

COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE

SESSION DE 1989
MEETING OF 1989

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES



COMITÉ CONSULTATIF
DE THERMOMÉTRIE

Rapport de la 17^e session
Report of the 17th Meeting

1989

ISBN 92-822-2115-6

ISSN 0069-6463

LISTE DES SIGLES UTILISÉS DANS LE PRÉSENT VOLUME
LIST OF ACRONYMS USED IN THE PRESENT VOLUME

Sigles des laboratoires, commissions et conférences
Acronyms for laboratories, committees and conferences

ASMW	Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, Berlin (Rép. dém. allemande)
BIPM	Bureau international des poids et mesures
BNM	Bureau national de métrologie, Paris (France)
CCT	Comité consultatif de thermométrie
CEI/IEC	Commission électrotechnique internationale/International Electrotechnical Commission
CIPM	Comité international des poids et mesures
CSIRO	CSIRO, Division of Applied Physics, Lindfield (Australie)
IEC	<i>voir</i> CEI
IMGC	Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin (Italie)
INM	Institut national de métrologie, Paris (France)
KOL	Kamerlingh Onnes Laboratorium, Leiden (Pays-Bas)
KSRI	Korea Standards Research Institute, Taejon (Rép. de Corée)
NBS	National Bureau of Standards (ancien nom du NIST)
NIM	Institut national de métrologie/National Institute of Metrology, Beijing (Rép. pop. de Chine)
NIST	National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg (États-Unis d'Amérique)
NPL	National Physical Laboratory, Teddington (Royaume-Uni)
NRC	Conseil national de recherches/National Research Council, Ottawa (Canada)
NRLM	National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba (Japon)
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig (Rép. féd. d'Allemagne)

VNIIFTRI	Institut des mesures physico-techniques et radiotechniques/All Union Research Institute for Physical, Technical and Radio-Technical Measurements, Moscou (URSS)
VNIIM	Institut de métrologie D. I. Mendéléev, Leningrad (URSS)
VSL	Van Swinden Laboratorium, Delft (Pays-Bas)

Sigles des termes scientifiques

Acronyms for scientific terms

EIPT-68/IPTS-68	Échelle internationale pratique de température de 1968/International Practical Temperature Scale of 1968
EIT-90/ITS-90	Échelle internationale de température de 1990/International Temperature Scale of 1990
EPT-76	Échelle provisoire de température de 1976
IPTS-68	<i>voir</i> EIPT-68
ITS-90	<i>voir</i> EIT-90
PRT	Platinum resistance thermometer

LE BIPM

ET LA CONVENTION DU MÈTRE

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 m²) 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), des rayonnements ionisants (1960) et aux échelles de temps (1988). Dans ce but, un agrandissement des premiers laboratoires construits en 1876-1878 a eu lieu en 1929 ; de nouveaux bâtiments ont été construits en 1963-1964 pour les laboratoires de la section des rayonnements ionisants, en 1984 pour le travail sur les lasers et en 1988 a été inauguré un bâtiment pour la bibliothèque et des bureaux.

(1) Au 31 décembre 1990, quarante-six États sont membres de cette Convention : Afrique du Sud, Allemagne, 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, Israël, Italie, Japon, Mexique, Norvège, Pakistan, Pays-Bas, Pologne, Portugal, Roumanie, Royaume-Uni, Suède, Suisse, Tchécoslovaquie, Thaïlande, Turquie, U.R.S.S., Uruguay, Venezuela, Yougoslavie.

Une quarantaine de physiciens ou techniciens travaillent dans les laboratoires du Bureau international. Ils y font principalement des recherches métrologiques, des comparaisons internationales des réalisations des unités et des vérifications d'étalons dans les domaines mentionnés ci-dessus. Ces travaux font l'objet d'un rapport annuel détaillé qui est publié avec les procès-verbaux des séances du Comité international.

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 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 (*BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 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 γ , électrons), Section II (Mesure des radionucléides), Section III (Mesures neutroniques), Section IV (Étalons d'énergie α) ; 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 aussi des monographies sur des sujets métrologiques particuliers et, sous le titre « *Le Système international d'unités (SI)* », une brochure remise à jour périodiquement qui rassemble toutes les décisions et recommandations concernant les unités.

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.

Comité international des poids et mesures

Secrétaire

J. DE BOER

Président

D. KIND

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 [VNIIM], Leningrad.

INSTITUT DES MESURES PHYSICOTECHNIQUES ET RADIOTECHNIQUES [VNIIFTRI],
MOSCOU.

INSTITUT NATIONAL DE MÉTROLOGIE [NIM], Beijing.

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

KAMERLINGH ONNES LABORATORIUM [KOL], Leiden.

KOREA STANDARDS RESEARCH INSTITUTE [KSRI], Taejon.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY [NIST], Gaithersburg
(États-Unis d'Amérique).

NATIONAL PHYSICAL LABORATORY [NPL], Teddington.

NATIONAL RESEARCH LABORATORY OF METROLOGY [NRLM], Tsukuba.

PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT [PTB], Braunschweig.

VAN SWINDEN LABORATORIUM [VSL], Delft.

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

Le directeur du Bureau international des poids et mesures [BIPM].

ORDRE DU JOUR
de la 17^e session

Exceptionnellement, aucun ordre du jour officiel n'a été établi pour cette 17^e session du CCT, la seule question importante à traiter étant la mise au point finale de la nouvelle échelle de température.

RAPPORT
DU
COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE
(17^e session — 1989)
AU
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
par M. DURIEUX, rapporteur

Le Comité consultatif de thermométrie (CCT) a tenu sa 17^e session au Bureau international des poids et mesures (BIPM), à Sèvres, du 12 au 14 septembre 1989.

Étaient présents :

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

Les délégués des laboratoires membres :

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

Bureau national de métrologie, Paris: Institut national de
métrologie [INM] du Conservatoire national des arts et métiers
(G. BONNIER).

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

Conseil national de recherches [NRC], Ottawa (R. E. BEDFORD).

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

Institut de métrologie D. I. Mendéléev [VNIIM], Leningrad
(A. I. POKHODOUN).

Institut des mesures physico-techniques et radiotechniques
[VNIIFTRI], Moscou (D. N. ASTROV).

Institut national de métrologie [NIM], Beijing (LING SHANKANG).

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

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

Korea Standards Research Institute [KSRI], Taejon (CHUNGHI
RHEE).

National Institute of Standards and Technology [NIST], Gaithers-
burg (B. W. MANGUM).

National Physical Laboratory [NPL], Teddington (R. L. RUSBY,
M. V. CHATTLE).

National Research Laboratory of Metrology [NRLM], Tsukuba
(H. SAKURAI).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig
(W. BLANKE, H.-J. JUNG).

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

Le membre nominativement désigné :

C. A. SWENSON, Iowa State University, Ames.

Le directeur du BIPM (T. J. QUINN).

Assistaient aussi à la session : P. GIACOMO, directeur honoraire du
BIPM ; J. BONHOURE et R. P. HUDSON, adjoints au directeur du BIPM.

La principale question à l'ordre du jour était la mise au point et
l'adoption de l'Échelle internationale de température de 1990 (EIT-90),
ce qui a été mené à bien.

Depuis 1987, les quatre groupes de travail se sont réunis à de
nombreuses reprises pour préparer le changement de l'échelle de
température et ils se sont à nouveau réunis dans les jours qui ont
précédé la 17^e session.

Historiquement, l'Échelle normale du thermomètre à hydrogène a
été adoptée par le CIPM en 1887. Les Échelles internationales de 1927,
1948 et 1968 lui ont succédé, tandis que d'autres échelles, temporaires,
pour les températures situées hors du domaine des échelles internationales,
ont vu le jour et ont été recommandées à diverses époques. Ces trois
échelles internationales étaient construites de façon très similaire ; elles
utilisaient les mêmes deux instruments d'interpolation et faisaient appel
aux lois du rayonnement au-delà du point de congélation de l'or. Alors
que l'EIT-90, telle qu'elle est proposée, garde une certaine ressemblance
avec les échelles internationales précédentes, elle comporte des changements
importants tels que l'utilisation des relations de pression de vapeur
saturante de l'hélium, l'introduction du thermomètre à gaz comme
instrument d'interpolation, l'extension du domaine du thermomètre à
résistance de platine jusqu'au point de congélation de l'argent et
l'élimination du thermocouple platine/platine-rhodié.

Par rapport à l'EIP-68, l'EIT-90

- s'étend vers des températures plus basses ;
- est en bien meilleur accord avec les températures thermodynamiques
correspondantes ;
- a une continuité et une précision améliorées ;
- est divisée en domaines et sous-domaines qui se recouvrent
partiellement et offre un choix de températures de référence dans
certains domaines.

Ce dernier point rend beaucoup plus commode son utilisation ; il facilite le contrôle de la qualité des thermomètres et de la validité du procédé de mesure utilisé.

Les nouveaux éléments qui ont contribué à la conception de l'EIT-90 comprennent : les résultats d'un grand nombre de mesures thermodynamiques effectuées à l'aide du thermomètre à gaz, du pyromètre monochromatique ou à rayonnement total et du thermomètre magnétique sur lequel sont fondées les relations de pression de vapeur saturante de l'hélium ; des améliorations notables apportées aux thermomètres à résistance de platine qui permettent leur utilisation jusqu'à la température du point de congélation de l'argent (962 °C) ; des améliorations importantes dans l'exactitude, la stabilité et la commodité d'utilisation des points fixes de température, disponibles en plus grand nombre ; des systèmes de mesure et de régulation perfectionnés qui rendent possibles, d'une part des mesures de température rapides et exactes, d'autre part la conduite programmée, précise et sûre des fours, des thermostats, des cellules à point fixe et des dispositifs de comparaison.

Une objection qui a déjà été faite à la future EIT-90 est qu'elle entraîne des dépenses beaucoup plus élevées pour les mesures dans le domaine de 660 °C à 962 °C, domaine qui requiert l'emploi du thermomètre à résistance de platine pour les hautes températures, très onéreux, à la place du thermocouple usuel platine/platine-rhodié qui, lui, est bon marché. Cette objection, bien qu'elle semble *a priori* valable, n'a pas de fondement réel. Le thermocouple platine/platine-rhodié a, au mieux, une exactitude de 0,2 °C. Le thermomètre à résistance de platine pour les hautes températures a une exactitude 20 fois plus élevée et il a servi à établir une table pour le thermocouple platine/or. Cette table permettra d'utiliser ce thermocouple comme thermomètre secondaire, avec une exactitude qui est probablement 10 fois, et en tout cas plus de 5 fois, supérieure à celle du thermocouple platine/platine-rhodié, l'ancien thermomètre primaire, et au même prix. Ainsi, la seule perte sera celle du statut *officiel* du thermocouple puisque les nouvelles mesures obtenues à peu de frais avec le thermocouple platine/or, bien que supérieures à celles obtenues précédemment, ne sont pas les meilleures dont on puisse disposer actuellement.

Pour exploiter pleinement l'EIT-90, il est nécessaire de disposer de deux documents annexes : « Supplementary Information for the International Temperature Scale of 1990 » et « Techniques for Approximating the International Temperature Scale of 1990 », documents qui seront mis à jour périodiquement. La rédaction de certains chapitres du premier document n'est toujours pas terminée : il devrait être publié au second semestre de 1990. Le second de ces documents est pratiquement achevé : on attend les tout derniers commentaires des membres du CCT à la fin de 1989. Il est prévu qu'il soit publié mi-1990.

**Recommandations
du Comité consultatif de thermométrie
présentées
au Comité international des poids et mesures ***

Échelle internationale de température de 1990

RECOMMANDATION T 1 (1989)

Le Comité consultatif de thermométrie (CCT), conformément à l'invitation formulée par la 18^e Conférence générale des poids et mesures en 1987 (Résolution 7), a mis au point l'Échelle internationale de température de 1990 (EIT-90) pour remplacer l'Échelle internationale pratique de température de 1968 (EIP-68).

Le CCT *souligne* que, par rapport à l'EIP-68, l'EIT-90

— s'étend vers des températures plus basses, jusqu'à 0,65 K, et remplace, de ce fait, aussi l'Échelle provisoire de température de 1976 (EPT-76),

— est en bien meilleur accord avec les températures thermodynamiques correspondantes,

— a une continuité, une précision et une reproductibilité nettement améliorées sur toute son étendue,

— comporte des sous-domaines et donne, dans certains domaines, des définitions équivalentes qui facilitent grandement son utilisation.

Le CCT *note*, de plus, que le texte de l'EIT-90 sera accompagné de deux documents, « Supplementary Information for the ITS-90 » et « Techniques for Approximating the ITS-90 », qui seront publiés par le Bureau international des poids et mesures et remis à jour périodiquement.

Le CCT *recommande*

— que l'EIT-90 soit mise en application le 1^{er} janvier 1990,

— et que, à la même date, l'EIP-68 et l'EPT-76 soient abrogées.

* Le CIPM a adopté la Recommandation T 1 (1989) comme Recommandation 5 (CI-1989) ; il a pris note des Recommandations T 2 (1989) et T 3 (1989).

Tables de référence pour les thermocouples et les thermomètres à résistance de platine industriels

RECOMMANDATION T 2 (1989)

Le Comité consultatif de thermométrie,

considérant que la mise en application de l'Échelle internationale de température (EIT-90) impliquera sous peu l'usage de nouvelles tables de référence à la fois pour les thermocouples et pour les thermomètres à résistance de platine industriels,

demande à son Groupe de travail 2 de travailler en liaison avec les laboratoires nationaux pour établir rapidement de nouvelles tables de référence, en tenant compte non seulement du passage de l'Échelle internationale pratique de température de 1968 (EIPT-68) à l'EIT-90 mais aussi des informations les plus récentes sur le comportement des thermocouples et des thermomètres à résistance de platine industriels,

recommande

— que ces nouvelles tables servent de base aux futures tables de référence nationales et internationales pour les thermocouples et les thermomètres à résistance de platine industriels,

— et que, provisoirement, les tables de référence actuelles valables pour l'EIPT-68 soient utilisées conjointement avec le tableau des différences $T_{90} - T_{68}$ donné dans l'EIT-90.

Incertitude propre à la réalisation de l'Échelle internationale de température de 1990

RECOMMANDATION T 3 (1989)

Le Comité consultatif de thermométrie,

considérant qu'il est nécessaire d'associer une incertitude à la valeur des températures évaluées dans l'Échelle internationale de température de 1990 (EIT-90),

incite les laboratoires nationaux

a) à estimer les incertitudes dans la réalisation des points fixes,

b) à estimer les incertitudes correspondant à l'utilisation des instruments d'interpolation spécifiés de l'EIT-90,

c) à mettre au point le traitement mathématique de la propagation de ces incertitudes et de leur contribution à l'incertitude des températures intermédiaires.

Compte rendu des séances de la 17^e session du CCT

1. Ouverture de la session. Nomination d'un rapporteur

Le président ouvre la session en accueillant tous les membres et délégués, en particulier M. Mangum (NIST) et M. Rhee (KSRI) qui assistent pour la première fois à une réunion du CCT. Il a un mot particulier pour deux invités, M. Steur (IMGC) et M. W. Kemp (CSIRO). Il informe les membres du récent décès de F. G. Brickwedde, qui présidait le CCT à l'époque de la préparation de l'EIPT-68. F. G. Brickwedde a longtemps travaillé à l'Université de l'État de Pennsylvanie mais, auparavant, il avait été chef de la Heat Division du NBS.

M. Durieux est nommé rapporteur et l'anglais est choisi comme langue de travail.

Le président fait remarquer qu'il n'y a pas d'ordre du jour officiel pour cette 17^e session. Les seuls sujets sont : l'Échelle internationale de température de 1990 (EIT-90) et les questions diverses.

2. EIT-90 : introduction

M. Quinn ouvre la discussion par cet avant-propos : « C'est au comité dans son ensemble qu'incombe la responsabilité de la qualité de l'EIT-90. Certains d'entre vous, autour de cette table, savent ce qu'il en est puisqu'ils ont contribué en son temps à l'élaboration de l'EIPT-68. Je forme donc des vœux pour que nous fassions aujourd'hui du bon travail ».

Le président donne un résumé des récentes activités du CCT, qui concernent essentiellement le domaine des quatre groupes de travail et qui ont conduit à la présente session. Les tentatives pour mettre en œuvre diverses versions provisoires du texte de l'EIT-90 ont mis en évidence le fait qu'il restait plusieurs difficultés non résolues. Le président remercie tous ceux des membres qui ont fourni des résultats et soumis des idées tendant à résoudre ces difficultés, dont quelques-unes subsistent

encore. Il rappelle au CCT que ce qui constituait essentiellement un groupe de travail *ad hoc* (comprenant les membres du Groupe de travail 1*, MM. Rusby, Jung, Crovini et Hudson) s'est réuni trois fois au cours des derniers mois afin de résoudre ces difficultés et préparer des projets successifs du texte. Le but de la présente session est de préparer ce qui constituera essentiellement le texte final de l'EIT-90, bien qu'il soit possible d'apporter des changements d'ordre mineur jusqu'à la fin du mois de novembre 1989. Tous les points essentiels de l'EIT-90, si cette échelle doit être approuvée, doivent cependant être adoptés au cours de la présente session. M. Rusby dit qu'il est important qu'aucune modification numérique ne soit apportée à l'EIT-90 après la session. Il a déjà été annoncé que l'EIT-90 entrerait en vigueur le 1^{er} janvier 1990 et bien des utilisateurs souhaitent être en possession avant cette date des valeurs numériques retenues. M. Jung partage cet avis. Le président estime que tout doit être fait pour se mettre d'accord maintenant sur toutes les valeurs numériques que comportera l'échelle.

3. Rapport des groupes de travail

Le président demande aux présidents des quatre groupes de travail de présenter leur rapport.

Groupe de travail 1 : préparation du texte de l'EIT-90 et révision du document « Supplementary Information for the ITS-90 »

M. Preston-Thomas, qui préside aussi le Groupe de travail 1, rappelle au CCT que deux responsabilités incombent à ce groupe de travail : la préparation du texte de l'EIT-90 et la révision de « Supplementary Information for the IPTS-68 and the EPT-76 » pour l'adapter à l'EIT-90. La première de ces tâches constitue l'objet principal de discussion de cette réunion. Le Groupe de travail 1 a préparé plusieurs projets de texte au cours des deux années qui viennent de s'écouler, sur la base des informations qui lui ont été fournies ainsi qu'il vient d'être mentionné, les informations les plus récentes datant de la veille et étant présentées au CCT dès le début de la réunion. Tout cela a entraîné un travail beaucoup plus important que prévu, de telle sorte que le groupe n'a plus eu assez de temps pour mettre à jour le document « Supplementary Information ». Le président espère que la révision de ce texte sera terminée à la mi-1990.

* MM. Preston-Thomas (président), Bloembergen et Quinn.

Groupe de travail 2* : achèvement du document « Techniques for Approximating the ITS-90 »

Le président, M. Bedford, dit qu'il incombe au Groupe de travail 2 de préparer une monographie intitulée « Techniques for Approximating the ITS-90 ». La version D de ce document a été soumise en 1987 à la 16^e session du CCT. Depuis lors, on a reçu de nombreux commentaires de la part de membres du CCT et de collègues, qui ont permis de préparer la version E. Cette dernière a été étudiée lors de la réunion du Groupe de travail 2 en juin 1988. On est ainsi parvenu à la version F, qui est soumise à la présente session du CCT. Si l'on fait une comparaison avec la version D, certaines sections ont été raccourcies, d'autres augmentées ; le texte a été rédigé pour se rapporter à l'EIT-90 et non plus à l'EIPT-68 ; quelques passages de la première édition de « Supplementary Information » qui ne sont pas en rapport avec la définition de l'EIT-90 ont été conservés. M. Bedford demande aux membres du CCT de lui faire parvenir tout commentaire ou toute critique à propos de ce document avant la mi-décembre 1989. Une version G finale sera ensuite préparée pour publication au début de 1990. M. Bedford mentionne aussi qu'un exemplaire de la version F a été remis à M. Sostman en vue d'un rapport qu'il devait faire à l'Organisation internationale de métrologie légale. M. Sostman a fait part de remarques très élogieuses à propos de ce document. Le Groupe de travail 2 s'est réuni le 11 septembre 1989 dans la matinée pour revoir la version F et envisager son action future.

