

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES



COMITÉ INTERNATIONAL
DES
POIDS ET MESURES

Procès-verbaux de la 78^e session
Report of the 78th Meeting

1989

TOME 57

Édité par le BIPM, Pavillon de Breteuil, F-92312 Sèvres Cedex, France

ISSN 0370-2596
ISBN 92-822-2108-3

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

AECL	Atomic Energy of Canada Limited, Chalk River (Canada)
AIEA/IAEA	Agence internationale de l'énergie atomique/International Atomic Energy Agency, Vienne (Autriche)
ASE/ESA	Agence spatiale européenne/European Space Agency, Paris (France)
ASMW	Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, Berlin (Rép. dém. allemande)
BCMN/CBNM	Bureau central de mesures nucléaires/Central Bureau for Nuclear Measurements, CEC-JRC, Geel (Belgique)
BIH	Bureau international de l'heure
BIPM	Bureau international des poids et mesures
BNM	Bureau national de métrologie, Paris (France)
CCDM	Comité consultatif pour la définition du mètre
CCDS	Comité consultatif pour la définition de la seconde
CCE	Comité consultatif d'électricité
CCEMRI	Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants
CCIR	Comité consultatif international des radiocommunications, Genève (Suisse)
CCM	Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées
CCPR	Comité consultatif de photométrie et radiométrie
CCT	Comité consultatif de thermométrie
CCU	Comité consultatif des unités
CEB	Centre d'études de Bruyères-le-Châtel (France)
CGPM	Conférence générale des poids et mesures
CIPM	Comité international des poids et mesures
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear, Rio de Janeiro et São Paulo (Brésil)
CNRS	Centre national de la recherche scientifique, Paris (France)
CODATA	Committee on Data for Science and Technology
CRL	Communications Research Laboratory, Tokyo (Japon)

CSIR	Council for Scientific and Industrial Research, Pretoria (Afrique du Sud)
CSIRO	CSIRO, Division of Applied Physics, Lindfield (Australie)
DFM	Danish Institute for Fundamental Metrology, Lyngby (Danemark)
ENEA	Laboratorio di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti ENEA-CRE, Casaccia, Rome (Italie)
ETCA	Établissement technique central de l'armement, Arcueil (France)
ETL	Electrotechnical Laboratory, Tsukuba (Japon)
EUROMET	European Collaboration on Measurement Standards
ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurements
IEA	Instytut Energu Atomowej, Swierk (Pologne)
CIE/IEC	Commission électrotechnique internationale/International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
IEN	Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin (Italie)
IER	Institut d'électrochimie et radiochimie, Lausanne (Suisse)
IERS	International Earth Rotation Service
IMGC	Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin (Italie)
INM	Institut national de métrologie, Paris (France)
INMARSAT	International Maritime Satellite Organization
IRD	Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Rio de Janeiro (Brésil)
ISO	International Organization for Standardization
JILA	Joint Institute for Laboratory Astrophysics, Boulder (É.-U. d'Amérique)
KSRI	Korea Standards Research Institute, Taejon (Rép. de Corée)
LCIE	Laboratoire central des industries électriques, Fontenay-aux-Roses (France)
LMRI	Laboratoire de métrologie des rayonnements ionisants, Saclay (France)
LPTF	Laboratoire primaire du temps et des fréquences, Paris (France)
NAC	National Accelerator Centre, Faure (Afrique du Sud)
NGS	National Geodetic Survey, Rockville (É.-U. d'Amérique)
NIM	National Institute of Metrology, Beijing (Rép. Pop. de Chine)
NIST	National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg (É.-U. d'Amérique)
NPL	National Physical Laboratory, Teddington (Royaume-Uni)
NRC	Conseil National de Recherches/National Research Council, Ottawa (Canada)
OIML	Organisation internationale de métrologie légale

