to prepare a modification of this document demonstrating the experimental results before the next CCT meeting.

Mr. Bonnier agrees with Mr. Schooley that there is a real need in the scientific community for calibrations below 0.5 K.

In summary, the President says there is apparently a need for an extension of the scale below 0.5 K, but as yet no acceptable proposal. So, for the time being, it is a proper decision to terminate the scale at 0.5 K.

The President assures the CCT that WG1 will carefully consider the various proposals. If it is found that the irreproducibility of the scale is unacceptably large when the lower limit of the PRT-range is 24.6 K, as preferred by the majority, then the lower limit, or some alternative procedure, must obviously be adopted. It would greatly facilitate the task of WG1 if the



necessary calculations and analyses could be done by members of the CCT. The President suggests that draft B of the new IPTS be distributed to the CCT by the end of 1982 or shortly thereafter, and version C some months before the fifteenth session in 1984.

## 12. Work at the BIPM

Mr. Quinn reviews for the CCT the history of thermometric research at the BIPM, the present requirement for determining temperatures with the highest possible accuracy near room temperature, the need to maintain a calibration facility for resistance thermometers and platinum/rhodium thermocouples from 90 K to 1 064 °C, and current research on sealed triple-point cells and radiation measurements of thermodynamic temperature from 420 °C to 630 °C. Mr. Crovini asks what is the highest accuracy needed by the BIPM near room temperature. Mr. Quinn replies that, in connection with the maintenance of the standard volt, they require about  $\pm 0.5$  mK. Mr. Crovini reports that in a recent intercomparison of gallium triple point cells between INM, NPL, and IMGC the largest difference was 0.3 mK when different thermometers were used (and 0.15 mK with a single thermometer), even though an uncertainty of  $\pm 0.7$  mK in the PRT calibration could be inferred from the uncertainties at the water triple point, and tin and zinc freezing points. It would be useful to have the revised IPTS ensure a reproducibility of  $\pm 0.1$  or  $\pm 0.2$  mK near room temperature. There follows a lively debate between Mr. Quinn, Mr. Coates, and Mr. Schooley on the question of the reproducibility of measurements near room temperature and of gallium triple-point cells constructed in different laboratories, on whether the need at the BIPM is accuracy on the IPTS-68 or simply repeatability, and on methods of achieving these.

This is followed by a visit to the thermometry laboratories of the BIPM by the CCT conducted by Mr. Quinn and Mr. Pello.

## 13. Future work of the CCT and of the Working Groups

The President proposes that the CCT attempt to adhere to its program of preparing a replacement IPTS with the target date of 1987 for its adoption. He also proposes that preparation of the monograph on Supplementary Information be completed in 1982 and that work continue on the preparation of information on secondary temperature measurements. The meeting agrees.

It is also agreed that the terms of reference and membership of the Working Groups, which were last specified in 1980, be left unchanged,

except that the target dates in a number of items are changed from 1982 to 1984. It is recalled that the terms of reference of WG3 include the task of coordinating and assessing the work done on HTPRT's (term of reference (v) of WG3 in the Report of the 13th Session, 1980).

#### 14. Publication of documents

The President proposes that the minutes of the meeting and the report of the Working Groups be the only documents published by the BIPM, and that only the titles of the documents be listed, in accordance with recent practice. The meeting agrees.

Mr. Hudson advises the members that, for the first time, the documents from the meeting will be published by the BIPM in both French and English.

#### 15. Miscellaneous subjects

Mr. Hudson points out that since the revised IPTS will agree with thermodynamic temperatures, the temperature of the water boiling point will become approximately 99.975 K, and, therefore, the numerical values of temperatures near room temperature will be slightly changed. He raises the question of whether this will cause difficulty or confusion for those in disciplines other than thermometry. Is the CCT likely to receive a request to again redefine the ice-to-steam interval as 100 °C? The question is discussed and it is concluded that redefinition of the ice-steam interval would be undesirable, especially as the numerical values near room temperature will change only very slightly and since the boiling point of water is unlikely to be a defining point of the revised IPTS.

Mr. Hudson introduces the set of definitions prepared by his subcommittee for use in the minutes. Mr. Schooley suggests that another term, « partial realization », also be defined. The President comments that « calibration by realization » is bad enough, but « calibration by partial realization » would be incomprehensible. After some discussion, a few slight additions and amendments are made and the definitions as attached in Appendix B are approved.

Mr. Ling asks for an explanation of the difference between the terms « irreproducibility of a scale » and « non-uniqueness of a scale ». There follows some discussion on this point as a result of which it becomes clear that there is not general agreement on the definitions. The President says the CCT will take note of Mr. Ling's question and try to provide an answer before the next meeting.

The point was raised \* that various interested groups, *e.g.*, those responsible for producing critical tables of temperature-dependent quantities, should be advised as soon as practicable of the probable date (1987 to 1989) for the promulgation of a revised IPTS.

### 16. Recommendation to the CIPM

It is proposed and agreed that a single recommendation will go forward from this meeting to the CIPM; it will concern the adoption of new equations to represent the vapour pressure/temperature relationships of  $^3\text{He}$  and  $^4\text{He}$  on the EPT-76 (*see* also document 82-2).

After considerable discussion on the intent and on the precise wording of the recommendation, it is approved.

### 17. Next Session of the CCT

It is agreed that it will be necessary for the CCT to meet again in 1984 if there is to be any hope of introducing the revised IPTS in 1987. It is also agreed that the meeting will be between the third week of May and the middle of June, the exact dates to be decided one year in advance.

\*  
\* \*

The President declares the meeting closed and thanks the members for their cooperation and attention during the meeting, and thanks the Director and Staff of the BIPM for the facilities made available to, and the assistance rendered to, the CCT.

June 1982

---

\* This point was, in fact, raised by interested parties at NPL after the CCT Session, but is included as constituting part of the Session by agreement of the CCT members in response to a covering letter that accompanied a copy of the proposed report to the CIPM (*see* Report to the CIPM of the 14th Session of the CCT) circulated by the President.

APPENDIX A

**Report on the meeting of the laboratories  
participating in the international intercomparison  
of fixed points by means of sealed cells**

(held at BIPM on the 29th March 1982)

Monday 29th March 1982 the results so far obtained in the intercomparison and contained in the first draft of the final report were presented and the way to close the intercomparison and to present the final results was discussed.

In general, the laboratories represented at the meeting (ASMW, BIPM, CSIRO, IMGC, INM, NPL, NRC) accepted the retention in the final extended Report of all types of data presented in the first draft.

They may be grouped under four headings :

- a) Comparison of sealed cell models, with the aim of obtaining the following information :
  - a.1) differences among cells;
  - a.2) behaviour of each cell when measured in different laboratories;
  - a.3) thermal behaviour of the cells during melting;
  - a.4) behaviour of the different gases in the cells.
- b) Comparison of the national realizations of the IPTS-68 at the fixed points by means of the sealed cells.
- c) Relationship between the results of this exercise and results of the NPL intercomparison of thermometers of 1975.
- d) The best IPTS-68 values for the secondary fixed points considered in this intercomparison.

About point a.1) : Differences among cells : It has been agreed that each laboratory will send a statement regarding the accuracy of its measurements, specifying the confidence level, so that an estimated uncertainty can be associated with each measurement. It was also agreed, by the majority of the laboratories, that the liquidus point ( $F = 1$ ) will be taken as the definition for the triple point (tp) temperature of all of the gases in this intercomparison. No corrections, such as hydrostatic correction, will be applied to the results. It was considered important to fill

every gap of information and to add some data on gases which are deemed to be important.

For this reason, some experiments will be added during 1982, with a deadline in October 1982. There was agreement to circulate some new cells and to recirculate some old ones.

Old cells :

- CSIRO will measure H<sub>2</sub>-NRC; Ne-IMGC
- NRC will measure H<sub>2</sub>-IMGC

New cells :

- CSIRO will measure Ne-ASMW
- IMGC will measure Ar-ASMW
- NRC will measure INM multiple cell (H<sub>2</sub>O, Ar, N<sub>2</sub>, Ne)
- If possible, another laboratory will also measure INM cell
- IMGC will measure N<sub>2</sub>-NRC cell if it is available.

Circulation of the deuterium cell will be discontinued because of the errors discovered in the realization of this fixed point.

About points *a.2-3*) : Behaviour of cells : Laboratories will send information (which is at present unavailable) to IMGC as soon as possible. It is indeed considered important to collect full information about cell features (*e.g.* recovery time, overheating, heat of melting...) from all the laboratories.

Also, the filling level in the cells and the surface area of contact of the cell body with the sample will be added to the final data.

About point *a.4*) : Behaviour of the gases : The full discussion has been left to CCT members.

About point *b*) : Comparison of national realizations : Most of the data are still unavailable. First of all, each laboratory must provide a short description, defining its realization of the IPTS and stating the accuracy of it.

Then, each laboratory must provide the differences  $\Delta W$  between the defined national realization of the fixed points involved in this intercomparison and the reference cell; for secondary fixed points this must be done using the same thermometer as used for the intercomparison.

A column giving these temperature differences (*i.e.* equivalent to  $\Delta W$ ) will be added to the Tables of Section V on differences between cells.

These two points *a*) and *b*) do not involve either temperature values or calibrated thermometers, since they only deal with differences between realizations. They fulfil the aims of the intercomparison.

The next two points, which concern temperature values, contain information that is not inherent in the intercomparison itself, but which can be directly obtained from the accumulated data. The majority of the information obtained in this intercomparison is of information and should

Point *c*) concerns the relationship to the NPL calibration of thermometers made in 1975.

One set of tables will show the temperature values on NPL-IPTS-68 corresponding to each measurement of the cells using one thermometer from the group calibrated at NPL in 1975 (Tables VI.x.1).

A second set of tables will be provided containing the same results referred to a common thermometer (the master NPL one, for convenience) in order to eliminate the non-uniqueness of the Scale (Tables VI.x.2).