M. Rusby demande quel rôle doit jouer le CCT dans l'établissement des nouvelles tables internationales de référence pour les thermocouples qui seront fondées sur l'EIT-90. Des organismes comme la Commission électrotechnique internationale (CEI) aimeraient avoir l'avis du CCT sur la façon de réviser les tables existantes. M. Bedford répond que le Groupe de travail 2 s'est posé cette question qui est bien de son ressort. D'ailleurs M. Burns (NIST), qui a l'intention de préparer de nouvelles tables pour les utilisateurs américains, a demandé l'aide du Groupe de travail 2 à titre, pourrait-on dire, de consultant. Le président se demande si cette tâche n'incomberait pas davantage au Groupe de travail 4. M. Rusby répond qu'à l'évidence il s'agit d'un problème d'approximations secondaires mais que lui personnellement, en tant que membre du Groupe de travail 4, il accepterait volontiers d'aider le Groupe de travail 2 dans cette tâche. M. Quinn mentionne qu'il a reçu de nombreuses demandes tendant à connaître comment les tables des thermocouples et celles des thermomètres à résistance de platine industriels seront reliées à l'EIT-90. Il appuie fermement la suggestion que le CCT, par l'intermédiaire de son Groupe de travail 2 (ou, éventuellement, de son

* MM. Bedford (président), Bonnier, Maas et Pavese.

Groupe de travail 4), coordonne l'établissement de ces nouvelles tables. Il s'ensuit une longue discussion. À une question de M. Bonnier, on se met d'accord pour répondre que l'on n'attendra pas que soient établies les tables de référence pour publier le document du Groupe de travail 2. M. Mangum dit qu'il est important de ne préparer qu'une série de tables, que M. Burns a déjà entrepris ce travail et souhaite la coopération du CCT. M. Crovini suggère que, pour les thermomètres à résistance de platine, il faudrait apporter aux tables existantes autre chose qu'un simple ajustement des valeurs numériques. M. Jones fait remarquer que les nouvelles tables pour les thermocouples doivent pouvoir être utilisées par les ordinateurs et qu'elles doivent pouvoir donner à la fois la f.e.m. en fonction de la température et l'inverse. On se met d'accord pour dire que le Groupe de travail 2 doit entreprendre cette tâche et que M. Burns doit être encouragé à poursuivre le travail qu'il a commencé.

Groupe de travail 3* : domaine du thermomètre à résistance de platine dans l'EIT-90

Le président, M. Crovini, présente un résumé des travaux du Groupe de travail 3, chargé du domaine du thermomètre à résistance de platine, qui comporte aussi une coopération avec les autres groupes de travail et d'autres collègues. On a d'abord établi les fonctions de référence $W(T) = R(T)/R(0,01\text{ }^{\circ}\text{C})$ pour le thermomètre à résistance de platine : pour le domaine inférieur à $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, au CSIRO et pour le domaine supérieur à $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, à la PTB, à partir de mesures effectuées sur de vrais thermomètres. On a rencontré des difficultés pour relier ces deux fonctions à $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, mais les résultats finaux permettent des représentations exactes à $\pm 1\text{ mK}$ jusqu'à $420\text{ }^{\circ}\text{C}$ et à $\pm 2\text{ mK}$ au-dessus. Ces fonctions sont données sous deux formes : W comme fonction de T et T comme fonction de W . Le Groupe de travail 3 a envisagé l'extension du domaine du thermomètre à résistance de platine jusqu'au point de congélation de l'or ou du cuivre mais a conclu que le fonctionnement du thermomètre à résistance de platine n'avait pas suffisamment fait ses preuves au-dessus du point de l'argent pour permettre cette extension ; il recommande donc le point de congélation de l'argent comme limite supérieure de ce domaine. Parmi les autres problèmes qui ont été considérés, dont il sera longuement discuté ultérieurement lors de la session, mentionnons le fait de réduire la non-unicité et les désaccords entre les sous-domaines. On a parlé des méthodes de sélection des thermomètres à résistance de platine que l'on peut utiliser comme instruments de définition de façon courante. Pour le moment on spécifie des valeurs limites de W aux points de congélation du mercure et du gallium. Cette question doit encore faire l'objet d'étude.

* MM. Crovini (président), Jung, Kemp, Ling, Sakurai et Schooley.

Groupe de travail 4* : valeurs de $T_{90} - T_{68}$ et domaine du thermomètre à gaz dans l'EIT-90

Le président, M. Hudson, dit que le Groupe de travail 4 avait deux tâches. La première consistait à faire une évaluation de tous les résultats disponibles provenant de mesures de la température thermodynamique, afin de recommander la valeur des températures des points fixes de définition et d'établir une liste des différences entre T_{68} et T (qui deviendra T_{90}). Ces valeurs ont été communiquées au Groupe de travail 3, puis au CCT vers la fin de 1988. M. Hudson mentionne le Document CCT/89-3 qui explique sous une forme résumée la façon dont ont été obtenus les résultats du Groupe de travail 4 et qui donne des tableaux de ces résultats. On a par la suite communiqué sous forme graphique des mises à jour de $T_{90} - T_{68}$ (Document CCT/89-3a). La seconde tâche consistait à recommander un texte convenable pour la partie de l'EIT-90 qui est définie au moyen du thermomètre à gaz. Le résultat est apparu dans les projets de texte de l'EIT-90. Les renseignements fournis par M. Swenson (Document CCT/89-27), concernant l'utilisation du thermomètre à gaz, figurent aussi dans l'annexe 2 du document CCT/89-3. M. Hudson signale qu'une contribution complémentaire a été communiquée par l'IMGC (Document CCT/89-29).

4. EIT-90 : considérations générales

Le président propose ensuite d'en venir au sujet principal de la session : la mise au point de la définition et du texte de l'EIT-90. Il précise que l'essentiel de l'activité a porté sur le domaine du thermomètre à résistance de platine. Autant qu'il le sache, le domaine de la pression de vapeur saturante de l'hélium et le domaine du thermomètre à gaz sont acceptables tels qu'ils sont décrits dans la version E. Il sollicite tous les commentaires sur ces deux domaines des basses températures. Il n'y en a aucun.

Domaine du thermomètre à résistance de platine

Le président demande ensuite à M. Crovini de se faire le porte-parole du groupe de travail *ad hoc* et de résumer devant le CCT les principales avancées des derniers travaux dans le domaine du thermomètre à résistance de platine et les solutions possibles aux problèmes qui subsistent. Il est vraisemblable que ceux-ci vont entraîner de petites modifications à apporter à la température de quelques points fixes, des modifications aux fonctions écarts et peut-être de petites modifications

* MM. Hudson (président), Durieux, Rusby, Soulen, Steur et Swenson.

aux fonctions de référence. Il faut parvenir avant la fin de la session au texte définitif qui suivra la version E (Document CCT/89-1(E)).

M. Crovini dit qu'il s'est avéré nécessaire, après la 16^e session du CCT, de se réunir à des intervalles de 5 à 6 mois pour discuter de la mise au point de l'échelle; c'est ainsi qu'a été mis sur pied le groupe de travail *ad hoc*. Une fois que les fonctions de référence ont été établies (*voir* le rapport du Groupe de travail 3), on a essayé les diverses fonctions écarts possibles. Le but était d'obtenir une échelle plus souple que l'EIPT-68 afin de permettre l'étalonnage d'un thermomètre à résistance de platine seulement dans le domaine de température où il doit être utilisé. Cela a conduit à introduire un certain nombre de sous-domaines qui se chevauchent. Cette souplesse a dû se payer par l'introduction de différences ou de désaccords entre les sous-domaines dans les régions de chevauchement. Par chance, aucun de ces désaccords, pas plus que la non-unicité maximale entre les différents thermomètres à résistance de platine, ne se sont avérés supérieurs à l'incertitude sur les températures thermodynamiques. Cela a été obtenu grâce à la possibilité d'ajuster légèrement la température des points fixes pour réduire les désaccords entre sous-domaines sans dégrader, et même à l'occasion en améliorant, l'exactitude thermodynamique. De la même façon, des essais antérieurs utilisant les résultats de Ward-Compton ont montré la nécessité d'avoir un point fixe entre le point triple de l'argon et celui de l'eau pour réduire la non-unicité dans ce domaine. On a choisi le point triple du mercure comme étant le meilleur compromis, car mieux reproductible que le point triple du xénon bien que se situant à un niveau moins commode. La réduction des désaccords entre sous-domaines a conduit à faire de faibles ajustements sur la température du point triple du mercure et sur la fonction de référence aux basses températures. Cela en revanche a entraîné une discontinuité, faible mais perceptible, sur la pente à 0,01 °C des fonctions de référence à basses et à hautes températures.

M. Crovini poursuit en résumant la façon dont on a ajusté les températures des différents points fixes et dont on a testé les différentes fonctions écarts afin d'essayer d'en réduire au minimum, de façon simple ou complexe, les imperfections. On a sollicité l'aide de M. Hill (NRC) pour faire par ordinateur le calcul des désaccords touchant les sous-domaines et qui résultent des différentes nouvelles propositions. En fin de compte, on a éliminé le point triple du gallium de l'ensemble des définitions des sous-domaines au-dessus de 0 °C à l'exception de celui dont il représente la température maximale. Cela a eu pour résultat final de modifier, par rapport aux températures qui figurent dans la version E, celles des points triples du gallium de - 0,3 mK, de l'indium de + 0,5 mK, de l'étain de - 1,0 mK, de l'aluminium de - 2,0 mK. M. Crovini souligne que toutes ces modifications sont dans les limites de l'incertitude thermodynamique correspondante.

M. Crovini poursuit en illustrant ses remarques à l'aide de projections de courbes reçues de M. Hill. Compte tenu de la modification mentionnée ci-dessus du point triple du gallium, la discontinuité de la pente à 0,01 °C entre les fonctions écarts de Ar-H₂O-Ga et H₂O-Ga-Sn-Zn est d'environ 1×10^{-5} , ce qui est acceptable. Les désaccords des sous-domaines entre les différentes fonctions écarts possibles sont généralement inférieurs au niveau tolérable de $\pm 0,5$ mK et dans bien des cas proches du niveau des meilleures mesures de $\pm 0,2$ mK. Il souligne que beaucoup de ces résultats sont très sensibles à la valeur de la température choisie pour le point triple du gallium, ce qui est une raison supplémentaire pour éliminer celui-ci chaque fois que cela est possible.

Ce résumé est suivi d'une longue discussion, en particulier des mérites relatifs de l'utilisation de fonctions écarts linéaires entre, disons, le point triple du mercure et celui de l'eau, celui de l'eau et celui du gallium, celui de l'eau et celui de l'indium au lieu des fonctions du deuxième degré généralement proposées. Une légère détérioration des désaccords entre sous-domaines peut être largement compensée par l'avantage que représente le besoin d'un moins grand nombre de points fixes. Le président suggère que le CCT transmette à M. Hill quelles sont exactement les fonctions qu'il souhaite examiner afin que les résultats soient disponibles dès demain.

M. Hudson fait remarquer que les températures thermodynamiques des points de congélation de l'aluminium, de l'argent, de l'or et du cuivre ont toutes été mesurées par pyrométrie. La valeur du point de congélation de l'aluminium, qui figure dans la version E et qui est déjà inférieure de 3 mK à la valeur recommandée par le Groupe de travail 4 vient d'être abaissée de 2 mK. Par cohérence, il est donc logique d'abaisser aussi les valeurs attribuées aux points de l'argent, de l'or et du cuivre. Une modification de 5 mK au point de l'aluminium entraîne des modifications d'environ 10 mK aux autres points. M. Jung pense qu'un tel changement n'est pas souhaitable car il demanderait aussi des changements dans la fonction de référence des hautes températures et on n'a pas le temps de faire le calcul. Il dit que l'ordre de grandeur des changements resterait dans les limites de l'incertitude thermodynamique qui, au point de l'argent au niveau de 1 écart-type, est de 20 à 25 mK. M. Jones est du même avis que M. Jung. À une question du président, à savoir si un changement dans la fonction de référence entraînerait aussi un changement dans les fonctions écarts, M. Bedford répond que ce n'est presque certainement pas le cas.

Une importante discussion s'ensuit et, parmi les différents points soulevés, citons la possibilité de réduire l'ajustement de la température du point de congélation de l'aluminium et de procéder à des changements sur plusieurs autres points pour compenser. Le président demande que l'ensemble de la question soit revu par les Groupes de travail 3 et 4 qui en rendront compte après le déjeuner.

Tables de référence pour les thermocouples et les thermomètres à résistance de platine industriels

M. Quinn revient ensuite à la question débattue précédemment du rôle qui incombe au CCT dans l'élaboration des nouvelles tables internationales pour les thermocouples et pour les thermomètres à résistance de platine industriels, travail que le Groupe de travail 2 a été chargé de superviser. Il dit que cela doit être officialisé par une recommandation à soumettre au CIPM et donne lecture d'un tel projet. M. Bonnier demande si, dans une telle recommandation, il convient de faire explicitement référence au changement qui doit intervenir prochainement dans la réalisation du volt. De l'avis général, cela n'est pas nécessaire. La question se pose aussi de savoir si des types bien spécifiés de thermocouples doivent être mentionnés dans la recommandation, en particulier les thermocouples Pt/Au. Après une longue discussion, de l'avis de tous, la réponse est négative : la rédaction doit être suffisamment générale pour inclure tous les types de thermocouples.

Remarquant que le projet de recommandation mentionne « de nouveaux résultats pour les thermomètres à résistance de platine », M. Rusby dit qu'il faut entreprendre de nouvelles mesures sur les thermocouples PtRh/Pt afin d'améliorer la qualité des tables et leur adaptation à l'EIT-90, en particulier au-dessus de 630 °C. M. Quinn pense que cela n'apporterait pas d'amélioration significative parce que l'exactitude des thermocouples eux-mêmes constitue la principale limitation. De plus, cela ne manquerait pas d'entraîner un long retard, peut-être de l'ordre de cinq ans, dans l'élaboration des tables. M. Rusby est d'accord pour dire qu'un retard de cinq ans serait inacceptable, mais un retard de deux ans pourrait être raisonnable. À tout le moins, il doit être tenu compte de tout nouveau résultat disponible concernant les thermocouples PtRh/Pt pour établir les nouvelles tables. À une question de M. Bedford, M. Mangum répond que M. Burns n'envisage pas de faire de nouvelles mesures sur les thermocouples PtRh/Pt.

Suit alors une importante discussion sur l'opportunité de mentionner explicitement les thermocouples Pt/Au dans la recommandation (M. Bonnier faisant remarquer que cela reviendrait en fait simplement à se référer à une autre recommandation faite par le CCT à sa 16^e session) et de savoir s'il convient d'exclure les thermocouples en métaux ordinaires. M. Chattle dit que la CEI, par exemple, a réellement besoin de l'aide du CCT et que, en fait, les thermocouples en métaux ordinaires sont probablement plus intéressants que ceux en Pt/Au. Pour finir il est convenu qu'un nouveau projet de recommandation sera préparé pour discussion ultérieure.

Thermomètre à gaz entre 4 K et 24 K

Le président sollicite ensuite des commentaires sur la Section 3.2.1 de la version E concernant l'emploi du thermomètre à gaz entre 4 K et 24 K. Puisque la Section 3.2.2 permet son utilisation à partir de 3 K, on s'est demandé si la Section 3.2.1 ne faisait pas double emploi : la fonction (4) pourrait être supprimée au profit de la fonction (6b) qui comporte une correction du coefficient du viriel. À l'origine, la Section 3.2.1 avait été introduite parce que la simple fonction du deuxième degré est suffisamment exacte pour ^4He au-dessus de 4 K sans introduire de correction. M. Astrov et M. Blanke pensent que la Section 3.2.1 est inutile ; M. Rusby préfère conserver la Section 3.2.1. Finalement, sur une suggestion de M. Hudson, on accepte que le Groupe de travail 4 étudie la question et en rende compte ultérieurement.

Domaine de température commençant à 24 K

M. Pavese dit que la version E ne contient aucun sous-domaine commençant à 24 K. Il a été abandonné car la non-unicité qui en résultait était inacceptable compte tenu de son importance. Avant la session et lors de celle-ci, diverses modifications ont été apportées aux fonctions de référence, à la température des points fixes, etc. Toutes ces modifications ont-elles amélioré la situation à l'égard du sous-domaine commençant à 24 K ? M. Kemp répond qu'aucune de ces modifications n'a eu de conséquence sur la non-unicité dans ce sous-domaine. M. Pavese poursuit en disant que l'on a assoupli la limite précédemment proposée pour le maximum acceptable concernant la non-unicité (maintenant on admet environ $\pm 0,5$ mK) ; par conséquent il n'est plus aussi évident que ce sous-domaine soit mauvais. De plus, c'est un sous-domaine commode car c'est le plus large que l'on puisse réaliser uniquement avec des cellules scellées à point triple.

Le président dit que ce domaine a été supprimé précédemment à cause de sa non-unicité élevée mais aussi parce qu'il n'y avait aucune demande. Enfin, si on fait la comparaison avec le sous-domaine de 84 K qui semble montrer une non-unicité presque aussi grande (mais peut-être cela est-il dû aux incertitudes sur les résultats de Ward-Compton), 0,5 mK est un désaccord relativement plus important. Comme il faut faire appel au sous-domaine de 84 K pour étalonner les thermomètres à résistance de platine à longue tige, nous ne pouvons faire autrement que d'en accepter la non-unicité. M. Rusby fait remarquer que l'amélioration du domaine de 84 K a résulté de l'introduction du point triple du mercure et de la suppression du point triple du gallium, ce qui présentait l'avantage supplémentaire de permettre d'utiliser une série plus cohérente de résultats de Ward-Compton. Il admet la logique de la proposition de M. Pavese mais, comme le sous-domaine de 24 K

n'a eu lieu. De même ce sous-domaine n'a pas été étudié au NRC puisqu'il ne figure pas dans la version E. M. Bonnier appuie fortement la suggestion de M. Pavese, en disant qu'il y a une demande dans l'industrie aérospatiale française pour ce sous-domaine de 24 K.

Il s'ensuit une assez longue discussion entre plusieurs membres, discussion au cours de laquelle M. Pavese fait remarquer que la version E demande un chevauchement entre le domaine du thermomètre à gaz et celui du thermomètre à résistance de platine, ce que le sous-domaine de 24 K éviterait. Il est décidé de demander à M. Hill (NRC) : 1) d'examiner les désaccords entre sous-domaines quand on introduit le sous-domaine de 24 K, en tenant compte des deux définitions de ce sous-domaine, l'une comportant le point triple de H_2 , l'autre ne le comportant pas ; 2) d'utiliser les résultats de Ward-Compton pour examiner la non-unicité d'un sous-domaine à 24 K ; et 3) d'examiner les désaccords entre sous-domaines au-dessus de $0^\circ C$ lorsque la température du point de congélation de l'aluminium est fixée à $660,324^\circ C$ (valeur qui figure dans la version E) et lorsque la température des autres points fixes est ajustée pour tenir compte de cette modification.