OMH	Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest (Hongrie)
OP	Observatoire de Paris (France)
PSPKR	Pusat Standardisasi dan Penelitian Keselamatan Radiasi, Jakarta (Indonésie)
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig (Rép. féd. d'Allemagne)
PTTI	Precise Time and Time Interval Applications and Planning Meeting
SCPRI	Service central de protection contre les rayonnements ionisants, Le Vésinet (France)
UAI/IAU	Union astronomique internationale/International Astronomical Union
UGGI/IUGG	Union géodésique et géophysique internationale/International Union of Geodesy and Geophysics
UICPA/IUPAC	Union internationale de chimie pure et appliquée/International Union of Pure and Applied Chemistry
UIPPA/IUPAP	Union internationale de physique pure et appliquée/International Union of Pure and Applied Physics
USNO	U.S. Naval Observatory, Washington (É.-U. d'Amérique)
UVVVR	Ústav pro vyzkum, výrobu a využití radioisotopu, Prague (Tchécoslovaquie)
VNIIFTRI	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)
WEMC	Western European Metrology Club

Sigles des termes scientifiques

Acronyms for scientific terms

CCC	Cryogenic current comparator
GPS	Global Positioning System
ITS-90	International Temperature Scale of 1990
LASSO	Laser Synchronization from Stationary Orbit
MSS	Manuscripts
PVC	Polyvinyl Chloride
QED	Quantum Efficiency Detector
SI	Système international d'unités
SIR	International Reference System
SPC	Series-parallel comparator
SQUID	Superconducting Quantum Interference Device
TAI	Temps atomique international
TE	Tissue Equivalent
UTC	Temps universel coordonné

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 et deux nouveaux bâtiments ont été construits en 1963-1964 pour les laboratoires de la section des rayonnements ionisants.

(1) Au 31 décembre 1989, quarante-sept États sont membres de cette Convention : Afrique du Sud, Allemagne (Rép. Fédérale d'), Allemande (Rép. Démocratique), Amérique (É.-U.), 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. La dotation annuelle du Bureau international est de l'ordre de 17 960 000 francs-or (en 1989), soit environ 32 600 000 francs français.

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.

LISTE DES MEMBRES
DU
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
au 26 septembre 1989

Président

1. D. KIND, président de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 3300 Braunschweig, Rép. féd. d'Allemagne.

Secrétaire

2. J. DE BOER, Institut de physique, Université d'Amsterdam, Valckenierstraat 65, Amsterdam-C, Pays-Bas.

Membres

3. E. AMBLER, directeur du National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899, É.-U. d'Amérique.
4. W. R. BLEVIN, directeur adjoint de la Division de physique appliquée, CSIRO, P.O. Box 218, Bradfield Road, Lindfield NSW 2070, Australie.
5. A. BRAY, directeur de l'Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Strada delle Cacce 73, 10135 Turin, Italie.
6. P. DEAN, directeur du National Physical Laboratory, Teddington, TW11 0LW (Royaume-Uni).
7. K. IIZUKA, vice-président, Japan Society for the Promotion of Machine Industry, 3-5-8, Shiba-koen, Minato-ku, Tokyo 105, Japon.
8. H. H. JENSEN, professeur, H. C. Oersted Institutet, Universitetets Fysiske Laboratorium, Universitetsparken 5, 2100 København ø, Danemark, *Secrétaire-adjoint*.
9. J. KOVALEVSKY, astronome au Centre d'études et de recherches géodynamiques et astronomiques, avenue N. Copernic, 06130 Grasse, France.

10. A. I. MEKHANNIKOV, vice-président du Comité d'État de l'URSS pour les normes, Leninski prosp. 9b, 117049 Moscou, URSS.
11. A. P. MITRA, National Physical Laboratory of India, Hillside Road, New Delhi 110012, Inde.
12. T. PLEBANSKI, directeur du Centre de recherche et de développement des matériaux de référence « WZORMAT », Ul. Elektoralna 2, 00-139 Varsovie, Pologne.
13. H. PRESTON-THOMAS, sous-directeur de la Division de physique du Conseil national de recherches, Ottawa K1A 0S1, Canada. *Vice-président.*
14. O. SALA, professeur, Departamento de Fisica Nucleare, Universitaria Armando Salles de Oliveria, Caixa Postal 20516, 05508 São Paulo, Brésil.
15. K. SIEGBAHN, directeur de l'Institut de physique de l'Université d'Uppsala, Box 530, 75121 Uppsala 1, Suède.
16. J. SKÁKALA, professeur à l'Université technique slovaque, Gottwaldovo nam. c.17, 812 31 Bratislava, Tchécoslovaquie. *Vice-président.*
17. R. STEINBERG, chef du Département de physique et métrologie, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, 1101 Buenos Aires, Argentine.
18. WANG Daheng, professeur, directeur de la division des sciences techniques, Academia Sinica, Conseiller du Bureau d'État de métrologie, BP 2112, Beijing, Rép. pop. de Chine.