Point *d*) is thought to be of help in establishing the new IPTS as it deals with the best IPTS-68 temperature values of the secondary fixed points (Ar, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, Ne). Should some of these points be used in the future scale, it will be, indeed, mandatory to have an IPTS-68 value with the best possible accuracy. The dispersion of published values is sometimes several millikelvins. A mean value obtained from them will, therefore, be relatively uncertain.

This intercomparison has shown that the sealed-triple-point-cell realizations of each fixed point agree within a few tenths of a millikelvin. Each laboratory can assign a temperature value to this common value on its national IPTS-68. In this case, the accuracy is limited by the scale non-uniqueness, ranging between  $\pm 0.5$  mK and  $\pm 1$  mK. We can try to lower that limit, one might hope, to  $\pm 0.2$  mK, by eliminating the non-uniqueness using one of the thermometers involved in the intercomparison at NPL. In fact, the laboratories which are in the position to do this can refer the temperature values measured on their national IPTS-68 to a single thermometer of that group, *e.g.* the master NPL one. A third series of tables (Tables VI.x.3) will provide this information.

The thermodynamic temperature value of the equilibrium state realized and reproduced by the cells can be directly assigned by those laboratories which have also made thermodynamic measurements in this temperature range.

Regarding the final presentation of the data, the Committee felt that there was no need for wide circulation of the complete final report and that it would be sufficient that a copy remain in the archives of the BIPM to be available in the future to anyone who may be interested in it. Since the BIPM is not in a position to publish it, IMGC will explore the possibility that the Italian National Research Council can produce a monograph, which would result in a publication which is more formal than a CCT document.

A joint publication containing the sets of results in the final form only will be submitted to *Metrologia*. It will be similar to that of the NPL intercomparison and, more recently, of the international intercomparison of flux densities of neutrons.

APPENDIX B

**Definitions**  
discussed in the 14th Session of the CCT

1. *Realization* of a temperature scale is achieved by following the procedures prescribed in the text of that scale which specify the defined values of a number of prescribed fixed points, the interpolation instruments, and the interpolation relations to be employed.
2. A *secondary realization* of an internationally-agreed temperature scale is obtained when one deviates from one or more of the defining procedures. To be of value, the maximum deviation of this « realization » from the primary scale must be specified.
3. *Calibration* is the act of achieving, for a thermometric sensor, a detailed relation between its measured thermometric parameter and temperature.
  - a) *Calibration by realization* is the result achieved for a sensor when it is used as the interpolation instrument in a *realization* or a *secondary realization* of a temperature scale (see 1 and 2 above). (N. B. In the latter case, the « secondary » nature ought to be specified.)
  - b) *Calibration by comparison* is achieving a calibration (see 3 above) of a sensor by comparing that sensor in a variable-temperature isothermal environment with a previously *calibrated* sensor or *calibrated* transfer device.

N. B. Where a sensor is *calibrated by comparison* with a second sensor which has, itself, been *calibrated by realization*, the association of the term *realization of the scale* with that procedure is not recommended ! [One might perhaps call it a *reproduction*, or *representation*, of the scale (?)].

N. B. Use of the simple term *calibration* (see 1) is only recommended for the most general discussions and/or where the meaning is apparent from the context. Only 3a or 3b can avoid ambiguity.

APPENDIX T 1

---

**Working documents presented  
at the 14th Session of the CCT**

---

These working documents, whether published or not in this volume, may be obtained in their original language upon request to the BIPM.

Document

CCT/

- 82-1 CCT Working Group 4 (1980). — Report N° 1 (January 1982) (*See* Appendix T 5, p. T 141).
- 82-2 KOL (Netherlands), NPL (United Kingdom). — Helium Vapour Pressure Equations on the EPT-76, by M. Durieux and R. L. Rusby.
- 82-3 NPL (United Kingdom). — Interpolation with Platinum Resistance Thermometers below 0 °C, by R. L. Rusby.
- 82-4 Final report of the international intercomparison of fixed points by means of sealed cells (1978-1982). Summary to appear in *Metrologia*.
- 82-5 ASMW (D.R.G.). — Investigation of the superconducting transition point of niobium as a reference temperature, by B. Fellmuth and H. Maas.
- 82-6 ASMW (D.R.G.). — Sealed triple point cells for low temperature thermometer calibration, by P. Seifert.
- 82-7 NRC (Canada). — Relation between heat of fusion and the amount of catalyst, by J. Ancsin.
- 82-8 NRC (Canada). — About the usefulness of deuterium in thermometry, by J. Ancsin.
- 82-9 NRC (Canada). — Note on the reporting of thermodynamic temperature intervals measured with an optical pyrometer, by R. E. Bedford.



- 82-10 NRC (Canada). — Melting curves of  $H_2O$ , by J. Ancsin. Published in *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 281-284.
- 82-11 NRC (Canada). — Measurement of the melting temperature of the copper 71.9 % silver eutectic alloy with a monochromatic optical pyrometer, by R. E. Bedford and C. K. Ma. Published in *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 361-369.
- 82-12 NRC (Canada). — Oxidation, stability and insulation characteristics of Rosemount standard platinum resistance thermometers, by R. J. Berry. Published in *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 753-762.
- 82-13 NRC (Canada). — Evaluation and control of platinum oxidation errors in standard platinum, by R. J. Berry. Published in *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 743-752.
- 82-14 NRC (Canada). — Properties of some noble and base metal thermocouples at fixed points in the range 0-1 100 °C, by E. H. McLaren and E. G. Murdock. Published in *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 953-975.
- 82-15 CSIRO (Australia). — Practical high temperature resistance thermometry, by J. V. McAllan. Published in *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 789-793.
- 82-16 CSIRO (Australia). — The effect of pressure on the water triple-point temperature, by J. V. McAllan. Published in *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 285-290.
- 82-17 CSIRO (Australia). — An international intercomparison of temperature standards of Asia/Pacific countries, by T. P. Jones. Published in *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 197-199.
- 82-18 CSIRO (Australia). — A photoelectric pyrometer temperature scale below 1 064.43 °C and its use to measure the silver point, by T. P. Jones and J. Tapping. Published in *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 169-174.

- 82-19 CSIRO (Australia). — The triple points of equilibrium and normal deuterium, by R. C. Kemp. Published in *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 249-250.
- 82-20 CSIRO (Australia). — The triple point of natural xenon, by R. C. Kemp, W. R. G. Kemp and P. W. Smart. Published in *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 229-230.
- 82-21 CSIRO (Australia). — Fixed point combination and termination points for platinum resistance thermometer interpolation below 273.15 K, by R. C. Kemp. Published in *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 155-158.
- 82-22 CSIRO (Australia). — Constant volume gas thermometry 13.8 to 83.8 K, by R. C. Kemp, L. M. Besley and W. R. G. Kemp. Published in *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 33-37.
- 82-23 CSIRO (Australia). — A noise thermometer for the range 100-150 °C, by C. P. Pickup. Published in *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 129-131.
- 82-24 CSMU (Czechoslovakia). — Realization of the triple point and melting point of gallium, by M. Borovicka and J. Demian.
- 82-25 Working Group 1 (H. Preston-Thomas, P. Bloembergen, T. J. Quinn):  
82-25/1 : The next revision of the IPTS  
82-25/2 : Draft A of the International Practical Temperature Scale of 1987.  
82-25/3 : Supplementary Information for the IPTS-68 and EPT-76 (Feb. 1982 — Version F).  
(See Appendix T 2, p. T 123).
- 82-26 INM (France). — Thermal behaviour of thermometric sealed cells and of a multi-compartment cell, by G. Bonnier and Y. Hermier. Published in *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 231-237.
- 82-27 BIPM. — Thermomètres à résistance de platine : phénomènes d'oxydation du platine, by J. Bonhoure and R. Pello.
- 82-28 NRLM (Japan). — An NRLM project for evaluating the performance of commercially available Pt thermometers at high temperature range, by M. Morimura and S. Sawada.
- 82-29 NPL (United Kingdom). — Interpolation with rhodium-iron resistance thermometers, 4.2 K to 24.5 K, by R. L. Rusby.

- 82-30 NRLM (Japan). — Thermophysical Properties Research Laboratory (U.S.A.). — Note on a standard blackbody radiator above 2 000 °C whose temperature is determined by the resistance ratio of a metal, by A. Ono, D. P. DeWitt and R. E. Taylor.
- 82-31 Report of Working Group 2 to the CCT (March 1982). (*See* Appendix T 3, p. T 124).
- 82-32 IMM (U.S.S.R.). — Point fixe de référence de fusion du gallium, by B. N. Oleinik, A. G. Ivanova, V. A. Zamkovetz and N. N. Ergardt.
- 82-33 NIM (People's Rep. China). — The development of a sealed triple point cell of argon, realization of its temperature and intercomparison with NRC and INM, by Li Zhiran and Li Zhongyue.
- 82-34 NIM (People's Rep. China).— High temperature platinum resistance thermometry at NIM, by Li Xumo, Su Jinrong, Fan Xiuhua and Chen Ming.
- 82-35 NIM (People's Rep. China).— Note on the intercomparison of the sealed triple-point-of-oxygen cells of NIM, IMGIC and INM, by Wu Biqin, Wang Zilin and Huan Ninsheng.
- 82-36 IMGIC (Italy). — Interpolating equations for industrial platinum resistance thermometers in the temperature range from — 200 to + 420 °C, by A. Actis and L. Crovini. Published in *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 819-827.
- 82-37 IMGIC (Italy). — Noise thermometry and related experiments at IMGIC, by L. Crovini and A. Actis. Published in *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 133-137.
- 82-38 IMGIC (Italy). — Ten years of research on sealed cells for phase transition studies of gases at IMGIC, by F. Pavese and D. Ferri. Published in *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 217-227.
- 82-39 IMGIC (Italy). — On the use of first-generation sealed cells in an international comparison of triple-point temperatures of gases, by F. Pavese. Published in *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 209-215.
- 82-40 CSIRO (Australia) and KOL (Netherlands). — Comparison of recent gas thermometer results at CSIRO and KOL, by W. R. G. Kemp, R. C. Kemp, L. M. Besley, P. P. M. Steur, J. P. Mars, H. ter Harmsel and M. Durieux.
- 82-41 Report of Working Group 3 (*See* Appendix T 4, p. T 133).