Détails de l'EIT-90 au-dessus de $0^\circ C$

Le président demande alors à M. Crovini de rendre compte de la discussion qui a eu lieu entre les Groupes de travail 3 et 4 pour savoir s'il fallait diminuer la température des points de l'argent, de l'or et du cuivre à la suite de la réduction de la température du point de l'aluminium. M. Crovini fait un bref rappel de l'ensemble de la question et des points discutés par les groupes de travail. La conclusion est qu'avant toute décision il faut attendre d'avoir reçu du NRC les résultats des calculs dont il a été question plus haut. Si on trouve une série de températures de points fixes satisfaisante, il ne sera pas nécessaire d'ajuster la température des points de l'argent, de l'or et du cuivre.

Le président dit que le CCT doit maintenant décider des détails de l'EIT-90 au-dessus de $0^\circ C$, c'est-à-dire choisir les points fixes qui seront utilisés, la forme que prendront les fonctions écarts et la valeur à attribuer aux températures. Il demande à M. Crovini de donner les grandes lignes des différentes possibilités afin que le CCT puisse prendre une décision. Partant du texte de la version E, M. Crovini résume ce qui paraît être la meilleure situation sur ces points : la fonction écart pour le domaine compris entre $0^\circ C$ et le point de l'argent conserverait la forme et les points fixes de la relation (14) qui figurent dans la version E ; les fonctions dans les sous-domaines qui se terminent aux points de l'aluminium, du zinc et de l'étain devraient être respectivement du troisième degré pour le premier sous-domaine et du deuxième pour les deux autres, avec le point de l'indium remplaçant le point du gallium dans le sous-domaine de l'étain ; il vaudrait mieux que la fonction du

sous-domaine se terminant au point de l'indium soit linéaire au lieu d'être du deuxième degré comme dans la version E. Il semble aussi que la fonction du deuxième degré qui figure dans la version E entre le mercure et le gallium pourrait être remplacée par deux fonctions linéaires attenantes. M. Blanke fait remarquer que si une fonction linéaire suffit entre 0 °C et le point de l'indium, cela doit certainement suffire entre 0 °C et le point du gallium. Sa suggestion est acceptée. M. Bonnier dit que, pour les utilisateurs qui ont besoin de mesures exactes au voisinage de la température ambiante, cela présente aussi l'avantage pratique de ne nécessiter qu'un seul point fixe facilement réalisable (gallium).

Suivent plusieurs commentaires sur l'utilité d'un tel sous-domaine entre 0 °C et le point de fusion du gallium. Il semble qu'il y ait moins besoin d'un sous-domaine supplémentaire entre le point triple du mercure et 0,01 °C. M. Crovini présente aussi, à l'aide de transparents, quelques-uns des problèmes que le groupe de travail a rencontrés en essayant de réduire les discontinuités des dérivées premières et secondes dans les définitions de l'EIT-90 de part et d'autre de 0,01 °C.

Le président demande ensuite à M. Crovini d'indiquer la température des différents points fixes à utiliser, dans la mesure où ces températures sont déterminées. Tout d'abord, dit M. Crovini, la température du point triple de l'eau va demeurer 0,01 °C (273,16 K). M. Quinn rappelle au CCT que si on la changeait, le point d'ébullition de l'eau pourrait demeurer à 100 °C exactement. Est-ce particulièrement souhaitable? Après quelque discussion, l'idée est rejetée. M. Crovini continue à mentionner, au milieu de nombreuses remarques de la part des participants, la température des divers points fixes dont il a été question. Il se peut qu'un certain nombre de ces températures soient légèrement modifiées lorsque l'on aura examiné les nouveaux résultats du NRC.

Thermomètre à gaz entre 4 K et 24 K (suite)

Le président demande à M. Hudson si le Groupe de travail 4 est d'avis ou non d'éliminer la Section 3.2.1 de la version E. M. Hudson indique que le Groupe de travail 4 a eu une assez longue discussion mais ne peut faire de recommandation précise. Les cinq membres du Groupe de travail 4 ont reconnu qu'il paraissait logique d'éliminer la Section 3.2.1 mais, par ailleurs, trois préféraient la voir conservée pour sa simplicité. M. Astrov soulève la possibilité d'un désaccord, qui risque d'atteindre 0,5 mK, entre les deux relations utilisées avec la même série de résultats expérimentaux. Tout le monde est d'accord pour dire que, si un tel désaccord existe, il faut éliminer la Section 3.2.1. Il s'ensuit une discussion vive et prolongée à laquelle prennent part de nombreux participants. Deux séries de calculs ont montré que tout désaccord était inférieur à 0,1 mK. M. Astrov préfère, en tout état de cause, éliminer la Section 3.2.1 car elle est inutile : la simplicité arithmétique ne constitue

pas un avantage particulier puisque l'on utilise toujours des ordinateurs. M. Quinn demande s'il se peut que le désaccord observé par M. Astrov soit expérimental. M. Durieux se demande si cela peut résulter de valeurs incohérentes, du point de vue thermodynamique, de la température attribuée aux trois points fixes. M. Rhee demande ce qu'il en est de l'accord entre les relations et les températures thermodynamiques. Le président conclut que la question doit être encore étudiée avant qu'une décision puisse être prise.

Considérations diverses concernant l'EIT-90

Le président revient ensuite sur une question posée plus tôt par M. Pokhodoun : comment transférera-t-on les températures internationales entre le point de l'or et celui de l'argent d'un laboratoire à l'autre, par exemple ? Y aura-t-il un thermomètre recommandé pour ce transfert ? M. Crovini répond que, par exemple, on peut utiliser un thermocouple Pt 10 % Rh/Pt de la même façon qu'on le fait pour les températures supérieures au point de l'or. Plus tard, lorsque les thermomètres à résistance de platine seront devenus suffisamment stables jusqu'au point de l'or, on pourra les utiliser. Pour le moment, les expériences faites dans plusieurs laboratoires montrent qu'ils sont trop sensibles à la contamination par les vapeurs métalliques.

M. Pokhodoun ajoute que, puisque les domaines de fusion et de congélation des corps dont on utilise les points fixes peuvent être assez larges, il faudrait définir les points fixes comme des points de liquidus (ou même de solidus) plutôt que comme des points de congélation ou de fusion. M. Bonnier est du même avis ; le domaine de fusion de l'indium, par exemple, peut s'étendre sur 1 mK et, par suite, des écarts de plusieurs dixièmes de millikelvin peuvent résulter d'une définition non satisfaisante. M. Pokhodoun dit que la température du point fixe dépend de la fraction fondue aussi bien que de l'historique du processus. M. Pavese note que le tableau I, note *b* (de la version E) renvoie à « Supplementary Information » pour ce type de détails et il pense que cela est tout à fait correct. La définition des points fixes se rapporte à des corps *purs*, alors que les problèmes liés au domaine de fusion résultent de la présence d'impuretés. M. Bonnier remarque que les notes de bas de page du tableau I ne semblent pas tenir compte des différences subtiles qui existent entre les méthodes de réalisation des points fixes au-dessus de 0 °C par rapport à celles qui sont utilisées dans le domaine cryogénique. Avec certaines méthodes, le temps, ainsi que la pression, ont une influence sur le résultat. Il pense que tous les points fixes devraient être appelés points triples, les points de congélation et de fusion n'en étant que des approximations.

Une discussion s'ensuit entre M. Bonnier, M. Crovini et le président pour savoir si les notes de bas de page du tableau I sont rédigées avec

exactitude et quelles sont les distinctions à faire entre point de fusion, point de congélation et point triple — tant dans les conditions idéales que pratiques. La conclusion est que ce type de distinctions doit se trouver dans « Supplementary Information » et que les notes de bas de page telles qu'elles sont rédigées sont correctes car partout le texte indique qu'il s'agit de corps *purs*.

M. Mangum demande ce que signifie l'expression « composition isotopique naturelle » lorsqu'elle s'applique à l'eau. Il dit que personne n'utilise l'eau des océans à laquelle la note se rapporte réellement et que la composition de l'eau de pluie serait plus appropriée. Il s'ensuit une longue discussion sur ce point. La conclusion est qu'il serait virtuellement impossible d'indiquer toutes les variantes possibles de composition isotopique de l'eau ; de toute façon, les incertitudes sur la température qui en résultent sont probablement inférieures à 0,2 mK, ce qui reste dans les limites d'incertitude de la mesure et de la reproductibilité d'une cellule à point triple de l'eau. Référence doit être faite au document « Supplementary Information ». M. Rhee demande pourquoi, pour le gallium, on a choisi le point de fusion plutôt que le point de congélation ou le point triple. La réponse est simplement que c'est de loin le point le plus facile à réaliser dans les applications pratiques. M. Bonnier suggère aussi quelques corrections rédactionnelles à apporter aux notes de bas de page du tableau I, corrections qui sont acceptées.

Critères de qualité pour les thermomètres à résistance de platine

M. Jones dit que la version E contient des spécifications sur les rapports de résistance au point du gallium et au point du mercure qui déterminent si un thermomètre à résistance de platine est acceptable. Il devrait exister une spécification semblable pour $W(\text{Ag})$. Le président est de cet avis, mais dit que le Groupe de travail 1 n'avait pas reçu les renseignements nécessaires pour établir une spécification de ce genre. Il aimerait voir des critères encore plus complets pour rejeter ou accepter des thermomètres mais jusqu'à maintenant personne n'a été capable de formuler ces critères. Des effets d'autre nature tels que les fuites électriques compliquent la situation. M. Jones répond que, pour commencer, l'EIT-90 devrait spécifier $W(\text{Ag}) > 4,28440$. M. Rusby fait remarquer qu'il existe une spécification pour $W(\text{Ga})$ mais qu'on a maintenant éliminé le point du gallium dans plusieurs sous-domaines, ce qui risque d'être malencontreux. M. Crovini suggère comme règle éventuelle de sélection l'utilisation d'une relation linéaire entre ΔW (c'est-à-dire $W - W_r$) et la température pour les critères à divers points fixes, mais cela n'a pas encore été expérimenté. Le président suggère que toutes les indications dont on disposera sur ces critères avant l'été 1990 soient incluses dans le document « Supplementary Information ».

M. Mangum se demande si un thermomètre doit satisfaire à l'une seulement des spécifications sur $W(\text{Hg})$ et $W(\text{Ga})$ ou s'il doit satisfaire aux deux. Cette question suscite une importante discussion dont on tire la conclusion que les deux spécifications sont, autant qu'on puisse le savoir d'après l'expérience, presque équivalentes.

Domaine du thermomètre à résistance de platine (*suite*)

Le second jour de la session, le président ouvre la réunion en demandant à M. Crovini d'exposer les nouveaux calculs concernant le domaine Hg-H₂O-Ga dont les résultats ont été communiqués par M. Hill la veille au soir. Les calculs sont fondés sur des étalonnages faits par le NIST sur six thermomètres à résistance de platine Chino aux points triples du mercure, de l'eau et du gallium et aux points de congélation de l'indium, de l'étain, du zinc et de l'aluminium.

Tout d'abord, l'interpolation quadratique Hg-H₂O-Ga comparée à l'interpolation linéaire H₂O-Ga, en fixant le point triple du mercure à $-38,8337\text{ }^\circ\text{C}$ et le point triple du gallium à $29,7666\text{ }^\circ\text{C}$, fait apparaître une différence de pente à $0\text{ }^\circ\text{C}$. Le désaccord demeure si le point triple du mercure est fixé à $-38,8344\text{ }^\circ\text{C}$ mais disparaît pour $-38,8357\text{ }^\circ\text{C}$. Ainsi, d'après cette comparaison de thermomètres à résistance de platine, il faudrait que le point triple du mercure soit 2 mK au-dessous de ce qu'il est dans la version E de l'échelle. Tous les calculs ont été faits avec, pour $W_r(T)$, la nouvelle fonction de référence aux basses températures calculée au CSIRO. Le comité accepte cette nouvelle fonction de référence pour l'échelle.

Enfin, l'interpolation linéaire H₂O-Ga, en fixant le point triple du gallium à $29,7666\text{ }^\circ\text{C}$, comparée à l'interpolation cubique H₂O-Sn-Zn-Al, en fixant le point de congélation de l'étain à $231,928\text{ }^\circ\text{C}$, celui du zinc à $419,527\text{ }^\circ\text{C}$ et celui de l'aluminium à $660,323\text{ }^\circ\text{C}$, ne fait pas apparaître de désaccord significatif.

Thermomètre à gaz entre 4 K et 24 K (*suite*)

Revenant sur la question de savoir si la méthode simple d'interpolation au moyen de la relation du deuxième degré pour un thermomètre à gaz à ⁴He entre 4,2 K et 24 K devait être conservée dans l'échelle (Section 3.2.1 du texte), le président sollicite les avis autour de la table. À une large majorité, les participants choisissent de la conserver, bien que cela ne soit qu'une introduction commode à la description plus générale du thermomètre à gaz faite dans la Section 3.2.2.

À la demande de M. Sakurai, il est convenu, dans le cours ultérieur de la réunion, d'écrire les relations pour les pressions de vapeur saturante de l'hélium sous une forme mathématique plus correcte, cohérente avec les relations des fonctions de référence $W_r(T)$.

Domaine du thermomètre à résistance de platine (*suite*)

M. Bloembergen soulève la question, qui a été soumise aux Groupes de travail 3 et 4 la veille, de savoir si la température des points de l'argent, de l'or et du cuivre doit être modifiée, compte tenu de l'abaissement proposé maintenant de 1 mK (c'est-à-dire 4 mK par rapport à la version E) du point de l'aluminium. Se rapportant à la discussion sur ce sujet qu'ont eue la veille les groupes de travail, M. Jung fait remarquer qu'il existe trois possibilités : 1) n'apporter aucun changement à la valeur des points de l'argent, de l'or et du cuivre ; 2) modifier la valeur attribuée à la température de ces points ; 3) modifier la valeur attribuée à leur température ainsi que les constantes de la fonction de référence. M. Jung préfère la première de ces solutions, c'est-à-dire laisser inchangés les points de l'argent, de l'or et du cuivre, car c'est la solution la plus commode et elle conserve la cohérence de la relation W en fonction de T dans l'EIT-90. Le petit écart par rapport aux résultats obtenus avec la thermométrie par rayonnement (6,1 mK au point de l'argent) est bien inférieur à l'incertitude expérimentale (20 mK au point de l'argent). La troisième solution ne convient pas parce qu'elle conduit à garder les petits désaccords entre sous-domaines. M. Bloembergen et M. Hudson préfèrent modifier les points de l'argent, de l'or et du cuivre. Une longue discussion s'ensuit, au terme de laquelle il est décidé de ne pas modifier la température des points de l'argent, de l'or et du cuivre.

M. Ling fait remarquer que, d'après ses calculs, la non-unicité des thermomètres à résistance de platine employés par M. Jung est asymétrique, c'est-à-dire que leur $W(T_{90})$ se situe plutôt d'un même côté de $W_r(T_{90})$. M. Jung explique que cela est probablement dû à un léger ajustement linéaire de $W_r(T_{90})$ que l'on a fait afin d'être suffisamment en accord à 0 °C avec la pente de la fonction de référence aux basses températures, révisée, fournie par M. Kemp. M. Ling demande quelles sont les différences entre la fonction de référence aux basses températures, révisée, extrapolée, et la fonction de référence aux températures élevées, extrapolée, au voisinage de 0 °C. M. Crovini et M. Kemp répondent qu'elles vont de 0,5 mK à - 30 °C à 2 mK à + 30 °C ; toutefois, à 0 °C, les pentes sont quasiment les mêmes.

Tables de référence pour les thermocouples et les thermomètres à résistance de platine industriels (*suite*)

Le point de discussion suivant concerne la recommandation au CIPM relative aux nouvelles tables de référence pour les thermocouples et les thermomètres à résistance de platine industriels, qui a été proposée et dont un projet de rédaction a été distribué la veille. Dans la dernière version de ce projet, on souligne que l'introduction de l'EIT-90 rendra urgente la nécessité d'avoir de nouvelles tables de référence internationales

tant pour les thermocouples que pour les thermomètres à résistance de platine. Il est donc demandé au Groupe de travail 2 de travailler avec les laboratoires nationaux à l'élaboration rapide de ces tables.

M. Bloembergen propose que, dans la recommandation, il soit fait référence explicitement au thermocouple Pt/Pd récemment mis au point, comme au thermocouple Pt/Au. M. Maas ajoute que ce thermocouple donne des résultats presque aussi reproductibles que le thermocouple Pt/Au et que, de plus, on peut l'utiliser jusqu'à 1 200 °C. Toutefois, M. Rusby craint que cela ne retarde la préparation des tables car les renseignements sur les thermocouples Pt/Pd ne sont pas encore disponibles. Il rappelle aussi aux participants que, en 1987, le CCT avait fait une recommandation concernant la mise au point des thermocouples Pt/Au et Pt/Pd. Par ailleurs, M. Bloembergen et M. Bonnier ont le sentiment que le fait de mentionner explicitement le thermocouple Pt/Pd devrait stimuler la mise au point de cet instrument très utile et, peut-être aussi, la production du palladium pur nécessaire pour le construire et difficile à se procurer actuellement.

Le président rappelle aux participants que le thermocouple Pt/Au, déjà disponible, est important pour obtenir une réalisation secondaire très fiable de l'échelle. Toutefois, afin d'éviter de mélanger différents sujets, c'est-à-dire la publication rapide de nouvelles tables de référence d'un côté et la mise au point de nouveaux thermocouples prometteurs d'un autre côté, il est décidé de ne mentionner aucun thermocouple de façon explicite dans le texte de la recommandation. M. Crovini fait remarquer qu'il existe en Europe un programme prévoyant que trois laboratoires nationaux d'étalonnage étudieront les thermomètres à résistance de platine industriels ; cela concerne sept types de thermomètres produits par différents fabricants européens. M. Quinn préparera un nouveau projet de recommandation pour le soumettre à l'approbation du comité.

Différences $T_{90} - T_{76}$ et $T_{90} - T_{68}$

M. Rusby demande si les tables des différences $T_{90} - T_{76}$ et $T_{90} - T_{68}$ élaborées par le Groupe de travail 4 (Document CCT/89-3, p. A1-3 et A1-4) sont prêtes, pour être incluses dans le texte de l'échelle. M. Rusby explique comment on a obtenu les différences qui figurent dans le tableau :

— Dans le domaine compris entre 0,65 K et 27 K

$$(T_{90} - T_{76})/K = - 5,6 \times 10^{-6} (T/K)^2$$

— Dans le domaine compris entre 14 K et 1 064 °C, par interpolation graphique à partir de résultats publiés (pour le domaine compris entre - 200 °C et 630 °C la courbe obtenue a été ajustée à l'aide d'un polynôme du type $t_{90} - t_{68} = f(t)$).

— Dans le domaine supérieur à 1 064 °C

$$(t_{90} - t_{68})/^{\circ}\text{C} = - 0,25 [(t/^{\circ}\text{C} + 273,15)/1\,337,33]^2.$$

Le comité est d'accord sur les principes utilisés, mais discute sur les méthodes disponibles. Finalement il est convenu que, dans le domaine du thermomètre à résistance de platine commun à l'EIT-90 et l'EIPT-68, c'est-à-dire 14 K – 630 °C, les différences seront obtenues à partir de thermomètres qui ont été étalonnés dans les deux échelles. Il est aussi convenu que M. Rusby préparera le tableau final. À propos du tableau VI, on discute ensuite du nombre de chiffres qu'il convient de conserver pour que ses valeurs soient lisses, comparativement à l'exactitude avec laquelle on peut donner les différences de température compte tenu de la non-unicité des échelles.