Membres honoraires

1. L. M. BRANSCOMB, Box 309, Concord, Massachusetts 01742.
 2. J. V. DUNWORTH, The Warbuck, Kirk Michael, Isle of Man.
 3. L. E. HOWLETT, 1702-71 Somerset Street W, Ottawa, Ontario K2P2G2.
 4. M. KERSTEN, Am Hohen Tore 4A, D 3300 Braunschweig.
 5. F. J. LEHANY, 5 Gladstone Avenue, Hunters Hill, NSW 2110.
 6. J. STULLA-GÖTZ, Gentzgasse 3, 1180 Wien.
-

PERSONNEL
DU
BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
au 1^{er} janvier 1990

Directeur : M. T.J. Quinn

Longueurs : M. J.-M. Chartier

M. R. Felder, Mme S. Picard, M. L. Robertsson
Mme A. Chartier, M. J. Labot

Masse et grandeurs apparentées : MM. G. Girard, A. Sakuma

M. A. Picard
Mme J. Coarasa, M. J. Hostache

Échelles de temps : M. B. Guinot ⁽¹⁾

MM. J. Azoubib, W. Lewandowski, Mme C. Thomas
Mlle H. Konaté, Mme M. Thomas

Électricité : M. T.J. Witt

MM. F. Delahaye, D. Reymann
MM. D. Avrons, D. Bournaud
M. P. Benoit

Radiométrie et photométrie : M. J. Bonhoure

M. R. Köhler
MM. C. Garreau, R. Goebel, F. Lesueur, R. Pello, F. Perez
M. J. Dias

Rayonnements ionisants : M. J. W. Müller

Mme M. Boutillon, MM. P. Bréonce, V. D. Huynh, G. Ratel
MM. D. Carnet, C. Colas, L. Lafaye, C. Veyradier

Secrétariat : Mlle J. Monprofit

Mme D. Le Coz, Mme D. Müller ⁽²⁾
Mme L. Delfour, Mme M. Petit

Metrologia : M. D. A. Blackburn

⁽¹⁾ Chercheur associé

⁽²⁾ Détachée à la Section des rayonnements ionisants

Finance, administration : Mlle B. Perent

Mme M.-J. Martin

Gardiens : M. et Mme Dominguez, M. et Mme Neves

Femmes de ménage : Mme A. Perez, Mme R. Prieto, Mme R. Vara

Jardiniers : MM. C. Angot, C. Dias-Nunes

Atelier de mécanique : M. J. Sanjaime

MM. B. Bodson, M. de Carvalho, J.-B. Caucheteux, J.-P. Dewa,
A. Gama, J. Leroux, A. Montbrun, D. Rotrou, E. Dominguez ⁽³⁾,
C. Neves ⁽³⁾

Directeurs honoraires : MM. Ch. Volet, J. Terrien, P. Giacomo

Métrologiste principal honoraire : M. G. Leclerc

Métrologiste honoraire : M. H. Moreau

⁽³⁾ Également gardiens.

ORDRE DU JOUR DE LA SESSION

1. Ouverture de la session, quorum, approbation de l'ordre du jour.
 2. Rapport du secrétaire.
 3. Rapport sur l'activité du bureau du CIPM.
 4. Comités consultatifs :
 - rapport du CCDS ;
 - rapport du CCT : proposition pour l'adoption de l'EIT-90 ;
 - rapport du CCEMRI ;
 - réunions futures.
 5. Travaux du BIPM : rapport du directeur.
 6. Troisième vérification des prototypes nationaux du kilogramme.
 7. Proposition pour la rénovation du Caveau des prototypes.
 8. Questions administratives et financières :
 - rapport aux Gouvernements pour 1988 ;
 - quitus pour 1988 ;
 - exercice 1989 en cours ;
 - projet de budget pour 1990 ;
 - changements mineurs apportés au règlement de la Caisse de retraites.
 9. Metrologia.
 10. Questions diverses.
-

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

78^e session (septembre 1989)

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

TENUES A SÈVRES

D. Kind, président

Le Comité international des poids et mesures (CIPM) s'est réuni pour sa 78^e session au Bureau international des poids et mesures à Sèvres le mardi 26, le mercredi 27 et le jeudi 28 septembre 1989. Il a tenu quatre séances.