- 82-42 IMGC (Italy). — On the use of the freezing point of antimony at IMGC, by L. Crovini and P. Marcarino.
  - 82-43 NBS (U.S.A.). — Notes on the Comité Consultatif de Thermométrie Agenda, by J. F. Schooley.
  - 82-44 NIM (People's Rep. China). — Data on tests of high-temperature platinum resistance thermometers.
  - 82-45 NBS (U.S.A.). — Evaluation of HTPRT's.
  - 82-46 IMPR (U.S.S.R.). — Comments on the CCT Working Group 4.
-

APPENDIX T 2

---

**Report of Working Group 1 \***

Revision of the International Practical  
Temperature Scale and Supplementary Information

(Document CCT/82-25)

---

The report of Working Group 1 comprises two draft texts for discussion during the 14th Session of the CCT :

- draft A of the International Practical Temperature Scale of 1987;
- version F of Supplementary Information for the IPTS-68 and the EPT-76.

It was thought not worth while to publish these texts as they are only provisional.

February 8, 1982

---

\* Members of this Working Group are: H. PRESTON-THOMAS, chairman, National Research Council (Canada); P. BLOEMBERGEN, Van Swinden Laboratorium (Netherlands); T. J. QUINN, Bureau International des Poids et Mesures.

---

## APPENDIX T 3

---

### **1st Report of Working Group 2 \***

(Document CCT/82-31)

---

#### **1. Introduction**

At the 13th Session of the CCT (1980) Working Group 2 (WG 2) was assigned the dual tasks of:

i) Continuing to review proposed and existing secondary reference temperatures.

ii) Preparing a first draft of a document describing good thermometric practice directed at secondary techniques, including secondary realizations of the IPTS but excluding those items covered by the document « Supplementary Information for the IPTS-68 and EPT-76 » under preparation by WG 1.

In this report we present a second supplement to the « Extended List of Secondary Reference Points » published by WG 2 in 1977 [1]. A first supplement appeared in the 1980 report of WG 2 to the CCT [2]. This compilation may play an increasingly important rôle in the selection of a suitable group of defining fixed points (and possibly approved secondary fixed points) for the forthcoming revised IPTS.

WG 2 apologizes to the CCT, both for the lateness of this report and for having been unable to properly address task ii). Other commitments of members of WG 2 (preparing submissions for the 6th Symposium on Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry; assisting in other CCT-related tasks including preparation of the WG 1 monograph of Supplementary Information and preparation of reports on the international intercomparison of sealed triple-point cells) have prevented our being able to prepare a proper draft of a text on secondary

---

\* Members of this Working Group are: R. E. BEDFORD, chairman, National Research Council (Canada); G. BONNIER, Institut National de Métrologie (France); H. MAAS, Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung (D.R.G.); F. PAVESE, Istituto di Metrologia G. Colonnetti (Italy).

thermometry. In this report we do give an outline of the sorts of topics that may reasonably appear in the document, together with references to where detailed information on these topics may be found.

Furthermore, in discussions within WG 2, it became obvious that more specific terms of reference from the CCT were desirable regarding the content of the document. To quote the opinion expressed by one member of the group: « I have become more and more uncertain about the real boundaries of this work... the CCT has been more and more deeply concerned... about the link of the primary definition with the practical everyday use of the standards... (but may) go too far away from its tasks if it will become involved in « good thermometric practice directed at secondary techniques ». (The CCT)... should indicate the best methods to deal with the thermometers and the fixed points not included in the official definition. This is the task of WG 2. However, this should not look, I believe, as a book on good thermometric practice, since it should not include description of components nor procedures for use of these items, nor design of devices,... (but) only indicate how to relate temperature measurements made with non-standard thermometers and/or at non-primary reference temperatures to the official Scale, with the highest traceability and reliability... On this respect WG 2 cannot move forward before CCT has chosen an official calibration strategy ». The terms of reference given WG 2 were obviously much broader than this. Another difficulty concerns overlap between the suggested document and existing literature. There already exist publications on various aspects of thermometry that describe « good thermometric practice directed at secondary techniques », although admittedly no one publication covers the whole gamut. The task of WG 2 might be interpreted as collating this material into a single monograph, but the question remains as to how deeply this avenue can be pursued within a reasonably-sized document. WG 2 requires guidance from the CCT on these questions.

## 2. Secondary reference points

In Table 1 we list fifteen secondary reference points that have been determined (or redetermined) since our 1980 supplement [2] was prepared. For each equilibrium state in column 1, we list the value of temperature on the IPTS-68 in column 2, the uncertainty in this value as given by the author in column 3, our judgment of the category (footnote 1 to Table 1) of this uncertainty in column 4, and the associated reference in column 5. Many of the points fall in the cryogenic range where, in the revised IPTS, the highest density of defining fixed points may be required to provide adequate calibration for platinum resistance thermometers. If, as has been proposed, the revised IPTS defines temperature in the platinum resistance thermometer range in terms of low-degree least-squares deviations from a reference function, more defining fixed points than in the IPTS-68 will

TABLE I  
*Second supplement to « Extended List of Secondary Reference Points »*

Equilibrium State	T <sub>68</sub> (K)	Author's Estimate of Uncertainty		Reference
		Uncertainty (K)	Category (1)	
T.P. of neon isotope <sup>20</sup> Ne	24.5457	± 0.001	B	9
	24.548 (2a)	± 0.001	B	10
	24.546 (2b)	± 0.001	B	10
T.P. of natural neon	24.5627	± 0.0005	C	11
T.P. of argon	83.7977	± 0.0005	C	11
	83.7977	± 0.0007	A	12
T.P. of propane (β-phase)	85.515 (3)	± 0.001	C	13
T.P. of methane	90.6856	± 0.0007	A	12
T.P. of xenon	161.388	± 0.001	B	14
M.P. of gallium	302.9219	± 0.001	C	15
T.P. of gallium	302.9238	± 0.001	C	15
T.P. of benzoic acid (4)	395.520	± 0.002	B	16
M.P. of benzoic acid	395.533	± 0.002	B	16
M.P. of copper 71.9 % silver eutectic alloy	1 052.72	± 0.10	B	17
F.P. of copper	1 358.04	± 0.015	B	18
	1 358.03 (5)	± 0.06	B	19
R.T.M. (0.997 μm) of titanium	1 711	± 6	B	20
R.T.M. (0.653 μm) of titanium	1 800	± 6	B	20
M.P. of palladium (6)	1 827	± 4	B	21
R.T.M. (0.993 μm) of vanadium	1 875	± 7	B	22
R.T.M. (0.653 μm) of vanadium	1 992	± 7	B	22



Notes

1. The uncertainties quoted fall into one of the following categories :
  - A) 95 % (or 99 %) confidence level.
  - B) Includes estimates of both reproducibility and systematic errors.
  - C) Seems to include only an estimate of reproducibility.
  - D) No estimate of accuracy is given, but the value appears to be of accuracy comparable to other equilibrium states listed near this temperature.
2. Temperature measured on NBS-55 scale :
  - a) Conversion to IPTS-68 by table of Bedford *et al.* [18].
  - b) Conversion to IPTS-68 by measurement with calibrated thermometer [9].
3. Value at  $1/F = 1$  (where  $F$  is the fraction of sample melted).
4. T.P. previously listed as 395.52 K. Conversion to IPTS-68 by Crovini *et al.* [23]. M.P. at standard pressure (101 325 Pa) is also obtainable from reference 16.
5. This value measured relative to the F.P. of silver taken as 1 235.20 K (the mean of five independent determinations of the F.P. of silver relative to the F.P. of gold).
6. Temperature measured with specimen in argon at a pressure of  $\sim 200\,000$  Pa.
7. Abbreviations :

T.P.	triple point
M.P.	melting point
R.T.M.	radiance temperature on melting
F.P.	freezing point.

---

probably be required to allow for redundancy in the least-squares procedure, checking for calibration errors and thermometer quality, and overlapping of various sub-ranges.

Of the fifteen points listed in Table I, four [ $^{20}\text{Ne}$ , propane, Ti (0.997  $\mu\text{m}$ ), V (0.997  $\mu\text{m}$ )] are newly determined points, ten are new determinations of previously listed points, and one (benzoic acid) is for clarification of a previously-listed value. The continued excellent consistency of measurements of the triple points of argon and methane and of the freezing point of copper is noteworthy as some of these are certain to be chosen as defining fixed points of the revised IPTS. A new determination of the melting point of palladium is listed. This point is deserving of further study because it is important for high-temperature thermocouple calibrations. The effect of oxygen on the observed melting or freezing point should be investigated in more detail than heretofore because, although definitive measurements of the freezing temperature are usually made with the sample in vacuum or an inert atmosphere, thermocouple calibrations are simplest in air.