En réponse à une demande du président du comité et du président du Groupe de travail 4, M. Rusby dit qu'il fournira un tableau définitif d'ici une semaine. M. Rusby apportera aussi les corrections dues aux petits ajustements que le comité a faits à la valeur des points fixes.

Points de congélation de l'argent, de l'or et du cuivre

M. Pokhodoun demande quelle est la concordance du point de vue thermodynamique entre les valeurs données pour les points de congélation de l'argent, de l'or et du cuivre, chacun de ceux-ci pouvant être choisi comme température de référence pour le thermomètre à rayonnement, et quel est l'accord des pentes au point de raccordement de l'échelle du thermomètre à résistance de platine et de l'échelle du thermomètre à rayonnement. Se référant au Document CCT/87-4, M. Rusby explique comment ont été obtenues les valeurs des points de l'argent, de l'or et du cuivre : on dispose de résultats expérimentaux à l'IMGC, au CSIRO et à la PTB (Berlin) ; on a donc choisi les résultats les plus récents et les plus exacts pour obtenir les valeurs données.

Lorsque M. Pokhodoun et M. Astrov répètent que l'on aurait obtenu une échelle unique si l'on avait conservé seulement un point de référence pour le thermomètre à rayonnement, le président, M. Jones et M. Crovini répondent que, dans la pratique, cela aurait été le point de l'argent. C'est pour la commodité que l'on a laissé le choix entre l'argent, l'or et le cuivre. Selon les meilleures estimations, il n'y aura aucune différence systématique due à l'emploi de l'un ou l'autre des trois points fixes.

Après avoir reçu plusieurs suggestions de la part de certains participants pour apporter des corrections rédactionnelles au projet du texte de l'échelle actuellement en circulation, le président ajourne la réunion jusqu'au lendemain.

Domaine du thermomètre à résistance de platine (*suite*)

Le président ouvre à nouveau la réunion en proposant que l'on étudie les résultats, reçus du NRC dans la nuit, des calculs concernant les désaccords entre sous-domaines. Les calculs ont été faits avec des données provenant du NIST et concernent un certain nombre de thermomètres à résistance de platine, comprenant les six thermomètres Chino fournis par M. Mangum. Le président demande à M. Crovini et à M. Kemp d'exposer ces résultats.

À l'aide de transparents, M. Crovini montre d'abord la comparaison de l'interpolation quadratique Hg-H₂O-Ga avec l'interpolation quadratique H₂O-Sn-Zn en fixant le point triple du mercure à $-38,8344\text{ }^{\circ}\text{C}$, celui du gallium à $29,7666\text{ }^{\circ}\text{C}$, le point de congélation de l'étain à $231,928\text{ }^{\circ}\text{C}$ et celui du zinc à $419,527\text{ }^{\circ}\text{C}$. La différence de pente à $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ est d'environ $1,3\text{ mK}$ pour 60 K , soit 2×10^{-5} . D'après des calculs antérieurs, on sait qu'il y a accord satisfaisant entre l'interpolation quadratique H₂O-Sn-Zn et l'interpolation cubique H₂O-Sn-Zn-Al. Un autre graphe montre que l'interpolation linéaire H₂O-Ga est en bon accord avec l'interpolation quadratique H₂O-Sn-Zn. M. Crovini termine en disant que, dans tous les cas, les petits désaccords se tiennent dans les limites que le Groupe de travail 3 a définies.

M. Kemp présente une vue générale des résultats des calculs faits au CSIRO sur les données de la comparaison de Ward-Compton avec, pour le point triple du mercure, des valeurs mesurées et des valeurs calculées à partir des données de Ward-Compton (*voir* Document CCT/89-30). Ces résultats sont dans l'ensemble en accord avec ceux qui viennent d'être envoyés par M. Hill. Il conclut que la non-unicité dans le domaine $14\text{ K} - 273\text{ K}$, ainsi que dans les sous-domaines $54\text{ K} - 273\text{ K}$ et $84\text{ K} - 273\text{ K}$, reste dans les limites de $\pm 0,5\text{ mK}$ et que les désaccords entre domaine et sous-domaines sont inférieurs à $0,5\text{ mK}$. Toutefois, la non-unicité augmente quelque peu, avec une augmentation similaire des désaccords entre sous-domaines, si l'on incorpore le sous-domaine $24\text{ K} - 273\text{ K}$.

5. Adoption de l'EIT-90

Le président distribue un nouveau projet du texte de l'échelle qui tient compte de toutes les suggestions faites jusqu'à maintenant et demande à M. Crovini si, en tant que président du Groupe de travail 3, il recommande des modifications numériques à apporter aux valeurs des points fixes. M. Crovini répond que les renseignements, qui étaient disponibles la veille et sur lesquels sont fondées les valeurs des points fixes qui figurent dans le nouveau texte, sont confirmés par les dernières informations venues du NRC. Par conséquent, le Groupe de travail 3 ne recommande aucune autre modification.

En ce qui concerne l'éventuelle introduction d'un sous-domaine compris entre 24 K et 273 K, M. Quinn fait remarquer que M. Bonnier a demandé au comité de noter que l'accent a été mis sur la non-unicité et les désaccords entre sous-domaines plutôt que sur la propagation des erreurs dues aux incertitudes sur la réalisation des points fixes. M. Quinn souligne que la non-unicité et les désaccords entre sous-domaines sont des erreurs inhérentes à l'échelle, alors que l'on peut penser que les incertitudes sur les étalonnages des points fixes et, par conséquent, l'effet de la propagation des erreurs iront en diminuant avec le temps. En ce qui concerne la propagation des erreurs, M. Crovini fait remarquer que l'échelle se trouve considérablement améliorée lorsque l'on remplace le point du gallium par le point de l'indium dans plusieurs domaines et sous-domaines.

Un certain nombre de modifications rédactionnelles apportées à ce nouveau projet de texte sont acceptées. On passe un temps considérable à expliquer de façon appropriée dans le texte de l'échelle (Section 4, dernier paragraphe) le nombre de chiffres significatifs et l'exactitude des différences de température $T_{90} - T_{68}$ dans le tableau VI de l'échelle.

M. Astrov et M. Bonnier mettent en garde contre une utilisation trop négligente du tableau VI : pour convertir l'étalonnage d'un thermomètre à résistance de platine dans l'EIPT-68 à un étalonnage dans l'EIT-90, il est préférable de refaire un calcul complet en utilisant les étalonnages aux points fixes avec les valeurs de l'EIT-90. Même en procédant ainsi, un étalonnage complet dans l'EIT-90 ne peut, en général, être obtenu sans faire de nouvelles mesures car il manque certains points fixes.

M. Quinn fait un commentaire préliminaire sur le processus d'officialisation du texte de l'échelle. En supposant que le CCT parvienne bientôt à un accord sur le texte, le président incorporera autant de détails que possible afin que les membres du CCT puissent partir avec un texte dans lequel les 31 nombres seront corrects mais qui ne comportera, par exemple, pas le tableau VI. Le texte, correct et aussi complet que possible, pourra ensuite être soumis au CIPM avec la version correspondante en français. Après l'adoption de l'échelle par le CIPM, un texte quasiment définitif sera communiqué aux membres du CCT. Le président ajoute que cela sera la première version qui ne portera plus l'avertissement « à l'attention exclusive des membres du CCT ».

A lieu ensuite une dernière discussion sur le contenu de la Recommandation T 1 (1989) préconisant l'adoption de l'EIT-90. Il est décidé que la recommandation doit comporter seulement le fait essentiel, à savoir qu'à dater du 1^{er} janvier 1990 une nouvelle échelle de température, l'EIT-90, remplacera l'EIPT-68 et l'EPT-76 et que cette nouvelle échelle sera accompagnée de deux documents publiés par le BIPM, « Supple-

mentary Information for the ITS-90 » et « Techniques for Approximating the ITS-90 ». Le comité est d'accord pour supprimer un paragraphe du projet de la recommandation qui portait sur l'introduction du thermomètre à résistance de platine aux températures élevées dans le domaine compris entre 630 °C et 961 °C et la possibilité d'utiliser le thermocouple Pt/Au pour des réalisations secondaires moins précises.

M. Pavese propose à nouveau d'introduire un sous-domaine compris entre 24 K et 273 K. Le président a l'impression que le comité ne le souhaite pas. M. Pavese dit qu'il se peut que cette impression soit exacte mais que la question n'a pas été discutée en fin de compte. Le président ouvre à nouveau la discussion en demandant à M. Crovini, en tant que président du groupe, quelle est l'opinion du Groupe de travail 3. M. Crovini répond que, comme le rôle du groupe de travail consistait à assurer un accord entre les sous-domaines à 0,5 mK près et comme (d'après ce qui a été montré le matin même) le sous-domaine compris entre 24 K et 273 K se situe hors de cette limite, le Groupe de travail 3 n'en recommande pas l'introduction. Le président sollicite les commentaires. Il s'ensuit une assez longue discussion entre les participants, discussion au cours de laquelle sont revus à nouveau dans le détail les avantages et les inconvénients que présenterait l'introduction de ce sous-domaine. On signale que le critère du Groupe de travail 3 sur le degré d'accord entre sous-domaines devrait être élargi, mais un peu seulement, pour permettre l'introduction du sous-domaine. Pour finir, la question est soumise à un vote*. La majorité des participants (10 sur 12 et 2 abstentions) vote en faveur de l'introduction du sous-domaine compris entre 24 K et 273 K dans l'EIT-90.

Revenant au tableau VI, M. Pavese souligne le souhait général d'avoir une représentation mathématique convenable pour les différences entre échelles. Il propose que les relations qui permettront d'obtenir des différences $T_{90} - T_{68}$ correctes soient données dans le document « Supplementary Information ».

Finalement on procède au vote et l'EIT-90 est adoptée par tous les participants. Le président félicite le comité pour le résultat obtenu, exprimant l'espoir, la quasi-certitude, que l'échelle sera un succès. Il remercie aussi les participants pour le dur travail qu'ils ont accompli.

Une nouvelle version dactylographiée du texte est distribuée. Elle contient toutes les modifications approuvées par le CCT, à l'exception du sous-domaine compris entre 24 K et 273 K, des valeurs de W_i aux points fixes et du tableau VI. Ainsi qu'il a été dit plus haut, la version finale, comprenant encore des améliorations rédactionnelles, sera envoyée aux membres du CCT peu après l'adoption probable de l'échelle par le CIPM.

* Résultats du vote : *pour* : ASMW, CSIRO, IMGCI, INM, KSRI, NIM, NPL, NRLM, PTB, VSL ; *contre* : NIST, NRC ; *abstention* : VNIIFTRI, M. Swenson.

Suit alors une discussion sur une proposition de M. Pokhodoun, appuyée par M. Bonnier, de recommander la poursuite des recherches sur la spécification précise des incertitudes touchant les réalisations des points fixes et leur effet sur les incertitudes affectant la réalisation de l'échelle. Les résultats de ces recherches devraient être décrits dans le document « Supplementary Information ». M. Pavese demande s'il s'agit d'autres recherches que celles qui ont été faites sur la reproductibilité de la réalisation des points fixes et il fait remarquer que, pour les points fixes aux basses températures en particulier, de nombreux renseignements utiles figurent dans les publications traitant des comparaisons de cellules à point triple scellées. M. Bonnier répond qu'il est aussi souhaitable que les incertitudes soient exprimées selon une méthode largement acceptée. Le président est d'accord pour dire qu'il est important de poursuivre des travaux expérimentaux sur la réalisation des points fixes et que ces travaux doivent faire l'objet de publication dans des revues générales, après quoi ils peuvent être soumis à l'appréciation des groupes de travail et, si les résultats paraissent utiles, ils peuvent être inclus dans le document « Supplementary Information ». M. Quinn propose que M. Pokhodoun, M. Bonnier et M. Bloembergen préparent un projet de recommandation T 3 à cet effet.

6. Adoption des recommandations

En attendant que ce projet soit prêt, le CCT approuve un paragraphe modifié traitant de l'exactitude des valeurs du tableau VI ($T_{90} - T_{68}$) dans la Section 4 de l'échelle et adopte sous leur forme définitive la Recommandation T 1 (1989) sur l'« Échelle internationale de température de 1990 (EIT-90) » et la Recommandation T 2 (1989) sur les « Tables de référence pour les thermocouples et les thermomètres à résistance de platine industriels ». Lors de la discussion de cette dernière recommandation, plusieurs participants soulignent à nouveau l'importance des thermocouples Pt/Au et Pt/Pd, récemment mis au point, et le comité confirme sa Recommandation T 2 (1987) encourageant les laboratoires nationaux à poursuivre leurs recherches sur ces nouveaux types de thermocouples.

Le projet de Recommandation T 3 (1989), préparé par M. Bloembergen, est soumis au comité et donne lieu à une longue discussion. Certaines divergences d'opinion sur son contenu se font jour. Tous les participants à la discussion sont d'accord pour dire qu'il est de la plus haute importance d'obtenir davantage de renseignements sur l'incertitude inhérente à la réalisation de l'EIT-90. Toutefois, le président fait remarquer que ce dont on a particulièrement besoin c'est de plus de renseignements sur les instruments d'interpolation (thermomètres à

résistance de platine), car la non-unicité et les désaccords entre sous-domaines risquent de surpasser nettement les incertitudes dues à la réalisation des points fixes.

M. Bonnier pense que les incertitudes sur la réalisation des points fixes doivent être indiquées de façon comparable et que les méthodes mathématiques pour décrire la propagation de ces incertitudes aux températures intermédiaires sont loin d'être simples. M. Bonnier, M. Bloembergen et M. Pavese insistent sur la nécessité d'avoir une méthode bien définie et précise pour évaluer les incertitudes.

Le président, M. Bedford et M. Quinn estiment que la poursuite de l'étude des incertitudes sur tous les aspects de l'échelle fait partie du rôle normal des laboratoires nationaux et ils ne souhaitent pas avoir une recommandation à cet effet. M. Rusby et surtout M. Rhee estiment que la recommandation suggérée pourrait même donner au CIPM l'impression que le CCT recommande une échelle sans en connaître les incertitudes. Pour terminer, le président propose de voter * sur un projet de recommandation révisé, revêtant une forme beaucoup plus générale, qui rassemble la majorité des suffrages.

7. Composition et attributions des groupes de travail

Le président passe ensuite à la révision de la composition et des attributions des groupes de travail. Pour le Groupe de travail 1, le point important qui subsiste est la révision du document « Supplementary Information ». Là où référence est faite au document « Supplementary Information » dans le texte de l'EIT-90, il convient d'ajouter les renseignements correspondants. De plus, il y a d'autres parties à écrire ou à réécrire. Il demande l'aide d'autres membres pour cette tâche. Au nom de M. Crovini (qui a quitté la réunion), M. Mangum demande que le Groupe de travail 3 demeure inchangé et collabore à ce travail. Le président pense que cela est tout à fait souhaitable. Il espère que cette monographie sera prête à être publiée avant la fin de 1990.

En ce qui concerne le Groupe de travail 2, M. Bedford dit que la tâche immédiate est de compléter le document « Techniques for Approximating the International Temperature Scale of 1990 » ; il espère que celui-ci pourra être prêt à être publié vers la mi-1990. Cela entraîne une longue discussion entre un certain nombre de participants, d'où il ressort que le Groupe de travail 2 a pour mission de s'assurer que dans le document toutes les informations se rapportent bien à l'EIT-90

* Résultats du vote : *pour* : ASMW, IMGC, INM, NIM, NRLM, PTB, VNIIFTRI, VSL ; *contre* : CSIRO, KSRI, NPL, NRC ; *abstention* : M. Swenson. Le représentant du NIST avait déjà quitté la réunion.

et non à l'EIPT-68 (ce qui était le cas lors de la rédaction des premiers projets), sauf lorsque cela n'est pas possible (comme, par exemple, en ce qui concerne les tables de référence internationales pour les thermocouples et les thermomètres à résistance de platine industriels). M. Bedford suggère que le Groupe de travail 2 entreprenne aussi la révision, la mise à jour et le rattachement à l'EIT-90 d'une précédente publication sur les températures recommandées pour les points secondaires de référence.

La tâche du Groupe de travail 3, qui consistait à « définir le domaine du thermomètre à résistance de platine dans l'EIT-90 », est maintenant achevée. Après discussion, il est convenu que le Groupe de travail 3 soit maintenu, au moins à court terme, afin d'aider le Groupe de travail 1 dans sa tâche de révision du document « Supplementary Information ».

On discute du travail à venir du Groupe de travail 4. Comme on aura toujours besoin, même si cela est un peu mis en sourdine, de contrôler et de rassembler les renseignements sur les mesures de la température thermodynamique, cela doit constituer une de ses tâches. M. Hudson dit que la tâche immédiate qui consiste à établir un tableau de $T_{90} - T_{68}$ pour le texte de l'EIT-90 (tableau VI) devrait être achevée en une semaine. En supposant que le CCT donne son approbation, le Groupe de travail 4 a aussi décidé de publier un rapport sur la façon dont il est parvenu à faire les évaluations de $T - T_{68}$ qui font maintenant partie de l'EIT-90. Le CCT considère que c'est une publication importante et l'approuve. À une question de M. Pavese concernant les renseignements détaillés sur le thermomètre à gaz, le président répond que l'on en a une quantité importante maintenant, mais que l'on en aura encore besoin d'autres à l'occasion.

Le président passe ensuite à la question de la composition des groupes de travail ; il rappelle d'abord au CCT la composition actuelle. Les tâches des groupes de travail sont maintenant bien allégées ; il subsiste évidemment quelques tâches immédiates et à n'en pas douter d'autres se présenteront à long terme. Il suggère que, pour l'instant, on ne s'occupe de la composition qu'en vue de l'avenir proche. On discute beaucoup de la composition des groupes de travail à la lumière des tâches qui sont immédiates. Le président dit qu'il compte rester dans le Groupe de travail 1 jusqu'à ce que la révision du document « Supplementary Information » soit achevée, après quoi il se retirera. M. Hudson dit qu'il lui paraît inopportun de rester président du Groupe de travail 4 bien qu'il soit désireux d'en rester membre, au moins pendant une brève période. M. Durieux dit que, lui aussi, souhaite continuer à faire partie du Groupe de travail 4 au moins pendant quelque temps encore. M. Rusby accepte la présidence du Groupe de travail 4. À l'exception du changement de cette présidence, la composition de tous les groupes de travail demeure inchangée.

Par conséquent les attributions et la composition des groupes de travail sont les suivantes :

Groupe de travail 1. — Révision du document « Supplementary Information for the ITS-90 »

H. Preston-Thomas (président)
P. Bloembergen
T. J. Quinn

Groupe de travail 2. — Achèvement du document « Techniques for Approximating the ITS-90 » ; révision et adaptation à l'EIT-90 des températures recommandées pour les points secondaires de référence ; collaboration avec les laboratoires nationaux pour préparer rapidement les nouvelles tables de référence pour les thermocouples d'utilisation courante et les thermomètres à résistance de platine industriels.

R. E. Bedford (président)
G. Bonnier
H. Maas
F. Pavese

Groupe de travail 3. — Aide au Groupe de travail 1 pour la révision du document « Supplementary Information for the ITS-90 »

L. Crovini (président)
H.-J. Jung
R. C. Kemp
Ling Shankang
B. W. Mangum
H. Sakurai

Groupe de travail 4. — Collecte des renseignements sur la mesure des températures thermodynamiques

R. L. Rusby (président)
M. Durieux
R. P. Hudson
J. F. Schooley
P. P. M. Steur
C.A. Swenson

M. Rusby parle de l'article que le Groupe de travail 4 est en train de préparer afin de le publier, sur la façon dont ont été obtenues les valeurs de $(T_{90} - T_{68})$ qui font maintenant partie de l'EIT-90 et demande

si le Groupe de travail 1 a l'intention de préparer un document comparable exposant les raisons du choix des méthodes d'interpolation et autres. Après quelque discussion le président est d'accord pour dire que le Groupe de travail 1 va essayer de le faire. Il est aussi convenu que la préparation de ces articles ne fait pas partie à proprement parler des attributions des groupes de travail.