Étaient présents : MM. AMBLER, BLEVIN, BRAY, DE BOER, DEAN, IIZUKA, JENSEN, KIND, KOVALEVSKY, MEKHANNIKOV (absent le 28 septembre), PLEBANSKI, PRESTON-THOMAS, SALA, SIEGBAHN, SKÁKALA, WANG Daheng, QUINN (directeur du BIPM).

Assistaient aussi aux séances : M. GIACOMO (directeur honoraire du BIPM); interprète : M. OBOUKHOV; secrétaires : Mlle MONPROFIT, Mme LE COZ.

Excusés : MM. STEINBERG, TERRIEN (directeur honoraire du BIPM).

Absent : M. MITRA.

1. Ouverture de la session ; quorum ; ordre du jour

Le président ouvre la 78^e session du Comité international des poids et mesures (CIPM). Il accueille les membres du CIPM ainsi que les invités, MM. Giacomo et Oboukhov, et note que la composition du CIPM n'a pas varié depuis l'an passé.

Le président constate avec plaisir que la participation au CIPM est très forte et que le quorum est atteint, conformément à l'article 12 de la Convention du Mètre.

Le président rappelle tout d'abord qu'un grand nombre d'événements importants et d'anniversaires ont eu lieu en 1989, le bicentenaire de la Révolution française coïncidant avec le bicentenaire d'événements qui ont conduit à la fondation du système métrique. C'est pourquoi les

membres du CIPM ont été invités à une visite de l'exposition « L'aventure du mètre » organisée par le Musée des techniques du Conservatoire national des arts et métiers et à une cérémonie commémorative devant le Ministère de la justice, Place Vendôme, cérémonie au cours de laquelle il a été procédé à l'étalonnage symbolique, au moyen de lasers, du mètre en marbre scellé dans le mur du ministère. Cette cérémonie a été suivie d'une réception donnée par M. P. Arpaillange, garde des sceaux et ministre de la Justice, et par M. R. Fauroux, ministre de l'Industrie et de l'aménagement du territoire. Le 26 septembre 1989 (premier jour de la présente session) marque aussi le centenaire de la sanction du dépôt officiel des prototypes internationaux du mètre et du kilogramme au BIPM lors de la 1^{re} Conférence générale des poids et mesures (probablement dans la Grande Salle du Pavillon de Breteuil). Le président attire l'attention des membres sur la médaille commémorative en bronze, réalisée à cette occasion par le service français des Monnaies et médailles, médaille dont chacun a reçu un exemplaire.

Le président souligne de plus que c'est la dernière session à laquelle M. de Boer assiste en qualité de secrétaire.

L'ordre du jour est adopté, avec quelques modifications mineures. Le président cède alors la parole à M. de Boer pour la présentation du rapport du secrétaire du CIPM.

2. Rapport du secrétaire du CIPM (octobre 1988 - septembre 1989)

Le secrétaire présente son rapport. Les rapports des comités consultatifs et des groupes de travail seront présentés en détail dans le cours ultérieur de la session.

1. États membres de la Convention du Mètre. — La liste des États membres de la Convention du Mètre est restée inchangée et comporte toujours 47 États.

2. Membres du CIPM. — Aucun changement n'est intervenu dans la composition du Comité international au cours de l'année écoulée. Tous les sièges du Comité sont pourvus. Toutefois, MM. Ambler et Dean ont informé le Comité de leur intention de démissionner du Comité international après leur départ en retraite du National Institute of Standards and Technology et du National Physical Laboratory.

3. Réunions des comités consultatifs et des groupes de travail.

— Le CCDS a tenu sa 11^e session les 19 et 20 avril 1989 sous la présidence de M. Kovalevsky. Cette session a été précédée les 17 et 18 avril d'une réunion des représentants de 26 laboratoires qui contribuent au TAI.

— La Section II du CCEMRI (Mesure des radionucléides) s'est réunie du 29 au 31 mai 1989.

— Le CCT s'est réuni du 12 au 14 septembre 1989 sous la présidence de M. Preston-Thomas pour discuter et adopter l'Échelle internationale de température de 1990 (EIT-90). La session a été précédée, le lundi 11 septembre 1989, des réunions des quatre groupes de travail du CCT.

Toutes ces réunions ont eu lieu au Pavillon de Breteuil.