We draw attention to recent measurements of the triple points of equilibrium and normal deuterium. Our 1980 supplement [2] included the

triple point of n-D<sub>2</sub> as  $(18.729 \pm 0.002)$  K. We are forced to withdraw this point from our list pending resolution of some unusual reported discrepancies. The experiment on which the above value was based [3] showed D<sub>2</sub> behaving in perfectly normal fashion comparable to H<sub>2</sub>, exhibiting a good melting curve that could be extrapolated to  $F^{-1} = 1$  (where F is the fraction of sample melted) with little uncertainty. The measurements were made using a sealed D<sub>2</sub> triple-point cell constructed at IMGCC. Recently, in connection with the CCT-sponsored intercomparison of sealed triple-point cells, a deuterium cell has also been constructed at NRC. Measurements on this cell [4] give a triple-point temperature just as reproducible as that of the IMGCC cell but lower by 15 mK. Pavese [5] has recently measured the triple point of e-D<sub>2</sub>, reporting a value of  $(18.678 \pm 0.002)$  K. The same point measured by Ancsin [4] with an NRC cell is again 15 mK lower, so that both authors obtain 51 mK for the difference between the two triple points. An IMGCC cell has also been measured at NRC as part of the intercomparison and the temperatures reported by Pavese confirmed. Attempts to adulterate the deuterium in an NRC cell to produce such large discrepancies indicated that they are not due to impurities. The possibility of isotopic differences has not yet been tested. To further complicate the picture, Kemp [6] measured the triple point of e-D<sub>2</sub> to be 18.691 K (13 mK higher than Pavese!) and the difference between n-D<sub>2</sub> and e-D<sub>2</sub> to be only 18 mK. Earlier measurements by Woolley *et al.* [7] gave 32 mK for the difference between the triple points, while Grenier and White [8] obtained nearer 60 mK. In view of these discrepancies, the triple points of deuterium cannot yet be recommended as secondary reference points. Indeed, we must caution against any consideration as a future defining fixed point because, even when the difficulty is resolved, it may not be easy to ascertain that a particular sample is in the state specified for the definition.

### 3. Monograph on secondary thermometric techniques

The WG 2 terms of reference include preparation of a document describing good thermometric practice directed at secondary techniques. We list below several of the major topics that should be included in such a document and give references to where pertinent material on these may already be found. The set of references is by no means exhaustive. Those listed discuss the particular topics in rather broad outline; the references included in them, in turn, provide a comprehensive set wherein specific details may be found. The document to be prepared will obviously draw heavily on these and other such publications.

No one comprehensive text covering all aspects of modern secondary thermometry presently exists. There are, however, a number of publications that touch in some detail on most topics. Of the few textbooks available, that of Terny [24] is recommended for a good general treatment. Two

good, lengthy reviews of temperature measurement by McElroy and Fulkerson [25] and by Bedford *et al.* [26] are also available. Unfortunately, the discussions on instrumentation in these three works are now somewhat out of date. There is, of course, a wealth of information on all parts of thermometry in the printed proceedings of the series of conferences «Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry» [27], of which the fifth volume will appear in 1982. Detailed information on all of the topics listed below can be found somewhere in these volumes. An extensive bibliography of papers dealing with all kinds of temperature measurement and published in the period 1953 to 1969 has been compiled by Freeze and Parker [28]. In addition to these, it is our understanding that a textbook on thermometry by T. J. Quinn is soon to be published.

### **3.1 Liquid-in-glass thermometry**

Probably, still, the most-used secondary thermometers in the world for near-ambient temperatures fall into this category. Techniques for good use have been long established, with little change in recent years. Wise [29] gives a detailed discussion of their calibration and use. Probably similar information is offered by other national standards laboratories. Thompson [30] discusses the construction of liquid-in-glass thermometers, and Ween [31] describes how to properly select and use them.

### **3.2 Thermometers for use below 273 K**

This group is composed chiefly of various resistance thermometers (capsule and industrial platinum, rhodium-iron, germanium, carbon) and thermocouples, plus a few less-commonly-used types such as capacitance thermometers, semiconductor diodes, etc. What is required are details on their limitations, stability, proper use, calibration, probable accuracy, etc. Three reviews (with comprehensive reference lists) that touch on some parts of this are those by Corruccini [32], Swenson [33], and Rubin [34]. Platinum thermometers are discussed by Riddle *et al.* [35], although this discussion is slanted more towards their use as primary thermometers. Most of the work on rhodium-iron has emanated from NPL; some of it is discussed, for example, by Rusby [36]. Descriptions of low temperature thermocouples are scattered throughout the literature. Some material, together with reference tables, is given by Sparks *et al.* [37] and Powell *et al.* [38]. Previous reports to the CCT by the former WG 5 and the current report of WG 4 discuss the relative merits of some of these sensors.

### **3.3 Resistance thermometers**

Resistance thermometers of various types are used extensively and documentation similar to that mentioned in section 3.2 is required for

them. There is obviously much overlap between this section and section 3.2; here we might consider the range above 273 K and include industrial-type platinum sensors, other metal (copper, nickel, nickel alloys) resistance thermometers, thermistors, and so on. Thermistors have been the subject of a book by Hyde [39]. Wood *et al.* [40] discuss the stability of various types. Most of the available information on resistance sensors will be found in the various volumes of reference [27]. Johnston [41] discusses the construction and reliability of several commonly-used types. Anderson and Kollie [42] review their use at the higher temperatures.

### 3.4 Thermocouples

Thermocouples are undoubtedly the most-used thermometer and span the widest range ( $\sim 4$  K to 3 000 K). Information should be collated on the various types, their ranges of use, relative merits, proper annealing and effects thereof, proper use, assembly, effects of inhomogeneities, recalibration frequency, suitable atmospheres for use, insulation and sheathing, etc. A considerable amount of such material for base and noble metal thermocouples is available in an early circular by Roeser and Lonberger [43] and in an ASTM monograph [44]. Powell *et al.* [38] give reference tables for all of these and provide information on stability and reproducibility from lot to lot. Burns and Hurst [45] give an excellent overview of the status of thermocouple thermometry, and Guildner and Burns [46] discuss the chief factors limiting thermocouple accuracy. Thermocouples for use at high temperatures are reviewed by Bedford [47] and by Anderson and Kollie [42]. Kinzie [48] gives an extensive catalogue of thermocouple types, discussing their characteristics and limitations.

### 3.5 Radiation thermometry

Radiation thermometry is becoming increasingly important. Primary optical pyrometry is not the province of this monograph, but other sorts of radiation thermometers are. A great deal of information on (especially) infrared thermometers is scattered throughout the literature. Most aspects will be treated in a soon-to-be-published (under NBS auspices) tutorial-type book « Theory and Practice of Radiation Thermometry ».

### 3.6 Secondary realizations of the IPTS-68

The semantics of this subject has been a controversial subject within the CCT in recent sessions; the use of the term « secondary realization » here is not meant to add fuel to the fires.

At the 13th Session (1980) WG 2 reported on several possible secondary realizations covering various temperature ranges (details of these may be

found in the WG 2 report [2]). The situation is essentially unchanged since that report was prepared. At the 13th Session the CCT recommended two secondary realizations: 0 °C to ~ 1 200 °C based upon Pt 13 Rh/Pt thermocouples, and ~ 1 000 °C to 1 800 °C based upon Pt 30 Rh/Pt 6 Rh thermocouples. These realizations are obtained by calibrating a thermocouple at specified fixed points and fitting least-squares quadratics to the differences of the fixed point emfs from corresponding emfs in internationally-accepted reference tables [38]. Such realizations will probably reproduce the IPTS-68 to within  $\pm 0.5$  °C below 1 200 °C and  $\pm 1$  °C above.

March 12, 1982

### References

1. CROVINI, L., BEDFORD, R. E. and MOSER, A. *Metrologia*, **13**, 1977, pp. 197-206.
2. BEDFORD, R. E., CROVINI, L., MAAS, H. and SKAKALA, J. *Comité Consultatif de Thermométrie*, 13<sup>e</sup> Session, Annexe T3, 1980, pp. T55-T79.
3. PAVESE, F. and BARBERO, C. *Cryogenics*, **19**, 1979, pp. 255-260.
4. ANCSIN, J., Document CCT/82-8.
5. PAVESE, F. *Physica*, **107B**, 1981, pp. 333-334.
6. KEMP, R. C. *In: Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 249-250 (and Document CCT/82-19).
7. WOOLLEY, H. W., SCOTT, R. B. and BRICKWEDDE, F. G. *J. Res. Nat. Bur. Stand.*, **41**, 1948, pp. 379-475.
8. GRENIER, G. and WHITE, D. *J. Chem. Phys.*, **40**, 1964, pp. 3015-3030.
9. KEMP, R. C. and KEMP, W. R. G. *Metrologia*, **17**, 1981, pp. 67-68.
10. FURUKAWA, G. T. *Metrologia*, **8**, 1972, pp. 11-27.
11. SEIFERT, F., Document CCT/82-6.
12. BLANKE, W. and THOMAS, W. *Temperature Measurement in Industry and Science*, IMEKO Symposium, 1981.
13. PAVESE, F. and BESLEY, L. M. *J. Chem. Thermodyn.*, **13**, 1981, pp. 1095-1104.
14. KEMP, R. C., KEMP, W. R. G. and SMART, P. W. *In: Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 229-230.
15. BOROVIČKA, M. and DEMIAN, J., Document CCT/82-24.
16. SCHWAB, F. W. and WICKERS, E. *J. Res. Nat. Bur. Stand.*, **34**, 1945, pp. 333-372.
17. BEDFORD, R. E. and MA, C. K. *In: Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 361-369 (and Document CCT/82-11).
18. JONES, T. P. and TAPPING, J. *In: Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 169-174 (and Document CCT/82-18).
19. OHTSUKA, M. and BEDFORD, R. E. *In: Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 175-181.