8. Publication des documents (en particulier l'EIT-90)

M. Quinn aborde la question de la publication des documents. À partir de maintenant, le BIPM rassemble les documents de travail des comités consultatifs sous une couverture pour constituer un volume en supplément au rapport. De cette façon, il peut être fait référence aux documents de travail soumis aux comités consultatifs. Chaque participant recevra un exemplaire de ce volume.

En ce qui concerne l'importante question de la publication de l'EIT-90, dans le cas plus que probable de son adoption par le CIPM, le texte sera publié en français et en anglais par le BIPM, comme tiré à part des Procès-verbaux du CIPM. Il est peu probable que cette publication sorte avant la mi-1990. La version en langue anglaise paraîtra aussi dans *Metrologia*, comme cela fut le cas pour l'EIT-68, probablement dans le premier numéro de 1990. Les laboratoires pourront bien évidemment reproduire le texte à leur guise. Les laboratoires nationaux sont encouragés à faire une traduction dans la langue de leur pays respectif s'ils l'estiment nécessaire.

Le document « Supplementary Information for the ITS-90 » sera publié par le BIPM, ainsi que « Techniques for Approximating the ITS-90 ». Un assez grand nombre d'exemplaires de « Supplementary Information for the IPTS-68 and the EPT-76 » furent tirés et il en reste beaucoup. On apprécierait que les laboratoires nationaux fassent connaître au BIPM le nombre d'exemplaires dont ils ont besoin, afin que l'on puisse prévoir l'importance du tirage. En réponse à une question du président, M. Quinn indique que les laboratoires nationaux, ainsi que les membres du CCT, recevront gratuitement « Supplementary Information » et « Techniques ». À long terme, les autres demandes seront satisfaites au prix coûtant. En réponse à une question de M. Bonnier, M. Quinn dit que le document « Techniques » pourra être obtenu auprès du BIPM dans le mois qui suivra l'arrivée du texte définitif au BIPM.

En ce qui concerne le compte rendu de la réunion, on pense que le projet rédigé par M. Durieux et M. Bedford sera diffusé pour commentaires en mars 1990. Cela prend généralement deux à trois mois pour que la version finale soit disponible au BIPM.

Le CCT demande que ses remerciements chaleureux soient transmis à M. Hill du NRC, pour son travail dont il est fait référence tout au long du rapport, pour les calculs qu'il a effectués sur les petits désaccords et la non-unicité des sous-domaines du thermomètre à résistance de platine.

M. Bonnier estime que les groupes de travail devront se réunir dans les tout prochains mois car leurs tâches se chevauchent. Le président remercie M. Bonnier pour sa remarque et répond que les participants ont toujours fait de leur mieux pour faire face à leurs responsabilités.

9. Remerciements

Comme la réunion touche à sa fin, M. Rusby remarque : « Monsieur le président, au début de la session, M. Quinn nous a rappelé que nous allions tous prendre notre responsabilité en ce qui concernait l'EIT-90 et, bien sûr, vous l'avez dit de façon répétée autour de cette table. Même si cela s'est avéré exact, nous devons reconnaître que l'impulsion est pour une grande part venue de vous-même. Nous avons reçu successivement les projets A, B, C, D, E, F, ainsi que plusieurs autres au cours de la semaine qui vient de s'écouler, et je pense que, même si nous assumons tous la responsabilité de cette échelle, au sens propre du terme c'est votre échelle. Je pense que le comité doit saisir cette dernière occasion pour vous exprimer sa reconnaissance pour le travail que vous avez fait sur cette échelle. Longue vie et succès à vous deux ». (*Applaudissements.*)

Le président remercie M. Rusby et ajoute « S'il y a jamais eu un cas où la responsabilité a été partagée, je pense que c'est celui-là et j'étends ces mots à tous ceux, sans exception, qui sont autour de cette table ».

Pour finir, le président exprime sa gratitude à M. Quinn et au personnel du BIPM pour leur hospitalité et leur aide efficace au cours de la session. Il pense que le comité se réunira dans quatre ou cinq ans et clôt la 17^e session du CCT, la 14^e à laquelle il participe.

ANNEXE T 1

Documents de travail présentés à la 17^e session du CCT

Ces documents de travail peuvent être obtenus dans leur langue originale sur demande adressée au BIPM.

Document
CCT/

- 89-1 The International Temperature Scale of 1990 — Version E.
- 89-2 Commentaires des laboratoires (NIM, NIST, CSIRO, VNIIM, NPL, VSL) sur la version D de l'EIT-90 *.
- 89-3 Second interim report of Working Group 4 *.
- 89-3a (Supplement)
- 89-4 NRC (Canada). — Deviation Functions Below 303 K for Consideration in the ITS-90, by K. D. Hill and R. E. Bedford.
- 89-5 NRC (Canada). — Recent studies of ITS-90 deviation functions below 303 K, by K. D. Hill and R. E. Bedford.
- 89-6 NRC (Canada). — The Minimization of Subrange Inconsistency by Fixed Point Adjustment, by K. D. Hill and R. E. Bedford.
- 89-7 VNIIFTRI (URSS). — Rhodium-iron resistance thermometers of the PRMI for low temperatures, by G. A. Kytin, S. F. Vorfolomeev, Y. A. Dedikov, L. N. Ermilova and D. N. Astrov.
- 89-8 VNIIFTRI (URSS). — Realization of the triple point of xenon, by V. M. Khnykov, M. I. Losev, G. M. Gerasimov and D. N. Astrov.
- 89-9 VNIIFTRI (URSS). — Realization of the triple point of deuterium, by V. M. Khnykov, M. I. Losev, V. S. Parbusin, L. I. Rabuch and D. N. Astrov.

* Ce document a été distribué non numéroté.

- 89-10 PTB (Rép. féd. d'Allemagne). — An accurate determination of the relationship between the resistance ratio of high temperature platinum resistance thermometers and the thermodynamic temperature in the range from 903 K until 1 263 K by infrared pyrometry, by H. J. Jung, Li Xumo and J. Fischer.
- 89-11 PTB (Rép. féd. d'Allemagne). — The construction of a reference function for platinum resistance thermometers in the range from 0 °C until 962 °C, by H. J. Jung.
- 89-12 IMGC (Italie). — On the reference function for platinum resistance thermometers below 273.16 K, by F. Pavese.
- 89-13 VSL (Pays-Bas). — Merging of the ITS-90 reference functions in the range between the triple point of mercury and the melting point of gallium, by M. J. de Groot, C.M.E.E. Peters and P. Bloembergen.
- 89-14 ASMW (Rép. dém. allemande). — On the Application of Sealed Triple-Point Cell Under Different Thermal Conditions, by P. Seifert and B. Fellmuth.
- 89-15 ASMW (Rép. dém. allemande). — Realization of Superconducting Thermometric Fixed Points Using Indium and Lead, by B. Fellmuth.
- 89-16 ASMW (Rép. dém. allemande). — Comment concerning terminology in the text proposal of the International Temperature Scale of 1990 (ITS-90), by H. Maas and E.-E. Pippig.
- 89-17 NRC (Canada). — Stabilizing Pt Rh/Pt thermocouples, by J. Ancsin, M. Gotoh and Y. Zhang.
- 89-18 Working Group 3 : The relation between T_{90} and the resistance of the platinum resistance thermometer.
- 89-19 NPL (Royaume-Uni). — Intercomparison of Three Xenon Triple Point Cells, by D. I. Head, Mao Wei and R. L. Rusby.
- 89-20 CSIRO (Australie). — A Reference Function for Platinum Resistance Thermometer Interpolation between 13.81 K and 273.16 K, by R. C. Kemp.
- 89-21 NPL (Royaume-Uni). — The Interpolation Characteristics of a Sealed Gas Thermometer, by K. Nara, R. L. Rusby and D. I. Head.
- 89-22 NPL (Royaume-Uni) et VNIIFTRI (URSS). — An intercomparison of NPL and VNIIFTRI low temperature scales, by R. L. Rusby, D. I. Head and D. N. Astrov.

- 89-23 NRLM (Japon). — Development of Rh-Fe thermometers with a crossed fused-silica coil frame for low temperature use, by H. Sakurai and O. Tamura.
- 89-24 NRLM (Japon). — Experimental Estimation of the Uniqueness of the IPTS-68 in the range from 14 K to 370 K Using 6 Standard Platinum Resistance Thermometers, by H. Sakurai.
- 89-25 NRLM (Japon). — Long-term stability of gallium triple point by a sealed glass cell, by M. Arai.
- 89-26 NRLM (Japon). — Pressure Dependency of the Aluminium Freezing Point, by M. Arai and H. Sakurai.
- 89-27 Supplementary Information for ITS-90. Interpolating Gas Thermometer, by C. A. Swenson.
- 89-28 NPL (Royaume-Uni) et INM (France). — The triple point of carbon dioxide, by D. I. Head, Y. Hermier, G. Bonnier and R. L. Rusby.
- 89-29 IMGC (Italie). — The Interpolating Gas Thermometer in the ITS-90, by P. P. M. Steur and F. Pavese.
- 89-30 CSIRO (Australie). — A Test of the Interpolation Equations of Version E of ITS-90 for Platinum Resistance Thermometers below 273.16 K, by R. C. Kemp.
- 89-31 CSIRO (Australie). — Comments on the Bloembergen Modification, by R. C. Kemp.
- 89-32 CSIRO (Australie). — Notes on the Reference Function for Platinum Resistance Thermometer Interpolation between 14 K and 273 K of Version E of ITS-90, by R. C. Kemp.
- 89-33 NIST (É.-U. d'Amérique). — Spectroradiometric determination of the freezing temperature of gold, by K. D. Mielenz, R. D. Saunders, Jr. and J. B. Shumaker.
- 89-34 VSL (Pays-Bas) et INM (France). — Assessment of an Argon triple-point calibration facility, accomodating long-stem thermometers, by means of an international intercomparison, by P. Bloembergen and G. Bonnier.
- 89-35 NIM (Rép. pop. de Chine). — The Gallium Melting Point Cell, by Su Jinrong, Mou Wensu, Li Xumo and Che Fengjin.
- 89-36 NIM (Rép. pop. de Chine). — A New Direct Current Photoelectric Temperature Comparator at the NIM, by Zhao Qi and Yuan Zundong.

- 89-37 NIM (Rép. pop. de Chine). — New Transfer Standard D. C. Photoelectric Pyrometer, by Zhao Qi, Yuan Zundong and Duan Yuning.
- 89-38 NIM (Rép. pop. de Chine). — The Reference Function for Platinum Resistance Thermometer in the Range 0 °C to 962 °C in the ITS-90, by Ling Shankang and Dai Leshan.
- 89-39 NIM (Rép. pop. de Chine). — Some Remarks on the Construction of the Low Temperature Reference Function of the ITS-90, by Ling Shankang and Dai Leshan.
- 89-40 NIM (Rép. pop. de Chine). — Some Remark on the ITS-90 Draft, by Li Xumo.
- 89-41 Supplementary Information for ITS-90. Interpolating Gas Thermometer, by P. P. M. Steur and F. Pavese.
- 89-42 VNIIFTRI et Moscow State University (URSS). — Preliminary results of the study of HD sealed cell, by V. M. Khnykov, M. I. Losev, D. N. Astrov, V. S. Parbusin, V. V. Guliantz and V. A. Yakovlev.
- 89-43 VNIIM (URSS). — The effect of thermal effusion on gas thermometric measurements, by A. B. Malginov and V. V. Pulit.
- 89-44 Report of the Working Group 2 (August 1989).
-

COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE

MEETING OF 1989

Note on the use of the English text

To make its reports and those of its various Comités Consultatifs more widely accessible the Comité International des Poids et Mesures has decided to publish an English version of these reports. Readers should note that the official record is always that of the French text. This must be used when an authoritative reference is required or when there is doubt about the interpretation of the text.

Note sur l'utilisation du texte anglais

Afin de faciliter l'accès à ses rapports et à ceux des divers comités consultatifs, le Comité international des poids et mesures a décidé de publier une version en anglais de ces rapports. Le lecteur doit cependant noter que le rapport officiel est toujours celui qui est rédigé en français. C'est le texte français qui fait autorité si une référence est nécessaire ou s'il y a doute sur l'interprétation.

THE BIPM AND THE CONVENTION DU MÈTRE

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 Mètre. This Convention was amended in 1921.

BIPM has its headquarters near Paris, in the grounds (43 520 m²) 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 world-wide 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), ionizing radiations (1960) and to time scales (1988). To this end the original laboratories, built in 1876-1878, were enlarged in 1929; new buildings were constructed in 1963-1964 for the ionizing radiation laboratories, in 1984 for the laser work and in 1988 a new building for a library and offices was opened.

* As of 31 December 1990 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, Germany, Hungary, India, Indonesia, Iran, Ireland, Israel, Italy, Japan, Korea (Dem. People's Rep.), Korea (Rep. of), 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.

Some forty physicists or technicians are working in the BIPM laboratories. They are mainly conducting metrological research, international comparisons of realizations of units and the checking of standards used in the above-mentioned areas. An annual report published in *Procès-Verbaux des séances du Comité International* gives the details of the work in progress.

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 units. In order to ensure world-wide 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 (*BIPM Proc.-Verb. Com. Int. Poids et Mesures*, 31, 1963, p. 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 γ rays, electrons); Section II (Measurement of radionuclides); Section III (Neutron measurements); Section IV (α -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).

The *Bureau International* also publishes monographs on special metrological subjects and, under the title « Le Système International d'Unités (SI) », a booklet, periodically up-dated, in which all the decisions and recommendations concerning units are collected.

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*.

Comité International des Poids et Mesures

Secretary

J. DE BOER

President

D. KIND

**MEMBERS
OF THE
COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE**

President

H. PRESTON-THOMAS, Member of the Comité International des Poids et Mesures; Associate Director of the Division of Physics of the National Research Council, Ottawa.

Members

ALL UNION RESEARCH INSTITUTE FOR PHYSICAL TECHNICAL AND RADIOTECHNICAL MEASUREMENTS [VNIIFTRI], Moscow.

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.

CSIRO, Division of Applied Physics [CSIRO], Lindfield (Australia).

INSTITUT DE MÉTROLOGIE D. I. MENDÉLÉEV [VNIIM], Leningrad.

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

KAMERLINGH ONNES LABORATORIUM [KOL], Leiden.

KOREA STANDARDS RESEARCH INSTITUTE [KSRI], Taejon.

NATIONAL INSTITUTE OF METROLOGY [NIM], Beijing.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY [NIST], Gaithersburg (USA).

NATIONAL PHYSICAL LABORATORY [NPL], Teddington.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL [NRC], Ottawa.

NATIONAL RESEARCH LABORATORY OF METROLOGY [NRLM], Tsukuba.

PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT [PTB], Braunschweig.

VAN SWINDEN LABORATORIUM [VSL], Delft.

C. A. SWENSON, Iowa State University, Ames (USA).

The Director of the Bureau International des Poids et Mesures [BIPM].

AGENDA
for the 17th Meeting

Exceptionally, no official agenda was written for the 17th Meeting of the CCT. Only one item was important, completion of the definition and text of the new scale of temperature.

REPORT
OF THE
COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE
(17th Meeting — 1989)
TO THE
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
by M. DURIEUX, rapporteur

The 17th Meeting of the Comité Consultatif de Thermométrie (CCT) took place at the Pavillon de Breteuil on the 12th, 13th and 14th of September 1989.

Present :

H. PRESTON-THOMAS, Member of the CIPM, President of the CCT.

Delegates from the member laboratories :

All Union Research Institute for Physical, Technical and Radio-technical Measurements [VNIIFTRI], Moscow (D. N. ASTROV).
Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung [ASMW], Berlin (H. MAAS).

Bureau National de Métrologie, Paris: Institut National de Métrologie [INM] du Conservatoire National des Arts et Métiers (G. BONNIER).

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

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

Institut de Métrologie D. I. Mendéléev [VNIIM], Leningrad (A. I. POKHODOUN).

Istituto di Metrologia G. Colonnetti [IMGCI], Turin (L. CROVINI, F. PAVESE, P. P. M. STEUR).

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

Korea Standards Research Institute [KSRI], Taejon (CHUNGHI RHEE).

National Institute of Metrology [NIM], Beijing (LING SHANKANG).

National Institute of Standards and Technology [NIST], Gaithersburg (B. W. MANGUM).

National Physical Laboratory [NPL], Teddington (R. L. RUSBY, M. V. CHATTLE).

National Research Council [NRC], Ottawa (R. E. BEDFORD).

National Research Laboratory of Metrology [NRLM], Tsukuba (H. SAKURAI).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig (W. BLANKE, H.-J. JUNG).

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

The member by appointment :

C. A. SWENSON, Iowa State University, Ames.

The Director of BIPM (T. J. QUINN).

Also present :

P. GIACOMO, Director Emeritus of the BIPM ; J. BONHOURE and R. P. HUDSON, Assistants to the Director of the BIPM.

The principal item on the agenda was the completion and adoption of the International Temperature Scale of 1990 (ITS-90) and this had been accomplished.

Since 1987, four Working Groups had met on a number of occasions to prepare for the change of the temperature scale and all had met again on the days just preceding the CCT meeting.

Historically, the Normal Hydrogen Scale was adopted by the CIPM in 1887. In due course the 1927, 1948 and 1968 International Scales succeeded the hydrogen scale. In addition other temporary scales, for temperatures outside the ranges of the international scales, have been generated and recommended from time to time. The three international scales were constructed in similar fashion. All had the same two interpolating instruments and used radiation laws for temperatures above the gold freezing point. While the proposed ITS-90 retains a recognizable resemblance to its international predecessors, changes are readily apparent in the use of helium vapour pressure equations, the introduction of an interpolating gas thermometer, the extension of the platinum resistance thermometer range to the silver freezing point, and the elimination of the platinum-rhodium/platinum thermocouple. By comparison with the IPTS-68, the ITS-90 :

- extends to lower temperatures,
- is numerically closer to corresponding thermodynamic values,
- has improved continuity and precision,
- has overlapping ranges and sub-ranges and offers a choice of reference temperatures in some ranges.

The last item makes for much greater convenience in use, and facilitates both the checking of thermometer quality and the correctness of the measurement process used.

The new material that contributed to the construction of the scale includes: a large number of thermodynamic measurements using gas thermometry, total and monochromatic-radiation thermometry, and magnetic thermometry on which were based the helium vapour-pressure equations; notable improvements in platinum resistance thermometers that have allowed their practical use up to the silver freezing point temperature of 962 °C; substantial improvements in the accuracy, stability and ease of operation of fixed temperature points, and increases in their numbers; greatly improved measurements and trouble-free, programmed and precise control of furnaces, thermostats, fixed-point cells and comparison blocks.

An objection that has already been made concerning the prospective ITS-90 is that it will entail greatly increased costs for measurements in the temperature range 660 °C to 962 °C. This range will require the use of the extremely expensive high temperature PRT instead of the current cheap Pt-Rh/Pt thermocouple. The objection, though seemingly a valid one, has no real substance, as the following explanation shows. The Pt-Rh/Pt thermocouple has an accuracy of, at best, 0,2 °C. The expensive, high-temperature PRT has an accuracy some twenty times better, and against it has been generated a Pt/Au thermocouple table. This table will allow that thermocouple, as a secondary thermometer, to be used with an accuracy that is probably ten times, and is certainly more than five times, better than that of a Pt-Rh/Pt thermocouple, the earlier primary thermometer, and at the same cost. The only loss, therefore, will be that of a *status*: the new measurement is better and of lower cost but cannot be claimed to be the best available.