4. Indications financières

Le tableau ci-après donne la situation de l'actif du Bureau international, en francs-or, au 1^{er} janvier des années portées en tête de colonne.

Comptes	1986	1987	1988	1989
I. — Fonds ordinaires	15 439 533,68	15 550 507,07	13 743 538,35	11 685 088,87
II. — Caisse de retraites ...	10 043 819,07	11 843 142,42	13 160 434,56	14 369 021,18
III. — Fonds spécial pour l'amélioration du ma- tériel scientifique	573 810,31	523 857,79	214 847,73	78 764,20
IV. — Caisse de prêts sociaux.	187 788,99	204 771,34	230 719,45	260 806,64
V. — Réserve pour les bâti- ments	821 291,74	1 816 600,45	1 359 042,99	83 232,12
Totaux	27 066 243,79	29 938 879,07	28 708 583,08	26 476 913,01

3. Rapport sur l'activité du bureau du CIPM

Le secrétaire présente ensuite le rapport sur l'activité du bureau du Comité.

Le bureau du Comité s'est réuni à plusieurs occasions depuis la dernière session du CIPM en octobre 1988. L'une de ces réunions a eu lieu à Copenhague. En outre, de nombreux problèmes ont été traités par courrier et par téléphone. En plus de l'examen habituel du Rapport annuel aux Gouvernements et des affaires financières du BIPM, on a discuté cette année de l'avenir de *Metrologia* et des propositions de rénovation du Caveau des prototypes.

Rapport annuel aux Gouvernements

Le bureau du Comité a noté avec satisfaction que l'amélioration du paiement des contributions des États que nous avons constatée l'an passé s'est poursuivie cette année. À la fin du mois de juillet 1989, le BIPM avait reçu 80% du montant des contributions.

La Roumanie est un des pays, peu nombreux, en retard dans le paiement de ses contributions. Le BIPM n'a reçu de cet État aucun paiement au titre de 1986, 1987, 1988 et 1989. Pour 1990, la contribution de la Roumanie sera donc répartie entre les États membres, ainsi que celles du Chili, de la République dominicaine et de l'Iran. L'article 6 (1921), paragraphe 7, du Règlement annexé à la Convention du Mètre stipule que « les avantages et prérogatives conférés par l'adhésion à la Convention du Mètre sont suspendus à l'égard des États déficitaires de trois années ». Les implications de cet article 6 feront l'objet d'une étude approfondie en accord avec les autorités françaises concernées.

Situation financière du BIPM

Au cours des dix dernières années, le BIPM a modernisé considérablement ses installations et deux nouveaux bâtiments ont été construits. Tout cela a pu être mené à bien grâce au soutien des États membres et à une bonne gestion des fonds du BIPM. Toutefois, on constate que les réserves du Bureau sont passées de 110 % de la dotation annuelle, au 1^{er} janvier 1980, à 67 % au 1^{er} janvier 1989. Le bureau considère qu'il serait prudent de maintenir les réserves à un niveau égal à 75 % de la dotation annuelle. Il est prévu d'y parvenir d'ici quelques années.

Il est apparu clairement à la fin des années 1970 qu'il serait nécessaire de renforcer substantiellement les fonds de la Caisse de retraites. En 1984, on a procédé à un examen approfondi de la question, et, depuis ce moment, on a maintenu le niveau des contributions du BIPM à un peu plus de 16 % des salaires, ce qui semblait satisfaisant pour le long terme (niveau identique à celui des Organisations coordonnées). Cela devait permettre de disposer de fonds suffisants pour faire face aux départs en retraite prévus pour la période 1987-1989. Il fut convenu de reconsidérer cette question cinq ans plus tard. On a aussi noté à l'époque que la contribution du personnel du BIPM (5 % du salaire) était inférieure à celles des Organisations coordonnées (7 %) et de la fonction publique française (6 %). La contribution dans la fonction publique française est maintenant de 8,9 % du salaire. Le directeur du BIPM a réexaminé la question des fonds de la Caisse de retraites et est arrivé à la conclusion que la contribution du personnel devrait augmenter de 5 % à 9 %.