20. RIGHINI, F., ROSSO, A., COSLOVI, L., CEZAIRLIYAN, A. and McLURE, J. L. Proceedings of the Seventh Symposium on Thermophysical Properties, New York, American Society of Mechanical Engineers, 1977, pp. 312-318.
21. MILLER, A. P. and CEZAIRLIYAN, A. *Int. J. Thermophysics*, **2**, 1981, pp. 63-71.
22. CEZAIRLIYAN, A., MILLER, A. P., RIGHINI, F. and ROSSO, A. *High Temp. Sci.*, **11**, 1979, pp. 223-232.
23. CROVINI, L. and MARCARINO, P. *Anal. Chem.*, **53**, 1981, pp. 681-686.
24. TERNY, M. La Mesure des Températures au Laboratoire et dans l'Industrie, Paris, Dunod, 1962.
25. McELROY, D. L. and FULKERSEN, W. « Temperature Measurement and Control », Chapter 2, *In: Techniques of Metals Research*, New York, Interscience, 1968.
26. BEDFORD, R. E., DAUPHINEE, T. M. and PRESTON-THOMAS, H. « Temperature Measurement », Chapter 1, *In: Tools and Techniques in Physical Metallurgy*, New York, Marcel Dekker, 1970.
27. Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry : Vol. 1, New York, Reinhold, 1941; Vol. 2, New York, Reinhold, 1955; Vol. 3, New York, Reinhold, 1962; Vol. 4, Pittsburgh, Instrument Society of America, 1972; Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982.
28. FREEZE, P. D. and PARKER, L. P. *NBS Special Publication 373*, 1972.
29. WISE, J. A. *NBS Monograph 150*, 1976.
30. THOMPSON, R. D. *ISA Trans.*, **7**, 1968, pp. 87-92.
31. WEEN, S. *ISA Trans.*, **7**, 1968, pp. 93-100.
32. CORRUCINI, R. J. *Adv. Cryogenic Eng.*, **8**, 1962, pp. 315-333.
33. SWENSON, C. A. *Critical Reviews in Solid State Sciences*, **1**, 1970, pp. 99-136.
34. RUBIN, L. G. *Cryogenics*, **10**, 1970, pp. 14-22.
35. RIDDLE, J. L., FURUKAWA, G. T. and PLUMB, H. H. *NBS Monograph 126*, 1973.
36. RUSBY, R. L. *In: Temperature Measurement 1975*, London, Institute of Physics, Conference Series N° 26, 1975, pp. 125-130.
37. SPARKS, L. L., POWELL, R. L. and HALL, W. J. *NBS Monograph 124*, 1972.
38. POWELL, R. L., HALL, W. J., HYINK, C. H., SPARKS, L. L., BURNS, G. W., SCROGER, M. G. and PLUMB, H. H. *NBS Monograph 125*, 1974.
39. HYDE, F. J. Thermistors, London, Iliffe Books, 1971.
40. WOOD, S. D., MANGUM, B. W., FILLIBEN, J. J. and TILLET, S. B. *J. Res. Nat. Bur. Stand.*, **83**, 1978, pp. 247-264.
41. JOHNSTON, J. S. *In: Temperature Measurement 1975*, London, Institute of Physics, Conference Series N° 26, 1975, pp. 80-90.
42. ANDERSON, R. L. and KOLLIE, T. G. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, **6**, 1976, pp. 171-221.
43. ROESER, W. F. and LONBERGER, S. T. *NBS Circular 590*, 1958.
44. ASTM Special Technical Publication 470 B: « Manual on the Use of Thermocouples in Temperature Measurement », Philadelphia, American Society for Testing and Materials, 1980.
45. BURNS, G. W. and HURST, W. S. *In: Temperature Measurement 1975*, London, Institute of Physics, Conference Series N° 26, 1975, pp. 144-161.
46. GUILDNER, L. A. and BURNS, G. W. *High Temp. — High Press.*, **11**, 1979, pp. 173-192.
47. BEDFORD, R. E. *High Temp. — High Press.*, **4**, 1972, pp. 241-260.
48. KINZIE, P. A. Thermocouple Temperature Measurement, New York, John Wiley, 1973.

## APPENDIX T 4

---

### 1st Report of Working Group 3\* (Document CCT/82-41)

---

The Working Group 3 was constituted at the last CCT meeting with the following terms of reference :

i) The preparation, for the replacement IPTS, of interpolating equations for the temperature range (possibly 14 K to 1 064 °C) covered by platinum resistance thermometers.

ii) The selection of a junction temperature between the platinum resistance thermometer and the optical pyrometer ranges.

iii) Selection of fixed points in the platinum resistance thermometer range.

iv) The selection, in consultation with WG4, of a lower limit for the temperature range in which the platinum resistance thermometer will define the IPTS.

v) The arranging of a comparison between, and an assessment of the behaviour of, high-temperature platinum resistance thermometers now under development or ready for production.

vi) Reviewing measurements of thermodynamic temperature above 14 K.

As a consequence, this report deals with the following topics :

A) Interpolating equations of platinum resistance thermometers (PRT's) and fixed points;

B) Determinations of thermodynamic temperatures;

C) Radiation thermometry;

D) High temperature platinum resistance thermometers, their development and intercomparison.

---

\* Members of this Working Group are : L. CROVINI, Chairman, Istituto di Metrologia G. Colonnetti (Italy); P. B. COATES, National Physical Laboratory (United Kingdom); W. R. G. KEMP, CSIRO (Australia); LING SHAN KANG, National Institute of Metrology (People's Rep. of China); J. F. SCHOOLEY, National Bureau of Standards (U.S.A.); W. THOMAS, Physikalisch-Technische Bundesanstalt

## 1. Interpolation of temperature between 13.8 K and 273.15 K

No exact specification for the lower end of the next IPTS has ever been set out by the CCT but several preferences have been expressed by members from time to time. These include for example the overall uncertainty of its realization and the avoidance of the use of pressure measurements. It is hoped that the reproducibility of the new scale shall be better than 1 mK over the whole range and preferably of the order 0.2 mK, say, below 20 K. Pressure measurements were to be avoided by replacing boiling points and vapour pressure measurements by conveniently located triple points. Important requirements of the new scale are that it represents thermodynamic temperatures within a factor three of its reproducibility and that it be smooth with respect to thermodynamic temperatures. These requirements have been taken into consideration in deriving the scheme discussed below.

At present it is impossible to meet the requirements mentioned above, since there are insufficient data available to specify the thermodynamic temperature of the defining fixed points between 27.1 K and 273.15 K. There is sufficient information available to show that the values assigned on IPTS-68 are in error from thermodynamic temperature by as much as 8 mK. A similar problem of lack of data also prevents the removal of all pressure measurements from the new scale.

Sufficient evidence is also available to indicate what the form of an interpolating process should be when all the necessary information becomes available. The following recommendations therefore are made to provide a basis for discussion.

**1.1.** — The capsule platinum resistance thermometer (PRT) in its present form should be retained as an interpolating instrument in the range from the triple point of hydrogen to 273.15 K.

**1.2.** — The new scale can be based on the following defining points. The probable new temperatures are shown under IPTS-XX.

Reference point	IPTS-XX
Triple point of equilibrium hydrogen (e-H <sub>2</sub> )	13.804 4
Boiling point of e-H <sub>2</sub> at a pressure of 33 330.6 Pa	17.037 3
Boiling point of e-H <sub>2</sub> at a pressure of 101 325 Pa	20.273 5
Triple point of <sup>20</sup> Ne	24.540 2
Triple point of O <sub>2</sub> *†	54.359 ?
Triple point of Ar†	83.806 ?
(Triple point of Kr)†	?
Triple point of water	273.16 K

\* The unexpected variability of sealed-cell triple-point temperatures raises a question regarding reproducibility of the point.

† Values accurate within 1 mK of thermodynamic temperatures are needed for these points.



Because of its usefulness with respect to an anomaly in the PRT  $R$  vs.  $T$  relation, the possibility of adding to this list the triple point of isotopically separated Xe should be considered.

A calibration point above 273.15 K is necessary to provide a smooth interpolation behaviour at 273.15 K. The minimum temperature interval between 273.15 K and such a point is not known at this time.

1.3. — The reference function for the range from the triple point of e-H<sub>2</sub> to 273.15 K shall be based on the properties of the group of 35 PRT's intercompared by Ward and Compton at NPL [1, 7].

1.4. — The deviation function  $\Delta W = W - W_{\text{ref}}$  for the new scale shall be of form

$$\Delta W = a(W - 1) + b(W - 1)^2 + \sum_{i=1}^{i=5} c_i (\ln W)^i$$

where  $W_{\text{ref}}$  is the reference function based on the properties of a single PRT.

There are many possible interpolation schemes [2, 3, 4, 5, 6, 7] using possible alternative defining temperatures. Several of these have dispensed with boiling points and use as alternatives the triple points of e-D<sub>2</sub> and of krypton and/or xenon. The  $\beta$ - $\gamma$  transition of O<sub>2</sub> has also been used. *At present* none of these points can be recommended as the data available are insufficient to properly assess their worth or there are difficulties associated with their realization which make their use impracticable.

Quite recently, Rusby at NPL [8] proposed an interpolation scheme that entails a 6-parameter deviation function fitted to the seven fixed points, beside the triple point of water, as shown in the preceding point 1.2. The triple points of mercury and of gallium have been proposed as possible alternatives to the steam point. The gallium point has been tested in several laboratories and shown to yield a reproducibility better than 0.2 mK. A least-squares approximate determination of the coefficients of the deviation function, however, is difficult to accept, because it generates a curve not exactly passing through the fixed points, though the « non-uniqueness » at fixed points is, in practice, much smaller than that between the fixed points.

In the case the lower junction point be raised to 24.6 K, Rusby suggests a scheme with a 4-parameter interpolating equation, with the coefficients exactly determined at four fixed points, *i.e.*, the triple points of Ne, O<sub>2</sub> and Ar and the steam point. Near 30 K, this scale exhibits a « non-uniqueness » of 0.8 mK and irreproducibilities of 2.4 and 1.8 mK as a result of calibration errors of 1 mK at the triple points of O<sub>2</sub> and Ar, respectively.