For its full exploitation, the ITS-90 requires two supporting documents: these are « Supplementary Information for the ITS-90 » and « Techniques for Approximating the ITS-90 », both of which are expected to be updated periodically. The second of these documents is virtually complete, awaiting final comments from CCT members later this year, and is expected to be available in published form in the middle of 1990. The first has some sections still unwritten and its publication date is expected to be some six months behind that of its companion.

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

The International Temperature Scale of 1990

RECOMMENDATION T 1 (1989)

The Comité Consultatif de Thermométrie (CCT) acting in accordance with Resolution 7 of the 18th Conférence Générale des Poids et Mesures has generated the International Temperature Scale of 1990 (ITS-90) in order to supersede the International Practical Temperature Scale of 1968 (IPTS-68).

The CCT *notes* that, by comparison with the IPTS-68, the ITS-90

- extends to lower temperatures, down 0,65 K, and hence also supersedes the Échelle provisoire de température de 1976 (EPT-76),
- is in substantially better agreement with corresponding thermodynamic temperatures,
- has much improved continuity, precision and reproducibility throughout its range and
- has subranges and alternative definitions in certain ranges which greatly facilitate its use.

The CCT also *notes* that, to accompany the text of the ITS-90 there will be two further documents, the «Supplementary Information for the ITS-90» and «Techniques for Approximating the ITS-90». These documents will be published by the BIPM and periodically updated.

The CCT *recommends*

- that on 1 January 1990 the ITS-90 come into force and
- that from this same date the IPTS-68 and the EPT-76 be abrogated.

* Recommendation T 1 (1989) was adopted by the CIPM as Recommendation 5 (CI-1989). The CIPM took note of Recommendations T 2 (1989) and T 3 (1989).

Reference tables for thermocouples and industrial platinum resistance thermometers

RECOMMENDATION T 2 (1989)

The Comité Consultatif de Thermométrie,

considering that the introduction of the International Temperature Scale of 1990 (ITS-90) will lead to an urgent requirement for new reference tables for both thermocouples and industrial platinum resistance thermometers,

requests its Working Group 2 to collaborate with national laboratories in the rapid preparation of new reference tables taking into account not only the change from IPTS-68 to ITS-90 but also new information on the behaviour of thermocouples and industrial platinum resistance thermometers,

recommends

— that these new tables be used as the basis for new national and international reference tables for thermocouples and industrial platinum resistance thermometers and

— that meanwhile the existing reference tables based upon IPTS-68 should be used in conjunction with the table of differences $T_{90} - T_{68}$ which appears in the ITS-90.

The uncertainty inherent in the realization of the International Temperature Scale of 1990

RECOMMENDATION T 3 (1989)

The Comité Consultatif de Thermométrie,

considering the requirement for assigning an uncertainty to the numerical value of any temperature on the International Temperature Scale of 1990 (ITS-90),

encourages national laboratories to

- a) quantify the uncertainties in the fixed point realizations,
- b) quantify the uncertainties resulting from the use of the specified interpolating instruments of ITS-90,
- c) develop the mathematical procedures, describing the propagation of these uncertainties to any intermediate temperature.

Minutes of the 17th meeting of the CCT

1. Opening of the meeting. Designation of a rapporteur

The President calls the meeting to order, welcoming all members and delegates, in particular Mr Mangum (NIST) and Mr Rhee (KSRI), who are attending for the first time. He also extends a welcome to two visitors, Mr Steur (IMGC) and Mr W. Kemp (CSIRO). He brings to the attention of the members the recent death of Mr Brickwedde, President of the CCT during the time of the preparation of the IPTS-68. Mr Brickwedde had been associated with Pennsylvania State University for many years and prior to that was Chief of the Heat Division at the NBS.

Mr Durieux is appointed as rapporteur. English is chosen as the working language.

The President points out that there is no formal agenda for this 17th meeting. There will be essentially two items : the ITS-90, and other business.

2. The ITS-90 : Introduction

Mr Quinn begins the discussion of the ITS-90 with the remark : « It is for the Committee as a whole to take responsibility for the quality of the ITS-90. Certain among those of us around the table already know this because they contributed at the time to the preparation of the IPTS-68. Let us hope that we can today all do a good job. »

The President summarizes recent activities of the CCT, mostly within the domain of the four Working Groups (WGs), leading up to this meeting. Attempts to implement various early drafts of the text of the ITS-90 pointed up several residual difficulties. The President thanks all those members who contributed data and ideas towards resolving these difficulties, some of which are still outstanding. He reminds the CCT that what was essentially an *ad hoc* Working Group (made up of the members of WG 1 * and Messrs. Rusby, Jung, Crovini and Hudson)

* Messrs. Preston-Thomas (Chairman), Bloembergen and Quinn.

met three times in recent months in connection with the resolution of these difficulties and the preparation of successive drafts of the text. The purpose of the present meeting is to prepare what will be essentially the final text of the ITS-90, although minor changes may be possible up until the end of November 1989. All the essentials of the ITS-90, if the scale is to be approved, must, however, be agreed upon at this meeting. Mr Rusby says that it is important that no numerical changes in the ITS-90 be made subsequent to this meeting. It has already been announced that the ITS-90 will be implemented effective January 1, 1990 and various users wish to obtain the numerical details beforehand. Mr Jung concurs. The President agrees that every effort must be made to agree now on all of the numerical values.

3. Working Groups

The President calls for reports from the chairmen of the four Working Groups.

Working Group 1: Preparation of the text of the ITS-90 and revision of the document « Supplementary Information for the ITS-90 »

The President, as Chairman of WG 1, reminds the CCT that WG 1 had two responsibilities: preparation of the text of the ITS-90 and revision of « Supplementary Information for the IPTS-68 and the EPT-76 » to make it applicable to the ITS-90. The first of these is the major topic of this meeting. Several successive drafts have been prepared by WG 1 over the past two years on the basis of information supplied to them, as summarized earlier, the most recent as late as yesterday and presented to the CCT this morning. More work than expected was required with this task so that no time was available for revision of the « Supplementary Information ». The President hopes the revision will be available by mid-1990.

Working Group 2* : Completion of document « Techniques for Approximating the ITS-90 »

The Chairman, Mr Bedford, says that the task of WG 2 is to prepare a monograph « Techniques for Approximating the ITS-90 ». Version D of this document was presented to the CCT at its 16th meeting in 1987. Many comments on it were received from CCT

* Messrs. Bedford (Chairman), Bonnier, Maas and Pavese.

members and colleagues, as a result of which Version E was prepared. It underwent critical review at a WG 2 meeting in June 1988. This in turn led to Version F, which is presented to the CCT at this 17th meeting. In comparison to Version D, some sections have been curtailed, others augmented: the text has been made relevant to the ITS-90 rather than the IPTS-68, and some portions of the first edition of the «Supplementary Information» that are not relevant to the definition of the ITS-90 have been incorporated. Mr Bedford asks that CCT members send any comments or criticism on this document to him before mid-December 1989. A final Version G will subsequently be prepared for publication early in 1990. Mr Bedford also says that a copy of Version F was given to Mr Sostman in connection with a report by him to the Organisation Internationale de Métrologie Légale. Mr Sostman returned some highly complimentary remarks on the document. On the morning of September 11, WG 2 met to review Version F and to consider its future tasks.

Mr Rusby raises the question of what part the CCT should play in the production of new international thermocouple reference tables based upon the ITS-90. Such organizations as the International Electrotechnical Commission (IEC) would like advice from the CCT on how to revise existing tables. Mr Bedford replies that WG 2 has considered this question, that it is appropriate to WG 2 and that Mr Burns (NIST), who has the intention of preparing new tables for American users, has asked for cooperation from WG 2 in some sort of consultative capacity. To a question from the President as to whether WG 4 might be more appropriate to undertake this task, Mr Rusby replies that the work clearly falls under secondary approximations but that he, as a member of WG 4, would be happy to assist WG 2 in this task. Mr Quinn says he has received many enquiries as to how both thermocouple and industrial platinum resistance thermometer (PRT) tables will be related to the ITS-90. He strongly supports the suggestion that the CCT, through WG 2 (or, possibly, WG 4), coordinate the production of these new tables. Considerable discussion ensues. To a question from Mr Bonnier, it is agreed that publication of the WG 2 monograph will not await the production of reference tables. Mr Mangum says it is important that only one set of tables be prepared, that Mr Burns is already engaged in this task, and that he is desirous of CCT cooperation. Mr Crovini suggests that, for industrial PRTs, more than just a numerical adjustment to existing tables is required. Mr Jones points out that new thermocouple tables should be computer-compatible and be provided both in the form of emf versus temperature and the inverse. It is generally agreed that WG 2 should undertake this task and that Mr Burns should be encouraged to proceed.

Working Group 3* : Platinum resistance thermometer range of the ITS-90

The Chairman, Mr Crovini, summarizes the work of WG 3, which involved cooperation with other Working Groups and other colleagues. First, reference functions $W(T) = R(T)/R(0,01\text{ }^\circ\text{C})$ for the PRT based on real thermometers were produced. For below $0\text{ }^\circ\text{C}$ this was done at CSIRO and for above $0\text{ }^\circ\text{C}$ at PTB. Some problems in merging these two functions at $0\text{ }^\circ\text{C}$ occurred, but the end results are accurate representations within 1 mK up to $420\text{ }^\circ\text{C}$ and 2 mK above. The functions are given in two forms : W as a function of T , and T as a function of W . The Working Group considered extension of the PRT range to the freezing point of Au or Cu, but concluded that the limits of PRT performance above Ag were not well enough known to permit this, so recommends an upper limit at the Ag freezing point. Other problems considered, which will be discussed at length later in the meeting, were minimization of non-uniqueness and of inconsistency between sub-ranges. Ways of selecting PRTs that are suitable for use as defining instruments were considered with indifferent success. At present, limiting values of W at the Hg and Ga freezing points are specified ; another at the Ag freezing point should be included. This question should be considered further.

Working Group 4 : Values for $T_{90} - T_{68}$ and gas thermometer range of the ITS-90**

The Chairman, Mr Hudson, says that WG 4 had two tasks. The first concerned evaluation of all the available data derived from measurements of thermodynamic temperature so as to recommend values of temperature for the defining fixed points and a set of values of the differences between T_{68} and T (which would become T_{90}). These were furnished to WG 3, and then to the CCT towards the end of 1988. Mr Hudson refers to Document CCT/89-3 which explains in summary form how the findings of WG 4 were arrived at and tabulates the results. Subsequently, updated graphical versions of $T_{90} - T_{68}$ were provided (Document CCT/89-3a). The second task was to recommend a suitable text for that part of the ITS-90 defined by the gas thermometer. The result appeared in drafts of the ITS-90 text. Information prepared by Mr Swenson (Document CCT/89-27) on the use of the gas thermometer also appears as Appendix 2 of Document CCT/89-3. Mr Hudson notes that an additional contribution has come from IMGC (Document CCT/89-29).

* Messrs. Crovini (Chairman), Jung, Kemp, Ling, Sakurai and Schooley.

** Messrs. Hudson (Chairman), Durieux, Rusby, Soulen, Steur and Swenson.

4. Completion of the definition and text of the ITS-90

The President now proposes to come to the main purpose of the meeting — completing the definition and text of the ITS-90. He says that most of the recent activity has concentrated on the PRT range. As far as he knows the He vapour pressure and gas thermometer ranges are acceptable as they appear in Version E. He asks for any comments on these two lower temperature ranges. There are none.

Temperature range of the platinum resistance thermometer

The President asks Mr Crovini to act as spokesman for the *ad hoc* WG, to summarize for the CCT the main thrust of recent work on the PRT range. He asks for possible solutions to outstanding problems and notes that the latter are likely to involve small changes to some fixed-point temperatures, changes to deviation functions, and perhaps small modifications to the reference functions. Before the end of the meeting a definitive text to succeed Version E (Document CCT/89-1 (E)) must be produced.

Mr Crovini says that the need for meetings at 5-6 month intervals to discuss scale developments became evident after the 16th meeting of the CCT and this is why the *ad hoc* WG was set up. Once the reference functions were formulated (*see* WG 3 report) various possible deviation functions were tested. The aim was to have a more flexible scale than the IPTS-68 so as to allow calibration of a PRT entirely within a temperature range where it would be used. This led to the introduction of a number of overlapping sub-ranges. This flexibility came at the price of introducing differences or inconsistencies between sub-ranges in the overlap regions. Fortunately, neither the inconsistencies nor the maximum non-uniqueness between different PRTs were larger than the uncertainty in thermodynamic temperatures. This allowed for the possibility of slightly adjusting fixed-point temperatures to reduce the sub-range inconsistencies without degrading, and possibly even improving, the thermodynamic accuracy. Similarly, earlier tests using the Ward-Compton data pointed to the need for a fixed point between the triple points of argon and water to reduce non-uniqueness in that range. The Hg triple point was chosen as the best compromise, being more reproducible than the triple point of Xe, although less suitably situated. Minimization of sub-range inconsistency led to slight adjustments in the Hg triple-point temperature and in the low-temperature reference function. This in turn produced a small but noticeable discontinuity between the slopes of the low- and high-temperature reference functions at 0,01 °C.

Mr Crovini goes on to summarize how various fixed-point temperatures were adjusted and various deviation functions tested in an attempt to approach an overall, or combined, minimum of these deficiencies. The assistance of Mr Hill at NRC had been solicited for quick computer testing of the sub-range inconsistencies resulting from various new proposals. One result of all of this was to remove the Ga triple point from all of the sub-range definitions above 0 °C except for that in which it is itself the maximum temperature of the sub-range. The end result was to change the assigned triple-point temperatures, relative to those in Version E, of Ga by $-0,3$ mK, of In by $+0,5$ mK, of Sn by $-1,0$ mK, and of Al by $-2,0$ mK. Mr Crovini emphasizes that all of these changes are smaller than the corresponding thermodynamic uncertainties.

Mr Crovini goes on to illustrate many of these features with the aid of overhead transparencies of figures received from Mr Hill. With the above change in the Ga triple point, the slope discontinuity at $0,01$ °C between the deviation functions Ar-H₂O-Ga and H₂O-Ga-Sn-Zn is about 1 part in 10^5 , which is tolerable. Sub-range inconsistencies between various possible deviation functions are generally smaller than the tolerable level of $\pm 0,5$ mK and in many cases near the best measurement level of $\pm 0,2$ mK. He points out that many of these results are very sensitive to the value of temperature chosen for the Ga triple point, a further reason for removing it wherever possible.

This resumé is followed by considerable discussion, with debate on the relative merits of using linear deviation functions between, say, the triple points of Hg and water, water and Ga, and water and In, instead of the currently-proposed quadratics. A slight worsening of sub-range inconsistencies may be more than compensated by the advantage of requiring fewer fixed points. The President suggests that the CCT transmit to Mr Hill exactly which possible functions they wish to examine so that results will be available for consideration tomorrow.

Mr Hudson points out that the thermodynamic temperatures of the Al, Ag, Au, and Cu freezing points have all been measured by optical thermometry. The Version E value of the freezing point of Al is already 3 mK below the WG 4 recommended value, and now it has been moved another 2 mK lower. For consistency, it is logical also to lower the values assigned to the Ag, Au, and Cu points. A change of 5 mK at the Al point requires changes of roughly 10 mK at the other points. Mr Jung thinks such a change is inadvisable because it would also require changes in the high-temperature reference function, and there is not sufficient time to recompute this. He says the magnitude of the changes would be within the thermodynamic uncertainty which, at the Ag point at the 1σ level, is 20 to 25 mK. Mr Jones agrees with Mr Jung. To a question from the President whether a change in the

reference function will also require a change in the deviation functions. Mr Bedford replies almost certainly not.

Considerable discussion follows, and among the various points raised is the possibility of reducing the adjustment in the temperature of the Al freezing point and making changes in several of the other points to compensate. The President asks that this whole question be referred to WGs 3 and 4, for them to report back after lunch.

Reference tables for thermocouples and industrial platinum resistance thermometers

Mr Quinn returns to the earlier question of CCT involvement in the production of new international thermocouple tables and industrial PRT tables, work which WG 2 has been asked to oversee. He says that this should be formalized by being made the subject of a recommendation to the CIPM and he reads a proposed draft. Mr Bonnier asks if, in such a recommendation, cognizance need be explicitly taken of the upcoming change in the volt. It is generally agreed it need not be. The question is also raised whether specific types of thermocouples should be mentioned in the recommendation, in particular Pt/Au. After a long discussion, the generally agreed answer is «no — the wording should be sufficiently general as to be all-inclusive».

Mr Rusby, noting that the draft recommendation mentions «new results for PRTs», says that new measurements on PtRh/Pt thermocouples should be undertaken so as to improve the quality of the tables, and of their conversion to the ITS-90, especially above 630 °C. Mr Quinn thinks this would give no significant improvement because the accuracy of the thermocouples themselves is the chief limitation. Furthermore, this would undoubtedly cause a long delay, perhaps as long as five years, in the production of the tables. Mr Rusby agrees that five years would be unacceptably long, but two years might be reasonable. At the very least, any new data on PtRh/Pt thermocouples that are available should be taken into account in formulating the new tables. To a question by Mr Bedford, Mr Mangum replies that Mr Burns is not contemplating new measurements on PtRh/Pt.

There follows considerable discussion of whether Pt/Au thermocouples should be mentioned explicitly in the recommendation (Mr Bonnier pointing out that this would, in effect, simply refer to another recommendation from the 16th meeting of the CCT) and whether base-metal thermocouples should be excluded. Mr Chattle says that the IEC, for example, is really looking for guidance from the CCT and, indeed, the base-metal types are probably more relevant than Pt/Au. It is finally agreed that a new draft of the recommendation will be prepared for consideration later.

Gas thermometer between 4 K and 24 K

The President now asks for comments on Section 3.2.1 of Version E regarding use of the gas thermometer from 4 K to 24 K. It has been suggested that, since Section 3.2.2 allows use from 3 K up, Section 3.2.1 is redundant and Eq. (4) could be deleted in favour of Eq. (6b), which contains a virial-coefficient correction. Section 3.2.1 was put in originally because the simple quadratic is sufficiently accurate for ^4He above 4 K without any correction. Mr Astrov and Mr Blanke say that Section 3.2.1 is unnecessary; Mr Rusby prefers to retain Section 3.2.1. Finally, Mr Hudson's suggestion that WG 4 consider the question and report back later is accepted.

Temperature range from 24 K

Mr Pavese says that Version E contains no sub-range beginning at 24 K. It was left out because the associated non-uniqueness was unacceptably large. Prior to this meeting, and at it, various changes have been made to reference functions, fixed point temperatures, and so on. Have these improved the situation with regard to the 24 K sub-range? Mr Kemp replies that none of these will have affected the non-uniqueness in this sub-range. Mr Pavese continues that an earlier proposed limit for maximum non-uniqueness seems to have been relaxed (it is now about $\pm 0,5$ mK) and it is not now so clear that this sub-range is deficient. Furthermore, it is a convenient one because it is the widest one that can be realized solely with sealed triple-point cells.