Caveau des prototypes

Le prototype international du kilogramme a été extrait du Caveau inférieur en 1988 en vue de la troisième vérification des prototypes nationaux. Son absence a permis de procéder à un examen de l'état du Caveau. Comme les visites des années précédentes l'avaient déjà mis en évidence, le Caveau inférieur dans lequel le prototype international est conservé a été sérieusement endommagé par des infiltrations d'eau au

niveau des parois et du sol. Après un examen détaillé effectué avec l'architecte du BIPM, la conclusion est qu'il n'y a pas d'autre solution que d'abandonner le Caveau inférieur.

Le directeur du BIPM a donc préparé un projet de réaménagement du Caveau supérieur pour y conserver le prototype international du kilogramme après la troisième vérification des prototypes nationaux. Ce projet est présenté à l'approbation du Comité. Les travaux pourraient commencer au début de 1990 et s'achever pour la session de 1990 du CIPM.

Troisième vérification des prototypes nationaux du kilogramme

Le bureau a discuté de l'avancement des travaux préliminaires relatifs à la prochaine comparaison des prototypes nationaux du kilogramme. Ce sera la première fois qu'une telle opération sera accomplie à l'aide d'une balance (NBS-2) permettant d'obtenir un écart-type de $1 \mu\text{g}$. Lors de la précédente vérification, il y a 40 ans, l'écart-type obtenu avec la balance Rueprecht était voisin de $10 \mu\text{g}$.

On a constaté que la masse des prototypes en platine iridié augmentait d'environ $1 \mu\text{g}$ par mois au cours des semaines et des mois qui suivent le lavage et le nettoyage à la vapeur d'eau ; on sait maintenant que cela affecte aussi le prototype international \mathcal{K} . L'expérience à long terme conduite sur un grand nombre de prototypes nationaux a montré que, sur des périodes de plusieurs années, l'augmentation de masse n'est que d'environ $1 \mu\text{g}$ par an. Le phénomène qui a été observé cette fois-ci est un phénomène à plus court terme ; sur une période d'un an ou deux, l'augmentation de masse passe de $1 \mu\text{g}$ par mois à $1 \mu\text{g}$ par an. Ce changement assez rapide de masse dans les mois qui suivent le nettoyage pose un problème d'interprétation de la définition du kilogramme donnée en 1889. Un autre problème qui se pose est de savoir si l'on doit ou non nettoyer les prototypes nationaux lors de la troisième vérification des prototypes. Le bureau est d'avis qu'il conviendrait de consulter les experts des laboratoires nationaux avant de prendre une décision.

Une discussion préliminaire sur la rénovation du Caveau des prototypes et sur la procédure à suivre pour la troisième vérification des prototypes nationaux s'engage à la suite de ce rapport. Elle se poursuivra plus en détail en présence de M. Girard.

Metrologia

Lors de la session de 1988 du CIPM, l'avenir de *Metrologia* a déjà été considéré. La discussion avait été suscitée par le prochain départ à la retraite de son rédacteur, M. Hudson, en octobre 1989, mais aussi par le désir d'examiner l'avenir à long terme de cette revue, dont le

rédacteur est entièrement payé par le BIPM. Il avait été décidé d'étudier la possibilité d'accroître la diffusion de *Metrologia* en y insérant des articles susceptibles d'attirer des lecteurs intéressés par les questions d'étalonnage, d'accréditation de laboratoires et peut-être même de métrologie légale, sans bien sûr nuire à la réputation de *Metrologia* en tant que revue de métrologie scientifique. Le Comité avait bien accueilli la proposition de M. Dean d'envisager une collaboration avec l'International Laboratory Accreditation Conference (ILAC), proposition qui a reçu une réponse favorable. Des contacts similaires ont été pris avec la Western European Calibration Cooperation (WECC).

Il semble qu'il existe un besoin de publier des articles et des informations portant sur un large éventail de problèmes qui se posent en métrologie, non seulement dans le domaine de l'accréditation de laboratoires, mais aussi dans celui des étalonnages et des essais.

De plus, le bureau était largement favorable à ce que *Metrologia* soit publié directement par le CIPM et non plus par Springer-Verlag. Le soutien financier apporté à ce journal est déjà tel que l'on peut espérer que les revenus provenant des abonnements couvriront toute aide administrative supplémentaire qui pourrait s'avérer nécessaire. Le bureau propose de demander au directeur, en accord avec MM. Blackburn et Hudson, de prendre contact avec Springer-Verlag pour discuter de la reprise éventuelle de *Metrologia* par le CIPM.