## 2. Interpolating equations above 273.15 K

This section is essentially devoted to long-stem standard platinum resistance thermometers. It includes the conventional range from 0 °C to

TABLE I

*List of possible primary fixed points for a new IPTS*

Substance and transition	Temperature IPTS-68	Comments on the reproducibility
e-H <sub>2</sub> TP	13.81 K	Very good
e-H <sub>2</sub> VPE	17.042	Very good
e-D <sub>2</sub> TP	18.68	Cannot be recommended
e-H <sub>2</sub> BP	20.28	Very good
Ne TP (*)	24.563	Good - Isotope sensitive
O <sub>2</sub> TP +	54.361	Very good
N <sub>2</sub> TP +	63.146	Very good
Ar TP (**)+	83.798	Very good
Kr TP +	115.76	Good, more information required
Xe TP +	161.39	More information required
Hg TP	234.308	Very good reproducibility, but requires more determinations
H <sub>2</sub> O TP	273.16	Very good
Ga TP	29.774 °C	Very good
H <sub>2</sub> O BP	100	Good
In FP	156.634	Very good
Sn FP	231.9681	Very good
Cd FP (***)	321.108	Very good
Zn FP	419.58	Very good
Cu-Al EP	548.26	Good
Al FP (§)	660.46	Very good
Ag FP	961.93	Very good
Au FP	1 064.43	Probably very good
Cu FP	1 084.9	Good

(\*) A better reproducibility is obtained when adopting <sup>20</sup>Ne TP, to which a temperature  $T = 24.5402$  K can be assigned.

(\*\*) A practicable alternative to this point might be CH<sub>4</sub> TP (90.686 K). It requires, however, more investigations.

(\*\*\*) Cd FP can be replaced by Pb FP (327.502 °C), which is equally reproducible.

(§) Sb FP (630.755 °C), when properly realized in an inert atmosphere, yields a reproducibility of 1 mK. Thus, it can be considered as a valid alternative to Al FP.

(+) Needs better thermodynamic temperature determination.

Very good : reproducibility better than 0.2 mK below 500 °C, better than 2 mK from 500 °C to 1 100 °C

Good : reproducibility better than 0.5 mK below 90 K, better than 1 mK from 90 K to 500 °C and 10 mK from 500 °C to 1 100 °C

TP : triple point

BP : normal boiling point

VPE : boiling point at 33 360.6 Pa

FP : freezing point

EP : eutectic point

be documented. The intercomparison of sealed cells is providing us with valuable information in this sense for low-temperature fixed points.

The intercomparison of gallium cells being carried out at IMGCC, INM and NPL is already showing that this requirement is fully met by the gallium triple point.

High-temperature fixed points ( $t \geq 600^\circ\text{C}$ ) could not appear to be so reproducible, essentially because the PRT's are not sufficiently stable at those temperatures.

We recommend that the use of alternative defining fixed points for scale realization should not be permitted.

#### 4. Determinations of thermodynamic temperatures

##### 4.1. Range from 14 K to 27 K

We recommend adoption of the NPL-75 scale as representing thermodynamic temperatures in this range.

##### 4.2. Range from 20 K to 100 K

Work done by the PTB, the CSIRO, and the KOL, and discussed at the 6th Temperature Symposium describes measurements in this range. This work requires evaluation before assigning thermodynamic temperatures from 20 K to 100 K.

It is desirable that thermodynamic temperatures be measured in the range 100-273 K with an accuracy within 1 mK.

##### 4.3. Range from $0^\circ\text{C}$ to $1\,065^\circ\text{C}$

It is very desirable to obtain a thermodynamic temperature value for either the Sb or the Al freezing point accurate within 10 mK.

A new value of the thermodynamic temperature of the antimony point ( $T - T_{68} = -0.03\text{ K}$ ) has been determined by NPL [11] and IMGCC [12]. Analysis of the measurements between  $440$  and  $630^\circ\text{C}$  by photon-counting pyrometry at NPL [11] is still proceeding. Assuming the measured thermodynamic temperature for the antimony point to be correct, preliminary results indicate that the thermodynamic temperature of the gold point is lower than the IPTS-68 value by only about  $0.1^\circ\text{C}$ .

The total radiation pyrometry (calorimetry) experiment of Quinn and Martin, NPL, has recently given results in the range from  $-30^\circ\text{C}$  to  $90^\circ\text{C}$ . Above  $0^\circ\text{C}$ , the results are in substantial agreement with the gas thermometry of Guildner *et al.*, NBS. The estimated uncertainty of each point, expressed as a standard deviation, varies between 1 and 2 mK.

#### 5. Radiation thermometry

This section covers radiation thermometry where it interacts with the realization of a platinum resistance scale at high temperatures. Although

no result is available at present, some experiments are in progress in various national laboratories.

At NRLM, Ibaraki, Japan, Sakuma is carrying out a comparison between an infrared ( $\lambda \simeq 1 \mu\text{m}$ ) photoelectric pyrometer and platinum resistance thermometers in the temperature range from the freezing point of aluminium to the silver point.

Jung at PTB, Berlin, intends to study the characteristic of platinum resistance thermometers between the zinc and gold points, using his infrared photoelectric pyrometer.

At NPL, it is envisaged to extend the range of the measurements with the photon-counting pyrometer up to the gold point and to carry out a comparison with platinum resistance thermometers.

Lastly, Bonhoure at BIPM is attempting to measure  $T - T_{68}$  below  $630^\circ\text{C}$ .

## 6. Intercomparison of high temperature platinum resistance thermometers

The information about the high-temperature stability of available HTPRT's indicates that an intercomparison is possible. Besides NBS, both the National Institute of Metrology (NIM) of Beijing and the National Research Laboratory for Metrology of Ibaraki wish to contribute to the intercomparison with thermometers of their own design.

The Chinese thermometers (NIM) show excellent high-temperature stability properties. According to Long Guang and Tao Hongtu [13], after 455 hours at  $1\,070^\circ\text{C}$ , the drift of the  $0.25 \Omega$  thermometers is  $0.5 \text{ mK}$  to  $3.6 \text{ mK}$  in  $R(0)$  per 100 hours. The Japanese thermometers, produced by Chino Works, according to Jung and Nubbemeyer [14] show a drift of  $3.6 \text{ mK}$  to  $12.7 \text{ mK}$  in  $W$  per 100 hours at the silver point. The NBS  $2.5 \Omega$  thermometers show a change in  $R(0)$  of  $8 \text{ mK}$  to  $40 \text{ mK}$  after 400 hours at  $1\,100^\circ\text{C}$ .

The NIM and the NBS are ready to furnish at least three thermometers for the intercomparison, and it is understood that NRLM would do the same. The NIM has agreed to furnish 20 HTPR thermometers to the CCT for evaluation. We recommend that these thermometers be distributed to competent laboratories in groups of two or three for evaluation of their characteristics.

Testing would be done following the recommendations of the originating laboratory. Participating testing laboratories should submit to WG 3 their testing program. They are expected to provide  $R$  and  $W$  data at the triple point of water and at as many as possible freezing points of metals (*e.g.*, Sn, Zn, Al, Ag, Au, Cu).

The originating laboratories should provide data on long-term stability, immersion characteristics and ease of construction. All data should be considered by WG 3 as quickly as they become available in order to choose

a suitable upper junction point and defining fixed points and to solicit information on interpolation methods.

It is envisaged that the intercomparison could start just after the CCT meeting in Paris.

March 25, 1982

### References

1. WARD, S. D. and COMPTON, J. P. *Metrologia*, **15**, 1979, p. 31.
  2. KIRBY, C. G., BEDFORD, R. E. and KATHNELSON, J. *Metrologia*, **11**, 1975, p. 117.
  3. KEMP, R. C., BESLEY, L. M. and KEMP, W. R. G. *Metrologia*, **14**, 1978, pp. 137-142.
  4. WARD, S. D., Document CCT/78-36.
  5. WARD, S. D. and RUSBY, R. L., Document CCT/80-52.
  6. KEMP, R. C., KEMP, W. R. G. and BESLEY, L. M. *Metrologia*, **17**, 1981, p. 43.
  7. KEMP, R. C. *In: Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 155-158.
  8. RUSBY, R. L., Document CCT/82-29.
  9. BERRY, R. J. *Metrologia*, **2**, 1966, p. 80.
  10. McLAREN, E. H. *Can. J. Phys.*, **37**, 1959, p. 422.
  11. COATES, P. B., ANDREWS, J. W. and CHATTLE, M. V., Document CCT/80-27.
  12. CROVINI, L. and ACTIS, A. *Metrologia*, **14**, 1978, p. 69.
  13. LONG Guang and TAO Hongtu. *In: Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 783-787.
  14. JUNG, H. J. and NUBBEMAYER, H. *In: Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 763-770.
-

## APPENDIX T 5

---

### 1st Report of Working Group 4 \*

Extension below the platinum thermometer region of a revised IPTS  
(Document CCT/82-1)

---

#### 1. Introduction

In our view there are 3 categories of thermometers for possible use as interpolation in a revised and extended IPTS. There are :

1. A resistance thermometer, specifically rhodium-iron (Rh-Fe), which would have the advantages of simplicity, low cost [assuming that a PRT bridge capable of operating in the range 0.1 to 1 mA is already available], and ease of utilization as low as 0.5 K.

2. An interpolating gas thermometer (i.g.t.). This is near-thermodynamic and, in principle, simple. It involves manometry and 2 major costs (piston gauge and diaphragm) and is not trivial to set up.

3. A magnetic thermometer. This has calibration requirements of intermediate simplicity (4 points), is less costly than the i.g.t. to set up, but is less foolproof. The measurements being electrical, however, they are simple once the device has been set up.

A general assumption associated with our discussion of these options is that of a significant rôle for the saturation vapour pressure (s.v.p.) of  $^3\text{He}$  and/or  $^4\text{He}$ . An important accompanying opinion is that, while information and advice for facilitating thermometry below 0.5 K might be offered in some appropriate document, no problems exist such as would call for an extension of an IPTS into this region.

---

\* Members of this Working Group are : R. P. HUDSON, Chairman, Bureau International des Poids et Mesures; M. DURIEUX, Kamerlingh Onnes Laboratorium (Netherlands); R. L. RUSBY, National Physical Laboratory (United Kingdom); C. A. SWENSON, Iowa State University (U.S.A.).

## 2. Specific remarks on the alternatives for range and device

### A. Platinum resistance thermometer cut-off temperature at 13.81 K

i) *Rh-Fe*, 4.2 K to 13.81 K

a) *First possibility*

A calibration vs.  $^4\text{He}$  s.v.p. between 2.2 K and 4.2 K (a minimum of 6 points), the superconductive transition point ( $T_c$ ) of lead, and the platinum resistance thermometer (PRT) between 13.81 K and 20 K — also a minimum of 6 points. If the PRT non-uniqueness is 1 mK at 17 K, then the error at 10 K would also be about 1 mK.