The President says the range was deleted earlier both because of high non-uniqueness and because there was no demand for it. Also, in comparison with the 84 K sub-range which appears to have almost as high a non-uniqueness (but this may be due to uncertainties in the Ward-Compton data), 0,5 mK is a relatively large inconsistency. Since the 84 K sub-range is mandatory for the calibration of long-stem PRTs, we have no option but to accept its non-uniqueness. Mr Rusby points out that the improvement in the 84 K arose from introduction of the Hg triple point and removal of the Ga triple point, which had the additional advantage of allowing use of a more self-consistent sub-set of the Ward-Compton data. He admits the logic of Mr Pavese's proposal but, since the 24 K sub-range was removed at an early stage, wonders why no reaction was then forthcoming. Nor has this sub-range been examined at NRC for sub-range inconsistency since it does not appear in Version E. Mr Bonnier strongly supports Mr Pavese's suggestion, saying there is a demand in the French aerospace industry for the 24 K sub-range.

A lengthy discussion amongst many members follows, during which Mr Pavese points out that Version E requires an overlap between the

gas thermometer and PRT ranges, a requirement which the 24 K sub-range would avoid. It is decided to ask Mr Hill (NRC): 1) to examine the sub-range inconsistencies when a 24 K sub-range is included, using definitions for the 24 K sub-range both with and without the H₂ triple point; 2) to use the Ward-Compton data to examine non-uniqueness of a 24 K sub-range; and 3) to examine sub-range inconsistencies above 0 °C when the Al freezing point temperature is set to 660,324 °C (the Version E value) and the other fixed-point temperatures are adjusted to compensate this change.

Details concerning the ITS-90 above 0 °C

The President then asks Mr Crovini for a report of the discussion between WGs 3 and 4 as to whether the Ag, Au, and Cu point temperatures should be reduced as a result of the Al temperature reduction. Mr Crovini briefly reviews the background to this and the points that the WGs took into consideration. The conclusion is that a decision should wait until the results of the calculations mentioned above are received from NRC; if a viable set of fixed-point temperatures is found, it will be unnecessary to adjust the Ag, Au, and Cu point temperatures.

The President says that the CCT must decide now on the details of the ITS-90 above 0 °C, that is, they must decide which fixed points will be used, what the form of the deviation functions will be, and what temperature values will be assigned. He asks Mr Crovini to outline the various possibilities so that the CCT can take a decision. Using the text of Version E as a guide, Mr Crovini summarizes what appears to be the present best position on these points: the deviation function for the range 0 °C to the Ag point should retain the form and fixed points of Eq. (14) of Version E; the equations in the sub-ranges ending at Al, Zn, Sn should be cubic, quadratic, and quadratic, respectively, with the In point replacing the Ga point in the Sn sub-range; that ending at In might better be linear instead of quadratic as in Version E. It also seems that the Version E quadratic from Hg to Ga can be replaced by two abutting linear functions. Mr Blanke points out that if a linear function suffices for the range 0 °C to In, it should certainly suffice for that from 0 °C to Ga. His suggestion is accepted. Mr Bonnier says that this also has the practical advantage for users who require accurate measurements around room temperature that it requires only one, easily-realizable, fixed point (Ga).

There follow several comments on the usefulness of such a sub-range from 0 °C to the melting point of Ga. There appears to be less need for a complementary one from the Hg triple point to 0,01 °C. Mr Crovini also outlines, with the aid of transparencies, some of the problems that were encountered in WG 3 attempts to minimize first- and second-derivative discontinuities in the ITS-90 definitions at 0,01 °C.

The President now asks Mr Crovini to summarize the actual fixed-point temperatures to be used, so far as they have been determined. In the first place, says Mr Crovini, the temperature of the triple point of water will remain at 0,01 °C (273,16 K). Mr Quinn reminds the CCT that by changing it, the boiling point of water could remain at 100 °C exactly. Is this particularly desirable? After some discussion, the idea is rejected. Mr Crovini goes on to tabulate, amidst many interjections by members, the various fixed-point temperatures that have recently been under consideration. Many of them may be slightly changed when the new data from NRC are examined.

Gas thermometer between 4 K and 24 K (*continued*)

The President asks Mr Hudson for WG 4's recommendation regarding the elimination or not of Section 3.2.1 of Version E. Mr Hudson reports that WG 4 had a lengthy discussion but can give no specific recommendation. All five members of WG 4 recognized the logic of removing Section 3.2.1 but, on the other hand, three preferred to leave it in for the sake of simplicity. Mr Astrov raises the possibility of a discrepancy between the two equations that may be as large as 0,5 mK when they are applied to the same set of experimental data. Everyone agrees that if such a discrepancy exists, Section 3.2.1 must be eliminated. There follows a lively and prolonged discussion involving many members. Two sets of calculations have shown any discrepancy to be smaller than 0,1 mK. Mr Astrov prefers, in any case, to eliminate Section 3.2.1 because it is unnecessary: arithmetic simplicity is no special advantage because computers are always used. Mr Quinn asks if it is possible that the discrepancy observed by Mr Astrov is an experimental one. Mr Durieux wonders if it can arise from thermodynamically-inconsistent values of the temperatures assigned to the three fixed points. Mr Rhee asks about the agreement of the equations with thermodynamic temperatures. The President concludes that further consideration of this question is required before a decision can be taken.

Varied considerations concerning the ITS-90

The President then returns to an earlier question from Mr Pokhodoun: how does one transfer international temperatures between the Au and Ag points from, for example, one laboratory to another; will there be a recommended thermometer for this transfer? Mr Crovini replies that, for example, a Pt-10% Rh/Pt thermocouple can be used in the same way as is done at temperatures above the Au point. In time, when PRTs are developed to be sufficiently stable to the Au point, they can be used. Experiments in several laboratories have shown, until now, that these thermocouples are too susceptible to contamination from metal vapours.

Mr Pokhodoun also says that since the melting and freezing ranges of the fixed point materials can be rather large, the fixed points should be defined to be liquidus (or even solidus) points rather than freezing or melting points. Mr Bonnier agrees; the melting range of In, for example, may be about 1 mK, so inconsistencies of tenths of a millikelvin can occur through improper definition. Mr Pokhodoun says that the temperature of the fixed point depends upon the melted fraction as well as on the history of the method. Mr Pavese notes that Table I, note *b* (of Version E) refers to the « Supplementary Information » for these sorts of details and he believes that that is the correct place for them. The fixed-point definition refers to *pure* substances, whereas the melting range problems arise from the presence of impurities. Mr Bonnier remarks that the footnotes to Table I do not appear to take account of the subtle differences between the methods of realizing fixed points above 0 °C as opposed to those used in the cryogenic range. For some types of realization, time and pressure both influence the result. He thinks all of the fixed points should be referred to as triple points, to which freezing and melting are only approximations.

Discussion follows between Mr Bonnier, Mr Crovini, and the President on whether the footnotes to Table I are accurately phrased and on the distinctions between melting, freezing, and triple points — both under ideal and practical circumstances. It is concluded that these sorts of distinctions should properly go into the « Supplementary Information » and that the footnotes are accurate as phrased because the text everywhere refers to *pure* substances.

Mr Mangum asks for clarification of the term « natural isotopic composition » as applied to water. He says that no one uses the ocean waters to which the footnote really refers, and that the composition of rain water would be more appropriate. There follows much discussion on this point. It is concluded that it would be virtually impossible to detail all of the possible variations in isotopic abundance in water; in any case the uncertainties in temperature resulting from these variations are probably smaller than 0,2 mK, which lies within the uncertainties of measurement and of water-triple-point-cell reproducibility. Reference should be made to the « Supplementary Information ». Mr Rhee asks why the melting point, rather than the freezing or triple point, was chosen for Ga. The reply is simply that it is much the easiest point to realize in practical applications. Mr Bonnier also suggests some editorial corrections to the footnotes to Table I, which are accepted.

Quality specifications for platinum resistance thermometers

Mr Jones says that Version E contains specifications on the Ga- and Hg-point resistance ratios that determine whether a PRT is acceptable. There should be a similar specification for $W(\text{Ag})$. The

President agrees, but says that WG 1 was not provided with the necessary information to write such a specification. He would like to see even more comprehensive criteria for rejecting or accepting thermometers but no one has yet been able to formulate them. Extraneous effects such as electrical leakage complicate the situation. Mr Jones replies that, as a start, the ITS-90 should specify $W(\text{Ag}) > 4,28440$. Mr Rusby points out that there is a specification on $W(\text{Ga})$ but the Ga point has now been removed from many sub-ranges, which may prove awkward. Mr Crovini suggests that a possible selection rule may be obtainable by using a linear relationship between ΔW (i.e. $W - W_r$) and temperature for the criteria at various fixed points, but this has not yet been tested. The President suggests that whatever is available on these criteria by next summer (1990) be included in the document « Supplementary Information ». Mr Mangum queries whether a thermometer should have to satisfy only one of the restrictions on $W(\text{Hg})$ and $W(\text{Ga})$ or should have to satisfy both. This generates considerable discussion from which the conclusion is drawn that the two restrictions are as nearly equivalent as may be verified by available evidence.

Temperature range of the platinum resistance thermometer (*continued*)

On the second day of the meeting, the President reopens the Session and asks Mr Crovini to explain the new calculations for the Hg-H₂O-Ga range that were obtained from Mr Hill the previous evening. The calculations used calibrations obtained from the NIST for six Chino PRTs at the Hg, H₂O, and Ga triple points and the In, Sn, Zn, and Al freezing points.

First, a Hg-H₂O-Ga quadratic compared with a linear H₂O-Ga interpolation, with the Hg triple point at $-38,8337^\circ\text{C}$ and the Ga triple point at $29,7666^\circ\text{C}$, shows a difference in slope at 0°C . This discrepancy remains if the temperature of the Hg triple point is taken to be $-38,8344^\circ\text{C}$ but disappears when the value chosen is $-38,8357^\circ\text{C}$. So, as far as this comparison of PRTs is concerned, a Hg triple point would be required that is 2 mK lower than that in Version E of the scale. All calculations were made with the new low-temperature reference function for $W_r(T)$ calculated at CSIRO. The meeting accepts this new reference function for the scale.

Second, the H₂O-Ga linear interpolation, with the Ga triple point at $29,7666^\circ\text{C}$, compared with the H₂O-Sn-Zn-Al cubic interpolation with the Sn freezing point at $231,928^\circ\text{C}$, Zn freezing point at $419,527^\circ\text{C}$, and Al freezing point at $660,323^\circ\text{C}$, does not show a significant discrepancy.

Gas thermometer between 4 K and 24 K (*continued*)

Coming back to the question of whether the simple quadratic interpolation method for a ^4He gas thermometer between 4,2 K and 24 K should remain in the scale (Section 3.2.1 of the text), the President asks for opinions around the table. A large majority of the members chooses that it be left in, albeit only for the sake of a convenient introduction to the more general description of the gas thermometer in Section 3.2.2.

At the request of Mr Sakurai it is agreed, later at the meeting, that the equations for the He vapour pressures should be written in a more correct mathematical form, consistent with the equations for the reference functions $W_r(T)$.

Temperature range of the platinum resistance thermometer (*continued*)

Mr Bloembergen raises the question, which was submitted to WG 3 and WG 4 on the previous day, whether the temperatures of the Ag, Au, and Cu points should be changed in accordance with the proposed decrease, now 1 mK (i.e. 4 mK with respect to Version E), of the Al point. Mr Jung, referring to the discussion on this matter by the WGs on the previous day, remarks that three possibilities arise: 1) to make no changes to the Ag, Au and Cu points; 2) to change the assigned temperature values at these points; 3) to change the assigned temperature values and the coefficients of the reference function. Mr Jung prefers the first of these options, i.e. to leave the Ag, Au, and Cu points unchanged, on the grounds that this is the simplest solution and will retain the consistency of the W vs T relation on the ITS-90. The small deviation from the radiation thermometry measurements (6,1 mK at Ag) is much smaller than the experimental uncertainty (20 mK at Ag). The third option is not acceptable because its general effect is the conservation of the sub-range inconsistencies. Mr Bloembergen and Mr Hudson prefer changing the Ag, Au and Cu points. An extensive discussion follows, as a result of which it is decided not to change the temperatures of the Ag, Au, and Cu points.

Mr Ling remarks that, from his calculations, the non-uniquenesses of the PRTs used by Mr Jung are asymmetric, i.e. $W(T_{90})$ for the PRTs is lying preferentially on one side of $W_r(T_{90})$. Mr Jung explains that this is probably due a slight linear adjustment to $W_r(T_{90})$ which was applied in order to be consistent at 0°C with the slope of the revised low temperature reference function provided by Mr Kemp. Mr Ling asks what are the differences between the extrapolated revised low-temperature reference function and the extrapolated high-temperature reference function near 0°C . Mr Crovini and Mr Kemp reply that they are from 0,5 mK at -30°C to 2 mK at $+30^\circ\text{C}$; the slopes at 0°C , however, are closely the same.

Reference tables for thermocouples and industrial platinum resistance thermometers (*continued*)

The next point of discussion is the Recommendation to the CIPM on new « Reference Tables for Thermocouples and Industrial Platinum Resistance Thermometers », which was proposed, and for which a draft text was distributed, the previous day. In this latest draft it is emphasized that the introduction of the ITS-90 will lead to an urgent requirement for new international reference tables for both thermocouples and industrial PRTs. WG 2 is therefore requested to collaborate with national laboratories in the rapid preparation of such tables.

Mr Bloembergen proposes that the newly developed Pt/Pd thermocouple be specifically referred to in the Recommendation in the same way as is Pt/Au. Mr Maas adds that this thermocouple is almost as reproducible as the Pt/Au thermocouple and, furthermore, can be used to 1 200 °C. However, Mr Rusby is afraid that this could delay the preparation of the tables because information on Pt/Pd thermocouples is not yet available. He also reminds the meeting that a recommendation for the development of Pt/Au and Pt/Pd thermocouples was given by the CCT in 1987. On the other hand, Mr Bloembergen and Mr Bonnier feel that explicit mentioning of Pt/Pd would stimulate the development of this highly useful thermocouple and perhaps also increase the availability of pure Pd which is necessary for its production and at present difficult to obtain.

The President reminds the meeting of the importance of the already available Pt/Au thermocouple for a very reliable secondary realization of the scale. However, in order to avoid mixing of purposes, i.e. the rapid publication of the new reference tables on the one hand, and the development of promising new thermocouples on the other hand, it is decided not to refer to specific thermocouples at all in the text of the Recommendation. Mr Crovini points out that there exists in Europe a program for the evaluation by three national standards laboratories of industrial PRTs that involves seven types of PRTs produced by different European manufacturers. Mr Quinn will prepare a new draft Recommendation for approval by the meeting.

Differences $T_{90} - T_{76}$ and $T_{90} - T_{68}$

Mr Rusby asks whether the tables for the differences $T_{90} - T_{76}$ and $T_{90} - T_{68}$ which WG 4 has provided (Document CCT/89-3, p. A1-3 and A1-4) are acceptable for inclusion in the text of the scale. Mr Rusby explains that the differences in the table were obtained :

— in the range 0,65 K to 27 K by using

$$(T_{90} - T_{76})/K = - 5,6 \times 10^{-6} (T/K)^2$$

— in the range 14 K to 1 064 °C by graphical interpolation from published data (for the range - 200 °C to 630 °C the obtained curve was fitted by a polynomial function $t_{90} - t_{68} = f(t)$)

— in the range above 1 064 °C by using

$$(t_{90} - t_{68})/^{\circ}\text{C} = - 0,25 [(t/^{\circ}\text{C} + 273,15)/1\,337,33]^2.$$

There is agreement on the principles used, but there is some discussion regarding alternative methods. It is finally agreed that the differences in the PRT range common to the ITS-90 and the IPTS-68, i.e. 14 K - 630 °C, will be obtained from PRTs that have been calibrated on both scales. It is also agreed that Mr Rusby will prepare the final tables. The discussion of Table VI deals further with the preferred number of digits required for smoothness of the table, compared to the accuracy with which the temperature differences can be given, taking into account that the scales are not unique.

Answering a request of the President and the Chairman of WG 4, Mr Rusby says that he will provide the final table within a week. Mr Rusby will also correct for the small adjustments in the fixed-point values that are being made at the meeting.

Freezing points of silver, gold and copper

Mr Pokhodoun asks what the thermodynamic consistency is between the given values for the freezing points of Ag, Au and Cu, each of which may be chosen as the reference temperature for the radiation thermometer, and what is the consistency of the slopes of the PRT scale and the radiation scale at the point where they join. Mr Rusby, referring to Document CCT/87-4, explains how the values for the Ag, Au and Cu points were obtained: there were experimental data of IMGC, CSIRO, and PTB (Berlin) and the latest and most accurate of these were chosen for deriving the values given.

When Mr Pokhodoun and Mr Astrov repeat that a unique scale would have been obtained if only one reference point for the radiation thermometer had been permitted, the President, Mr Jones and Mr Crovini answer that, in practice, this would have been the Ag point. Permitting a choice between Ag, Au and Cu is for convenience. According to best estimates, no systematic differences will occur through the use of any of the three.

After receiving several suggestions from the members for editorial corrections to the presently-circulating draft text of the scale, the President adjourns the meeting until the next morning.

Temperature range of the platinum resistance thermometer (*continued*)

The President reopens the meeting, asking for consideration of the calculations received overnight from NRC concerning sub-range inconsistencies. The results are based upon NIST data for a number of PRTs, including the six Chino thermometers, provided by Mr Mangum. The President asks Mr Crovini and Mr Kemp to explain the results.

Mr Crovini, using projected transparencies, first shows the comparison of a Hg-H₂O-Ga quadratic with a H₂O-Sn-Zn quadratic interpolation with the Hg triple point at $-38,8344\text{ }^{\circ}\text{C}$, the Ga triple point at $29,7666\text{ }^{\circ}\text{C}$, the Sn freezing point at $231,928\text{ }^{\circ}\text{C}$, and the Zn freezing point at $419,527\text{ }^{\circ}\text{C}$. The difference in slope at $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ is about $1,3\text{ mK}$ in 60 K , or 2 parts in 10^5 . It is known from earlier calculations that there is consistency between the H₂O-Sn-Zn quadratic and the H₂O-Sn-Zn-Al cubic interpolation. In another graph he shows that the H₂O-Ga linear interpolation is consistent with the H₂O-Sn-Zn quadratic. Mr Crovini ends by saying that the consistency is, in all cases, within the limit which WG 3 has set.

Mr Kemp provides an overall picture of the results of calculations made at CSIRO on the Ward-Compton comparison data using measured Hg triple points and also Hg triple points calculated from the Ward-Compton data (*see* document CCT/89-30). These are generally consistent with the newly-sent results of Mr Hill. He concludes that non-uniquenesses in the range 14 K to 273 K and in the sub-ranges 54 K to 273 K and 84 K to 273 K are within $\pm 0,5\text{ mK}$ and that sub-range inconsistencies are within $0,5\text{ mK}$. However, the non-uniqueness increases somewhat, with a similar increase in sub-range inconsistency, if the sub-range $24\text{ K} - 273\text{ K}$ is admitted.

5. Adoption of the ITS-90

The President distributes a new draft of the text of the scale that incorporates all suggestions made so far and asks if Mr Crovini, as Chairman of WG 3, recommends any numerical changes in the fixed-point values. Mr Crovini replies that the information which was available the previous day and on which the fixed-point values in the new text are based, has been confirmed by new information from the NRC. On these grounds, WG 3 does not recommend further changes.

Mr Quinn remarks, with regard to a possible introduction of a sub-range $24\text{ K} - 273\text{ K}$, that Mr Bonnier has asked the committee to note that emphasis has been placed on non-uniqueness and sub-range inconsistency rather than on error propagation from uncertainties in fixed-point realizations. Mr Quinn points out that non-uniqueness and sub-range inconsistencies are built-in errors in the scale, whereas uncertainties in the fixed-point calibrations and, consequently the effect

of error propagation may be expected to diminish in the course of time. Mr Crovini remarks that, with respect to this error propagation, the scale is considerably improved when the Ga point is replaced by the In point in several ranges and sub-ranges.