Questions diverses

Le Règlement de la Caisse de retraites du personnel n'a pas prévu le cas des enfants à charge d'un fonctionnaire du BIPM qui est divorcé et qui vient à décéder. Après discussion avec les représentants du personnel, des modifications au Règlement de la Caisse de retraites du personnel sont maintenant proposées à l'approbation du Comité. Ces modifications s'imposent, elles ont des conséquences financières négligeables et sont pleinement approuvées par le bureau du Comité.

La section du temps est installée au BIPM depuis plus de quatre ans, et son départ de l'Observatoire de Paris a été formellement approuvé par la 18^e Conférence générale en 1987. Lors de sa dernière session en avril 1989, le CCDS a fait un certain nombre de recommandations concernant le travail futur de la section du temps du BIPM. Des changements rapides ont vu le jour dans les techniques de comparaisons d'horloges distantes depuis que le système GPS est entré en service. L'utilisation de ce système, ainsi que d'autres ensembles de satellites, présente de grands avantages par rapport aux techniques antérieures, le moindre n'étant pas l'obtention d'une précision plus grande. Les qualités exigées des résultats des comparaisons d'horloges sont beaucoup plus grandes et le CCDS a chargé le BIPM de nouvelles tâches : coordination ~~des comparaisons d'horloges, analyse approfondie des résultats de ces~~

comparaisons, organisation de comparaisons d'horloges à l'aide de satellites de communication, harmonisation des échelles UTC des laboratoires et amélioration de l'exactitude des coordonnées des antennes des laboratoires.

De plus, une des recommandations demande aux laboratoires nationaux d'étudier la possibilité de fournir au BIPM, en prêt, des horloges qui pourraient être utilisées dans les comparaisons. Cela est souhaitable pour maintenir la compétence du BIPM dans l'analyse des résultats de comparaisons d'horloges. Il n'a aucunement été suggéré d'installer au BIPM une horloge primaire, ni d'inclure dans l'établissement du TAI les données des horloges du BIPM. À cet égard, le bureau a noté que, bien que cela soit bien clair pour le CCDS, cela n'a pas été mentionné explicitement dans la Recommandation S5 (1989) et qu'il appartient au CIPM de spécifier ce point.

Le BIPM joue un rôle de plus en plus important dans le domaine des comparaisons d'horloges et des échelles de temps. Dans un avenir prévisible, le travail de la section du temps constituera l'une des activités les plus importantes du BIPM. En conséquence, il sera probablement nécessaire d'augmenter les ressources que le BIPM consacre à cette section. En l'absence éventuelle d'un accroissement global des ressources du BIPM, il faudra à nouveau établir des priorités.

4. Comités consultatifs

Depuis la dernière session du CIPM, trois comités consultatifs se sont réunis : le Comité consultatif pour la définition de la seconde (CCDS), le Comité consultatif de thermométrie (CCT) et la Section II du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI).

4.1. Comité consultatif pour la définition de la seconde

M. Kovalevsky, président du CCDS, présente le rapport de la 11^e session du CCDS qui s'est tenue les 19 et 20 avril 1989. La session du CCDS a été précédée, les 17 et 18 avril, par une réunion des représentants des laboratoires qui contribuent au TAI, réunion organisée par le groupe de travail du CCDS sur le TAI. Cette réunion, qui accueillait également des représentants des Unions scientifiques, était présidée par M. Winkler, de l'US Naval Observatory. Six projets de recommandations et deux projets de déclarations ont été soumis au CCDS à la suite de cette réunion préliminaire. Ces projets ont servi de base aux recommandations et déclarations présentées par le CCDS au CIPM.

Les principaux sujets de discussion du CCDS étaient l'étude des conséquences du transfert du TAI au BIPM, les progrès des étalons de fréquence primaires et le sujet très vaste des comparaisons d'horloges à l'aide du système GPS ou d'autres ensembles de satellites. La réunion a commencé par les rapports d'activité des laboratoires sur les étalons de fréquence et les horloges. Le nombre d'étalons à césium en service n'a pas augmenté depuis la dernière réunion du CCDS et certains de ces étalons ne sont plus en fonctionnement. Les horloges de la PTB sont les meilleures horloges primaires, en raison de leur exactitude, et l'exactitude du TAI en dépend largement, ce qui n'est pas satisfaisant. Le CCDS se réjouit des efforts consacrés à ce domaine en France, en République démocratique allemande, aux États-Unis (NIST) et en République populaire de Chine. Ces efforts devraient être encouragés et mis en valeur. C'est la raison de la Recommandation S3 (1989) sur l'« Amélioration de l'exactitude en fréquence des étalons primaires ».