The accuracy of this interpolation is also dependent upon the accuracy of  $T_c$  (Pb), for which the difference between samples may be as much as 1 mK. An error of 1 mK in the Pb point would cause an interpolation error of 1 mK at 10 K.

In comparison with the above, errors from s.v.p. measurement can be expected to be small.

A recent study of 25 Rh-Fe thermometers\* has shown that interpolations such as discussed above are accurate (as checked against the full calibration curve) to within  $\pm 1$  mK, an unknown proportion of which [probably about half] is due to errors in the calibration data while the remainder is true interpolation error. However, all of the above discussion is relevant only to these 25 thermometers and may not be applicable to sensors produced in the future.

b) *Second possibility*

Replace most of the s.v.p. points by 5 superconductive fixed points (s.f.p.'s) — those elements which comprise NBS's SRM 767 — and use the  $\lambda$ -point and normal boiling point (n.b.p.) of  $^4\text{He}$ . This is doubtless not a valid proposal until the s.f.p.'s attain a true « fixed point of nature » status.

c) *Rh-Fe wire scale*

An internationally-accepted « wire scale », based upon a battery of calibrated Rh-Fe thermometers and held for scale-transfers at BIPM (or some « contracting » national standards laboratory) would yield the greatest accuracy and economy although it may be objected to on aesthetic or traditional grounds. Fears that such a scale might be « lost », however, cannot form a basis for valid objections, unless they are linked to the materials-supply problem\*\*.

---

\* RUSBY R. L. *In*: Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 829-833.

\*\* All Rh-Fe thermometer proposals have a somewhat weak base, at present, because the material is available through only one supplier and the product cannot be specified (except in terms of its thermometric performance).

ii) *Interpolating gas thermometer, 4 K to 13.81 K*

Recently, a one-litre-bulb gas thermometer (g.t.), referenced to 27 K as taken from NPL-75 via a Rh-Fe transfer thermometer, was compared<sup>+</sup> to NPL-75 down to 4 K. In the range 4 K to 14 K agreement was found to within  $\pm 0.5$  mK which included transfer errors, of course.

This experiment may be considered as a demonstration of the uniqueness of a scale upon the i.g.t. in this range and thus the i.g.t. is evidently superior to the interpolating Rh-Fe thermometer (although it is much more complicated and costly).

Possible specifications are: — copper bulb with gold-plated interior, volume 1 litre; connecting capillary 1 mm i.d. stainless steel; deadspace volume at room temperature  $\sim 10$  cm<sup>3</sup>; filling pressure  $\sim 1.3$  kPa.K<sup>-1</sup>. To be used with a recommended expression for the virial coefficient  $B(T)$ .

As before, helium s.v.p. would be used below 4 K or, alternatively, the i.g.t. could operate down to 3 K with only <sup>3</sup>He s.v.p. required below this.

iii) *Gd(PO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> Magnetic thermometer, 4 K\* to 13.81 K*

We conclude it would be highly advisable to specify the sensing material (gadolinium phosphate glass). Based upon present knowledge, a 4-point calibration would be required, using points in the region of 2, 3 and 4 K plus 13.81 K. As under 2 A (i), one might contemplate s.f.p.'s, the s.v.p.'s, or a combination thereof.

Possible specifications: — 1 cm<sup>3</sup> sensor, sensing mutual inductance  $\geq 1$  mH, measuring frequency in the range 20 to 200 Hz. The interpolation accuracy is unproven but is probably of the order of that of the i.g.t.

Similar remarks to those under (ii), concerning He s.v.p. and the region below 4 K (or 2 K \*), apply.

## **B. Platinum resistance thermometer cut-off temperature at 24.56 K**

i) *Rh-Fe, 4.2 K to 24.56 K*

Compared with 2 A (i) — above — one would extend the PRT calibration range upwards and make use of the fixed points 13.81 K, 17 K, 20.38 K, and 24.56 K plus 2 or 3 PRT points up to 26 K.

In the aforementioned study of 25 thermometers, the worst interpolation error using this scheme was still only 1 mK, and again probably half of this error was in reality due to errors in the data at the fixed points (as inferred from the residuals of the full fits). The effect of

---

<sup>+</sup> STEUR, P. P. M., VAN DIJK, J. E., MARS, J. P., TER HARMSSEL, H. and DURIEUX M. *In: Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry, Vol. 5, New York, American Institute of Physics, 1982, pp. 25-31.*

\* This particular thermometer, chosen for its « strength » and hence good S/N ratio in the presence of commonly-encountered e.m. interference, could not be used very much below 4 K with only a 4-point calibration. 5 points would probably cover needs down to 2 K.



such errors is easily calculated by re-fitting with additional errors of 1 mK at each point in turn. These errors shift the curve by no more than 1.1 mK in the vicinity of the fixed points and their effects are much attenuated elsewhere. The effect of multiple errors is simply the sum of the individual components, and the magnitudes do not vary from one thermometer to another.

We record that an error of + 1 mK at the 17 K point causes a shift in the curve of + 0.7 mK at 17 K and — 0.5 mK at 10 K. There is no reason why carefully executed realizations of this point need differ by more than 1 mK, but in view of differences found in the past it may be argued that the 17 K point is best omitted. The overall accuracy of interpolation for the 25 thermometers is not significantly affected by this. However, the effects of errors at 7.2 K and 20.3 K are about 20 % larger, while an error at 13.8 K persists to rather higher temperatures.

ii) *Interpolating gas thermometer, 4 K to 24.56 K*

The KOL-NPL g.t. comparison gave discrepancies of the order of 0.5 mK between 14 K and 24 K, indicative of the increasing difficulties encountered with gas thermometry as  $T$  increases (larger deadspace effect and a falling-off in the relative accuracy of pressure measurement).

Are there compensations? For example, would one produce hereby a scale which, in the region 14 K to 25 K, has an improved uniqueness compared with the present (or a future) PRT situation? Probably so.

iii) *Magnetic thermometer, 4 K to 24.56 K*

From present knowledge, even a «strong» magnetic thermometer would not readily yield a satisfactory system for international-scale purposes up to a temperature as high as 24.56 K, owing principally to loss of sensitivity.

### C. Temperatures below the $^3\text{He}$ saturation vapour pressure region

At this juncture it is not practicable to suggest a scheme for the region below 0.5 K which would remain largely satisfactory for, say, the next 15 years. We shall briefly consider, however, the major options presently available in case the CCT should wish to offer advice by way of «supplementary information». The options fall into 2 categories: (i) extrapolation below, say, 0.5 K — in analogy with the region above the gold point, and (ii) interpolation between 0.5 K and some much-lower-temperature fixed point:

(i) *Extrapolation*

(a) *Pulsed platinum [ $^{195}\text{Pt}$ ] nuclear resonance thermometer*

We choose Pt as having some practical advantages over other elements and, similarly, pulsed NMR over cw (*see, e.g., Hudson and Mangum,*

CCT/80-36). Such an instrument has been calibrated near 2 K and claimed to be accurate to better than  $\pm 2\%$  down to 0.1 mK, perhaps lower. Calibration against a  $^3\text{He}$  s.v.p. point or a superconducting  $T_c$  near 0.5 K should be feasible for the existing (less-sophisticated) commercial apparatus, but adequate documentation is presently lacking. That same instrument also has an internal calibration arrangement, but this must be used in the 10 mK to 20 mK region and, moreover, requires further research on the properties of Pt before it can be wholeheartedly supported. Technical developments over the next few years should remove all worries in this connection, whereupon one will have at hand a thermometer capable of indicating thermodynamic temperature over 4 to 5 decades!

(b) *CMN-based magnetic thermometer*

This can be calibrated just as well in the 1 K to 2 K region as in the range 0.5 K and up. Only 2 points are needed; choosing 2.1 K and 1.2 K for these, an uncertainty in  $T$  of 1/4 % and 1/2 %, respectively, will give an uncertainty of 1/2 % in the *magnetic* temperature,  $T^\blacksquare$ , at any temperature. These requirements correspond to 3 % in the measurement of  $^3\text{He}$  s.v.p. at the calibration points. Other uncertainty levels may be achieved pro rata.

For a «standard» powdered-CMN sensor, the relation

$$T^\blacksquare - T = \left[ 0.16 - \frac{1.055 \text{ mK}}{T} \right] \text{mK}$$

may be extracted from the measurements of Wheatley *et al.*, and is valid down to 2.5 mK. This result could, if confirmed, be applied to correct  $T^\blacksquare$  to  $T$ ; in any case, the correction terms are too small to be «picked up» in the He s.v.p. region. Alternatively, one might take the correction as being given by  $T^\blacksquare - T = (0.2 \pm 0.2) \text{ mK}$  and then simply ignore it, in which case the error in  $T$  (ignoring any uncertainty in  $T^\blacksquare$ ) falls below 1 % as  $T$  rises above 20 mK.

For a single-crystal spherical sensor the departures of  $T^\blacksquare$  from  $T$  are larger, though better established. Thermal contact is difficult to establish below 30 mK; this, however, is a *general* problem at temperatures below 1 K and would have to be addressed as a part of «supplementary information», presumably.

(ii) *Interpolation*

Here the state of affairs is somewhat frustrating because while we have a good interpolator in either CMN susceptibility or Pt (or Cu) NMR, plus the capability of measuring the thermodynamic temperature of fixed points to  $\pm 0.5\%$  (by noise or nuclear orientation thermometry, as demonstrated at NBS), the available reference points which might be considered for furnishing the low-temperature extremity are, at best, only «promising» at the present time. In the region of 20 mK one has the superconducting transitions of tungsten (16 mK) and beryllium (24 mK); purification is a

difficult problem for these metals and so  $T_c$  is somewhat variable. The  $^3\text{He}$  superfluid transition near 2 mK *could* be used, in principle, in conjunction with  $^{195}\text{Pt}$  NMR (but not with CMN magnetometry) although this is probably not really practicable, considering the facilities likely to be on hand at national standards and subsidiary calibrating laboratories. To be a little more optimistic and/or forward-looking, however, one might expect 10 mK refrigeration systems, at least, to proliferate; thus interpolation proponents must continue to hope that further research and development will bring the  $T_c$  of W or of Be up to « universal » status\*.