A number of editorial changes to this new draft text are accepted. A considerable time is spent on adequately explaining in the text of the scale (Section 4, last paragraph) the precision and accuracy of the temperature differences $T_{90} - T_{68}$ in Table VI of the scale.

Mr Astrov and Mr Bonnier caution against too casual use of Table VI: for the recalibration of a PRT from the IPTS-68 to the ITS-90 it is preferred that a complete recalculation be made using the fixed-point calibrations referred to the ITS-90 values. Even then, a full ITS-90 calibration can, in general, not be obtained without new measurements because certain fixed points will be missing.

Mr Quinn makes a preliminary comment on how to deal further with the text of the Scale. On the assumption that the CCT can shortly come to an agreement about the text, the President will put in as many details as possible so that members can leave the meeting with a text in which all 31 numbers are correct but does not include, for example, Table VI. The text, now correct and as nearly as possible complete, can then go to the CIPM together with an equivalent version in French. After adoption of the Scale by the CIPM, a substantially correct text will be sent to members of the CCT. The President adds that that will be the first text which will no longer have a warning «For CCT-members only» printed on top.

A final discussion on the contents of Recommendation T 1 (1989) which asks for the adoption of the ITS-90, takes place. It is decided that the recommendation should contain only the essential fact that a new temperature scale, the ITS-90, is being proposed as a replacement, as of 1 January 1990, for the IPTS-68 and the EPT-76, and that it will be accompanied by two documents, to be published by the BIPM — «Supplementary Information for the ITS-90» and «Techniques for Approximating the ITS-90». It is agreed that a paragraph in the draft recommendation mentioning the introduction of the high-temperature PRT in the 630 °C to 961 °C range and the possibility of using a Pt/Au thermocouple for a less precise secondary realization be omitted.

Mr Pavese again raises the matter of including a sub-range 24 K – 273 K which he proposed earlier. The President is under the impression that the meeting has not included it. Mr Pavese adds that it is possible that the impression is right, but the matter has not been finally discussed. The President reopens the discussion by asking Mr Crovini, as Chairman, for the opinion of WG 3. Mr Crovini states that since the terms of reference of WG 3 were to provide consistency between sub-ranges within 0,5 mK, and since from what has been shown

this morning the sub-range 24 K – 273 K falls outside this limit, its inclusion cannot be recommended by WG 3. The President asks for further comments. There follows a lengthy discussion amongst the members in which the advantages and disadvantages of inclusion of this sub-range are again considered in detail. It is pointed out that the WG 3 criterion regarding consistency would have to be only slightly widened to allow inclusion of this sub-range. Finally the question is put to a vote *, with the majority of representatives (10 out of 12 with 2 abstentions) voting in favour of including the 24 K – 273 K sub-range in the ITS-90.

Returning to Table VI, Mr Pavese emphasizes the common desire of having an adequate mathematical representation for scale differences. He proposes that equations that will closely generate the difference $T_{90} - T_{68}$ be given in the « Supplementary Information ».

Finally, a vote on the acceptance of the ITS-90 is taken. All members vote in favour of its adoption. The President congratulates the meeting on the result obtained, expressing the hope, and belief, that the scale will prove to be a clear success. He also thanks the members for their arduous work.

A new typescript of the text is distributed which contains all the amendments approved by the CCT except the 24 K – 273 K sub-range, W_r values at the fixed points, and Table VI. As mentioned earlier, the final version, including some further editorial amendments, will be sent to members shortly after the assumed adoption of the scale by the CIPM.

There follows a discussion on a proposal by Mr Pokhodoun, supported by Mr Bonnier, that a recommendation be made suggesting that more work be done on the precise specification of uncertainties in the realizations of the fixed points and consequent uncertainties in the realization of the scale. Results of such work should be described in the « Supplementary Information ». Mr Pavese asks if this is meant to be in addition to work that has already been done on the reproducibility of realizations of fixed points, pointing out that, for the low-temperature fixed points in particular, much relevant information was included in the publications on sealed-triple-point-cell comparisons. Mr Bonnier replies that it is also desirable that the uncertainties be expressed according to some generally accepted procedure. The President agrees on the importance of continuous experimental work on the realization of the fixed points, and emphasizes that such work should appear in the open literature, whereafter it can be assessed by WGs and then, if considered relevant, be included in the « Supplementary Information ». Mr Quinn proposes that Mr Pokhodoun, Mr Bonnier and Mr Bloembergen present a draft recommendation T 3 to the meeting later.

* The result of the vote is as follows : *in favour* : ASMW, CSIRO, IMGC, INM, KSRI, NIM, NPL, NRLM, PTB, VSL ; *against* : NIST, NRC ; *abstained* : VNIIFTRI, Mr Swenson.

6. Adoption of the Recommendations

While waiting for this draft, the CCT approves an amended paragraph on the accuracy of the numbers in Table VI ($T_{90} - T_{68}$) in Section 4 of the Scale and accepts final forms of Recommendation T 1 (1989), «The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90)» and Recommendation T 2 (1989) on «Reference tables for thermocouples and industrial platinum resistance thermometers». When the latter recommendation is discussed, several members emphasize again the importance of the newly-developed Pt/Au and Pt/Pd thermocouples, and the meeting expresses continuing support for Recommendation T 2 (1987), in which national laboratories are encouraged to pursue their investigations of these novel thermocouple combinations.

When the draft Recommendation T 3 (1989), written by Mr Bloembergen, is presented to the meeting, there follows an extensive discussion, and some differences of opinion about the resolution appear. All participants in the discussion agree that obtaining more information on the uncertainty inherent in the ITS-90 realization is highly important. The President, however, points out that what is especially needed is much more information on the interpolation instruments (PRTs), because the non-uniqueness and sub-range inconsistency may overwhelm the uncertainties due to fixed-point realizations.

Mr Bonnier is of the opinion that uncertainties in the fixed-point realizations should be uniformly described and that mathematical procedures describing the propagation of these uncertainties to intermediate temperatures are far from trivial. He, Mr Bloembergen, and Mr Pavese emphasize the need for a specific and precise way of evaluating the uncertainties.

The President, Mr Bedford and Mr Quinn are of the opinion that further studies of the uncertainties in all aspects of the Scale are part of the normal tasks of the national laboratories, and they do not want a specific recommendation. Mr Rusby and, especially, Mr Rhee feel that the proposed resolution could even give the impression to the CIPM that the CCT recommends a scale without knowing its uncertainties. When the President finally asks for a vote * on a revised and more general form of the recommendation, the majority of the meeting votes in favour of it.

* The result of the vote is as follows : *in favour* : ASMW, IMG, INM, NIM, NRLM, PTB, VNIIFTRI, VSL ; *against* : CSIRO, KSRI, NPL, NRC ; *abstained* : C. A. Swenson ; the representative of the NIST has already left the meeting.

7. Membership and terms of reference for Working Groups

The President now turns to the future of the Working Groups, their terms of reference and memberships. For WG 1 the important item remaining is the revision of the « Supplementary Information ». Wherever there is reference to the « Supplementary Information » in the ITS-90 text, the corresponding information must be inserted. In addition there are other parts to be written or rewritten. He looks for assistance from other members in this task. Mr Mangum requests on behalf of Mr Crovini (who has left the meeting) that WG 3 remain intact and collaborate in this task. The President thinks that this is eminently desirable. He hopes that the monograph will be ready for publication before the end of 1990.

Regarding WG 2, Mr Bedford says that the immediate task is to complete the monograph « Techniques for Approximating the International Temperature Scale of 1990 »; he expects this to be ready for publication by the middle of 1990. This initiates a long discussion involving many members, the outcome of which is a guideline for WG 2 to ensure that the material in the monograph consistently makes reference to the ITS-90 and not to the IPTS-68 (which was the standard when earlier drafts were written) except where this is not possible (as, for example, with international reference tables for thermocouples and industrial PRTs). Mr Bedford suggests that WG 2 should also undertake the revision, updating, and conversion to the ITS-90 of an earlier publication on recommended temperatures for secondary reference points.

The task of WG 3, which was « resolution of the definition of the PRT range of the ITS-90 », is now complete. After more discussion, it is agreed that WG 3 should continue, at least in the short term, with the task of assisting WG 1 in the revision of the « Supplementary Information ».

The future work of WG 4 is discussed. Since there will be a continuing, if low-key, need to monitor and document information on thermodynamic temperature measurement, this should be one of its tasks. Mr Hudson says that an immediate task to produce a table of $T_{90} - T_{68}$ for the ITS-90 text (Table VI) should be completed in about a week. Assuming the CCT will give its approval, WG 4 also has decided to publish an account of how it arrived at the assessment of $T - T_{68}$, now embodied in the ITS-90. The CCT sees this as an important publication and approves it. To a question of Mr Pavese regarding documentary information for the gas thermometer, the President replies that they now have a considerable amount available but will certainly call for more if it becomes necessary.

The President takes up the question of the membership of the Working Groups, first reminding the CCT of the current membership.

Many of the WG tasks are now sensibly diminished, but some obvious immediate tasks are outstanding and undoubtedly others will come up in the longer term. He suggests it is the membership for the near future that should be of immediate concern. There is considerable discussion of the Working Group memberships in the light of the immediately upcoming tasks. The President says that he should remain on WG 1 until the revision of the «Supplementary Information» has been completed, at which time he would leave it. Mr Hudson says that it will be impracticable for him to remain as Chairman of WG 4 although he is willing to remain as a member, at least for a short time. Mr Durieux says that he also is willing to remain on WG 4 for at least a short time. Mr Rusby agrees to accept the chairmanship of WG 4. Except for this change of chairmanship, all of the Working Group memberships remain as they were.

Thus the terms of reference and memberships of the Working Groups become :

Working Group 1. — Revision of the monograph «Supplementary Information for the ITS-90».

H. Preston-Thomas (Chairman)
P. Bloembergen
T. J. Quinn

Working Group 2. — Completion of monograph «Techniques for Approximating the ITS-90»; revision and conversion to the ITS-90 of recommended temperatures for secondary reference points; collaboration with national laboratories in the rapid preparation of new reference tables for commonly-used thermocouples and industrial platinum resistance thermometers.

R. E Bedford (Chairman)
G. Bonnier
H. Maas
F. Pavese

Working Group 3. — Assistance to WG 1 in the revision of «Supplementary Information for the ITS-90».

L. Crovini (Chairman)
H.-J. Jung
R. C. Kemp
B. W. Mangum
Ling Shankang
H. Sakurai

Working Group 4. — Documentation of information on measurements of thermodynamic temperatures.

R. L. Rusby (Chairman)
M. Durieux
R. P. Hudson
J. F. Schooley
P. P. M. Steur
C. A. Swenson

Mr Rusby refers to the paper that WG 4 is preparing for publication on the rationale for the values of $(T_{90} - T_{68})$ that are now incorporated in the ITS-90 and asks if WG 1 plans to prepare a similar document outlining the rationale for the choice of interpolation methods and so on. After some discussion the President agrees that WG 1 will attempt this. It is also agreed that the preparation of these papers should not form a part of the terms of reference of the respective Working Groups.

8. Publication of documents (in particular of the ITS-90)

Mr Quinn informs the meeting regarding the publication of documents. From now on the BIPM will bind the working documents of Consultative Committees in covers which are then referred to as Supplements to the Reports. In this way working documents submitted to the Consultative Committees can be referred to in the literature. Each delegate will receive a copy of these volumes.

As regards the important question of the publication of the ITS-90, on the assumption that the CIPM adopts the scale, the text will be published in both French and English by the BIPM as an Abstract of the Procès-Verbaux (that is, the report) of the CIPM meeting. This is unlikely to appear in print until the middle of 1990. The English version will appear in *Metrologia*, as did the IPTS-68, probably in the first issue of 1990. That, of course, will be freely available for laboratories to reproduce. National laboratories are encouraged to translate it into their own languages if they feel this to be necessary.

The « Supplementary Information for the ITS-90 » will be published by the BIPM as will « Techniques for Approximating the ITS-90 ». In the case of the « Supplementary Information for the IPTS-68 and the EPT-76 » many copies were printed, and most are still at the BIPM. It will be appreciated if the national laboratories will let the BIPM know how many copies of these monographs they will need. This will help in determining the length of the print run. In answer to a question of the President, Mr Quinn notes that the national laboratories, as members of the CCT, will receive the « Supplementary Information »

and « Techniques » free of charge. In the long term, other requests are charged to cover the cost. In answer to a question from Mr Bonnier, Mr Quinn says that « Techniques » will be available from the BIPM within a month after the final text arrives at the BIPM.

Regarding the minutes of the meeting, it is expected that a draft written by Mr Durieux and Mr Bedford will be sent around for comments in March 1990. It takes then usually two to three months before the final text is available at the BIPM.

The CCT extends a strong expression of thanks to Mr Hill of NRC, whose work is mentioned throughout the report, for his calculations of various PRT sub-range inconsistencies and non-uniquenesses.

Mr Bonnier expects that it will be necessary for Working Groups to meet within the next few months because there is often overlap in their tasks. The President thanks Mr Bonnier for his remark and replies that members have always done the best they can to meet WG responsibilities.

9. Vote of thanks

As the meeting comes to an end, Mr Rusby remarks (in part): « Mr President, at the beginning of the meeting Mr Quinn reminded us that we all will have to take responsibility for the ITS-90 and, of course, you have said that repeatedly at this table. However that may be, we should recognize that you provided a great deal of the momentum. We received successively drafts A, B, C, D, E, F, and several others in the course of this week, and I think, although we will all take responsibility for the scale, in a very real sense it is your scale and I think the Committee should take this final opportunity of expressing its appreciation to you for your work on it. Long life and happiness to both of you. » (*Applause*).

The President thanks Mr Rusby and adds « If there was ever a case of shared responsibility I think this is it and I extend those words right around this table without exception ».

Finally the President expresses his gratitude to Mr Quinn and his staff for their hospitality and effective help during the meeting. He expects the next meeting to be after four or five years and declares the 17th Meeting of the CCT, his 14th, to be closed.

APPENDIX T 1

Working documents submitted to the CCT at its 17th meeting

(For a full list of documents *see* page 33)

TABLE DES MATIÈRES
TABLE OF CONTENTS

COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE

17^e session (1989)

	Pages
Liste des sigles	V
Le BIPM et la Convention du Mètre	VII
Liste des membres	IX
Ordre du jour	XII
Rapport au Comité international des poids et mesures, par M. Durieux	T 1
EIT-90 et documents annexes : « Supplementary Information for the ITS-90 » et « Techniques for Approximating the ITS-90 »	2
Recommandation T 1 (1989) : Échelle internationale de température de 1990 ..	4
Recommandation T 2 (1989) : Tables de référence pour les thermocouples et les thermomètres à résistance de platine industriels	5
Recommandation T 3 (1989) : Incertitude propre à la réalisation de l'Échelle internationale de température de 1990	5
Compte rendu des séances de la 17^e session du CCT	7
1. Ouverture de la session. Nomination d'un rapporteur	7
2. EIT-90 : introduction	7
3. Rapport des groupes de travail	8
Groupe de travail 1 : préparation du texte de l'EIT-90 et révision du document « Supplementary Information for the ITS-90 »	8
Groupe de travail 2 : achèvement du document « Techniques for Approxi- mating the ITS-90 »	9
Groupe de travail 3 : domaine du thermomètre à résistance de platine dans l'EIT-90	10
Groupe de travail 4 : valeurs de $T_{90} - T_{68}$ et domaine du thermomètre à gaz dans l'EIT-90	11

4. EIT-90 : considérations générales	11
Domaine du thermomètre à résistance de platine	11
Tables de référence pour les thermocouples et les thermomètres à résistance de platine industriels	14
Thermomètre à gaz entre 4 K et 24 K	15
Domaine de température commençant à 24 K	15
Détails de l'EIT-90 au-dessus de 0 °C	16
Thermomètre à gaz entre 4 K et 24 K (suite)	17
Considérations diverses concernant l'EIT-90	18
Critères de qualité pour les thermomètres à résistance de platine	19
Domaine du thermomètre à résistance de platine (suite)	20
Thermomètre à gaz entre 4 K et 24 K (suite)	20
Domaine du thermomètre à résistance de platine (suite)	21
Tables de référence pour les thermocouples et les thermomètres à résistance de platine industriels (suite)	21
Différences $T_{90} - T_{76}$ et $T_{90} - T_{68}$	22
Points de congélation de l'argent, de l'or et du cuivre	23
Domaine du thermomètre à résistance de platine (suite)	24
5. Adoption de l'EIT-90	24
6. Adoption des recommandations	27
7. Composition et attributions des groupes de travail	28
8. Publication des documents (en particulier l'EIT-90)	31
9. Remerciements	32
Annexe T I. Documents de travail présentés à la 17^e session du CCT	33

English text of the Report

Note on the use of the English text. Note sur l'utilisation du texte anglais	39
The BIPM and the Convention du Mètre	41
List of members	43
Agenda	46
Report to the Comité International des Poids et Mesures, by M. Durieux	47
ITS-90 and supporting documents : « Supplementary Information for the ITS-90 » and « Techniques for Approximating the ITS-90 »	48
Recommendation T 1 (1989) : The International Temperature Scale of 1990 ..	50
Recommendation T 2 (1989) : Reference tables for thermocouples and industrial platinum resistance thermometers	51
Recommendation T 3 (1989) : The uncertainty inherent in the realization of the International Temperature Scale of 1990	51

Minutes of the 17th meeting of the CCT	53
1. Opening of the meeting. Designation of a rapporteur	53
2. The ITS-90: Introduction	53
3. Working Groups	54
Working Group 1: Preparation of the text of the ITS-90 and revision of the document « Supplementary Information for the ITS-90 »	54
Working Group 2: Completion of document « Techniques for Approximating the ITS-90 »	54
Working Group 3: Platinum resistance thermometer range of the ITS-90.	56
Working Group 4: Values for $T_{90} - T_{68}$ and gas thermometer range of the ITS-90	56
4. Completion of the definition and text of the ITS-90	57
Temperature range of the platinum resistance thermometer	57
Reference tables for thermocouples and industrial platinum resistance thermometers	59
Gas thermometer between 4 K and 24 K	60
Temperature range from 24 K	60
Details concerning the ITS-90 above 0 °C	61
Gas thermometer between 4 K and 24 K (continued)	62
Varied considerations concerning the ITS-90	62
Quality specifications for platinum resistance thermometers	63
Temperature range of the platinum resistance thermometer (continued) ..	64
Gas thermometer between 4 K and 24 K (continued)	65
Temperature range of the platinum resistance thermometer (continued) ..	65
Reference tables for thermocouples and industrial platinum resistance thermometers (continued)	66
Differences $T_{90} - T_{76}$ and $T_{90} - T_{68}$	66
Freezing points of silver, gold and copper	67
Temperature range of the platinum resistance thermometer (continued) ..	68
5. Adoption of the ITS-90	68
6. Adoption of the Recommendations	71
7. Membership and terms of reference for Working Groups	72
8. Publication of documents (in particular of the ITS-90)	74
9. Vote of thanks	75
Appendix T 1. Working documents submitted to the CCT at its 17th meeting ...	76



IMPRIMERIE DURAND

28600 LUISANT (FRANCE)

Dépôt légal : Imprimeur, 1991, n° 7529
ISBN 92-822-2115-6

ACHEVÉ D'IMPRIMER : MAI 1991

Imprimé en France