No fixed points other than those mentioned above are in sight until one reaches the neighbourhood of 0.1 K, where there occurs the transition for iridium (which is also beset by purification difficulties); at higher temperatures there are the transitions of  $\text{AuAl}_2$  (0.160 K),  $\text{AuIn}_2$  (0.205 K) and cadmium (0.519 K). A significant rôle for an interpolating resistance thermometer such as Rh-Fe does not appear to be possible, therefore, even if all the present superconductor development work achieves success, as the available fixed points will be too few for the task.

The foregoing pays scant heed to the accurate knowledge concerning the melting curve of  $^3\text{He}$  which has been amassed in recent years. This highly-reproducible phenomenon rests on a sound theoretical base and presents a thermometric parameter the temperature-dependence of which is fairly simple. Better yet, this particular parameter — the melting pressure — is apparently quite simple to measure. Therefore, the attractiveness of this phenomenon for thermometry is that, in addition to offering the possibility of thermodynamic temperature measurement, it can readily furnish a *continuum* of fixed points over a wide range (from 2 mK to, say, 0.8 K). Nor is the melting curve significantly affected by magnetic fields below the level of 0.1 T. Its chief drawback remains, quite simply, an unfamiliarity with the subject on the part of scientists in general. As closer general acquaintance develops, a significant rôle in the definition of a low-temperature scale will become a very strong possibility.

### 3. Conclusions and Recommendations

1. A Rh-Fe resistance thermometer wire scale would be simplest, cheapest, and of high-as-possible interpolation accuracy. It should be first choice if materials supply problems and aesthetic objections can be overcome.

2. As second choice, we recommend an interpolating gas thermometer. This, though somewhat clumsy as well as rather expensive, is basically

---

\* Note that the presently-available non-universal  $T_c$  devices, being individually calibrated, can be extremely useful for furnishing « spot checks » of thermometric integrity.

simple, closely « thermodynamic », commercially independent, and of (just about) high-as-possible interpolation accuracy.

3. Both 1 and 2 are accompanied by recommended usage of helium vapour pressure scales (equations). The lower limit would in principle be 0.2 K, although a practical realization below 0.5 K would be difficult and subject to error. Unless WG 3 finds it possible to devise a PRT scale having a non-uniqueness of 1 mK or less in the region 13.81 K to 24.562 K, we propose that the temperature of the junction with the PRT should be 24.562 K.

January 15, 1982

---



---

## TABLE DES MATIÈRES

---

### COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE

#### 14<sup>e</sup> Session (1982)

---

	Pages
Notice historique sur les organes de la Convention du Mètre . . . . .	v
Liste des membres . . . . .	vii
Ordre du jour . . . . .	ix
<b>Rapport au Comité International des Poids et Mesures, par M. Durieux . . . . .</b>	<b>T 1</b>
Nouvelle EIPT (mesures des températures thermodynamiques, thermomètres à résistance de platine pour la mesure des hautes températures, points fixes et méthodes d'interpolation, pression de vapeur de <sup>4</sup> He et <sup>3</sup> He). Comparaison de cellules scellées à point triple. Publications futures du CCT. Problèmes divers . . . . .	2
Recommandation T 1 (1982) : Échelles de pression de vapeur de l'hélium . . . . .	5
<b>Compte rendu des séances de la 14<sup>e</sup> Session du CCT . . . . .</b>	<b>7</b>
1. Nomination d'un Rapporteur . . . . .	7
2. Approbation du compte rendu des séances de la 13 <sup>e</sup> Session du CCT (1980) . . . . .	7
3. 6th Temperature Symposium (Washington, D.C., mars 1982) . . . . .	7
4. Documents soumis à la 14 <sup>e</sup> Session du CCT . . . . .	8
5. Rapports des Groupes de travail . . . . .	8
a) Résumés . . . . .	
1. Groupe de travail 1 . . . . .	8
2. Groupe de travail 2 . . . . .	9
3. Groupe de travail 3 . . . . .	10
4. Groupe de travail 4 . . . . .	11
b) Discussion . . . . .	
1. Groupe de travail 4 . . . . .	12
2. Groupe de travail 2 . . . . .	17
3. Groupe de travail 3 . . . . .	19
(i) Interpolation au-dessous de 0 °C . . . . .	19
(ii) Interpolation au-dessus de 0 °C . . . . .	20
(iii) Choix des points fixes dans le domaine du thermomètre à résistance de platine . . . . .	21
(iv) Limite inférieure du domaine du thermomètre à résistance de platine . . . . .	22
(v) Températures thermodynamiques au-dessus de 14 K . . . . .	22

6. Discussion du texte de la monographie concernant les Renseignements complémentaires. . . . .	24
7. Discussion de la monographie envisagée portant sur les techniques secondaires. . . . .	24
8. Thermomètres à résistance de platine pour la mesure des hautes températures	25
9. Différences $T - T_{68}$ . . . . .	27
10. Points fixes et comparaisons internationales. . . . .	27
11. Nouvelle EIPT; situation actuelle . . . . .	29
12. Travaux du BIPM . . . . .	33
13. Travaux futurs du CCT et des Groupes de travail . . . . .	34
14. Publication des documents. . . . .	34
15. Questions diverses. . . . .	35
16. Recommandation au CIPM. . . . .	35
17. Prochaine session du CCT . . . . .	36
Annexe A. Rapport sur la réunion des représentants des laboratoires qui ont pris part à la comparaison internationale des points fixes au moyen de cellules scellées (réunion tenue au BIPM le 29 mars 1982) . . . . .	37
Annexe B. Définitions discutées au cours de la 14 <sup>e</sup> Session du CCT . . . . .	41
<b>Annexes :</b>	
T 1. Documents de travail présentés à la 14 <sup>e</sup> Session du CCT . . . . .	42
T 2. Rapport du Groupe de travail I (Révision de l'EIPT et Renseignements complémentaires) . . . . .	46
T 3. 1 <sup>er</sup> Rapport du Groupe de travail 2 . . . . .	47
T 4. 1 <sup>er</sup> Rapport du Groupe de travail 3 . . . . .	57
T 5. 1 <sup>er</sup> Rapport du Groupe de travail 4 (Nouvelle EIPT au-dessous du domaine du thermomètre à résistance de platine) . . . . .	66
<b>Notice for the reader of the English version.</b> Avertissement au lecteur de la version anglaise . . . . .	75
Historical Note . . . . .	77
Agenda . . . . .	79
<b>Report to the Comité International des Poids et Mesures, by M. Durieux. . . . .</b>	81
The new IPTS (measurements of thermodynamic temperatures, high temperature platinum resistance thermometers, fixed points and interpolation methods, vapour pressure of <sup>3</sup> He and <sup>4</sup> He). International comparison of sealed cells. Forthcoming publications of the CCT. Miscellaneous . . . . .	82
Recommendation T 1 (1982): Helium vapour pressure scales . . . . .	85
<b>Minutes of the Meeting . . . . .</b>	87
1. Designation of a rapporteur . . . . .	87

2. Approval of the report of the 13th Session of the CCT in 1980 . . . . .	87
3. The 6th Temperature Symposium (Washington, D.C., March, 1982) . . . . .	87
4. Documents presented at the 14th Session of the CCT . . . . .	88
5. Reports of the Working Groups . . . . .	88
a) Summaries	
1. Working Group 1 . . . . .	88
2. Working Group 2 . . . . .	89
3. Working Group 3 . . . . .	90
4. Working Group 4 . . . . .	91
b) Discussion	
1. Working Group 4 . . . . .	91
2. Working Group 2 . . . . .	95
3. Working Group 3 . . . . .	97
(i) Interpolation below 0 °C . . . . .	97
(ii) Interpolation above 0 °C . . . . .	99
(iii) Selection of fixed points in the PRT-range . . . . .	99
(iv) The lower limit of the PRT-range . . . . .	100
(v) Thermodynamic temperatures above 14 K . . . . .	101
6. Discussion of the text of the monograph on Supplementary Information . . . . .	102
7. Discussion of the proposed monograph on Secondary Thermometry . . . . .	102
8. High temperature platinum resistance thermometers . . . . .	103
9. Differences $T - T_{08}$ . . . . .	105
10. Fixed points and international comparisons . . . . .	105
11. The new IPTS: current status . . . . .	106
12. Work at the BIPM . . . . .	111
13. Future work of the CCT and of the Working Groups . . . . .	111
14. Publication of documents . . . . .	112
15. Miscellaneous subjects . . . . .	112
16. Recommendation to the CIPM . . . . .	113
17. Next Session of the CCT . . . . .	113
Appendix A. Report of the meeting of the laboratories participating in the international intercomparison of fixed points by means of sealed cells (Meeting held at BIPM, March 29, 1982) . . . . .	114
Appendix B. Definitions discussed at the 14th Session of the CCT . . . . .	117

**Appendices :**

T 1. Working documents presented at the 14th Session of the CCT . . . . .	118
T 2. Report of Working Group 1 (Revision of the IPTS and Supplementary Information) . . . . .	123
T 3. First Report of Working Group 2 . . . . .	124
T 4. First report of Working Group 3 . . . . .	133
T 5. First report of Working Group 4 (Extension below the platinum thermometer region of a revised IPTS) . . . . .	141



IMPRIMERIE DURAND

28600 LUISANT (FRANCE)

---

Dépôt légal : Imprimeur, 1983 n° 4378  
ISBN 92-822-2077-X

ACHEVÉ D'IMPRIMER : MARS 1983

Imprimé en France