Un certain nombre d'études sur les masers à hydrogène ont été présentées, le nombre de ceux-ci est en augmentation, mais certains ne sont pas utilisables pour établir des échelles de temps en raison de leur manque de stabilité à long terme. À présent, on travaille sur des étalons à mercure Hg^+ , à magnésium Mg^+ ou à baryum Ba^+ , mais ceux-ci n'en sont encore qu'au stade expérimental. La Recommandation S2 (1989) et la Déclaration 1989/2 attirent l'attention sur la nécessité d'améliorer la stabilité à long terme de tous les étalons de fréquence.

L'autre condition essentielle requise pour obtenir la meilleure échelle possible pour TAI est l'amélioration des techniques de comparaison d'horloges. La méthode la plus simple et la plus efficace actuellement consiste à utiliser le GPS. L'utilisation de cette technique est maintenant organisée par le BIPM, qui coordonne, à l'échelle mondiale, un vaste réseau de laboratoires. L'URSS n'y est toutefois reliée que par l'intermédiaire du LORAN-C. C'est tout à fait regrettable, car les étalons à césium soviétiques fournissent une très bonne échelle mais ne sont pas reliés avec exactitude aux étalons des pays occidentaux dont les données sont utilisées au BIPM. Un équivalent soviétique du GPS, dénommé GLONASS, entrera bientôt en fonctionnement et le vœu a été émis que l'accès à ce système soit très large. C'est la raison de la Recommandation S6 (1989) et de la Déclaration 1989/1 sur les liaisons horaires.

Même si des liaisons satisfaisantes peuvent être établies, il reste un certain nombre d'erreurs systématiques dues à l'utilisation de coordonnées inexactes pour les antennes. Le BIPM a maintenant montré que ces erreurs peuvent être réduites afin de parvenir à une meilleure cohérence des résultats. C'est la raison de la Recommandation S4 (1989).

En ce qui concerne l'établissement du TAI par le BIPM, le CCDS a reconnu qu'une expérience concrète des comparaisons d'horloges est

nécessaire. Bien qu'une coopération active existe entre le BIPM et le Laboratoire primaire du temps et des fréquences à l'Observatoire de Paris, cette situation n'est pas satisfaisante à long terme parce qu'il s'agit de mener à bien des tâches qui requièrent une attention soutenue et continue. La Recommandation S5 (1989) concerne l'installation d'horloges au BIPM. Il a été dit que même si le prêt d'horloges au BIPM par des laboratoires nationaux était une bonne solution à court terme, le BIPM devait envisager à long terme d'y consacrer les fonds nécessaires. C'est une des questions dont il devra être tenu compte lors de la préparation de la Convocation à la 19^e Conférence générale.

Le CCDS a également considéré le problème de la synchronisation des échelles nationales UTC(k) construites à des fins d'utilisation et de diffusion locales. Des différences entre ces échelles de temps, allant jusqu'à 100 μ s, ont été étudiées par le groupe de travail 7 du CCIR, et ont fait l'objet d'un projet de recommandation proposé au CCDS et soumis par celui-ci au CIPM en tant que Recommandation S1 (1989).

Le réajustement des échelles nationales de temps, les méthodes statistiques appliquées au temps et les relations entre le temps atomique et les pulsars ont aussi été discutés au CCDS.

Les Recommandations S1 (1989), S3 (1989), S4 (1989) et S5 (1989) proposées par le CCDS sont adoptées par le CIPM, respectivement comme Recommandations 1 (CI-1989), 2 (CI-1989), 3 (CI-1989) et 4 (CI-1989). Le CIPM a aussi pris connaissance des Recommandations S2 (1989) et S6 (1989) du CCDS.

4.2. Comité consultatif de thermométrie

M. Preston-Thomas, président du Comité consultatif de thermométrie, présente le rapport de la 17^e session du CCT, qui s'est réuni les 12, 13 et 14 septembre 1989.

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 session de septembre 1989 du CCT. M. Preston-Thomas présente l'EIT-90 avec les commentaires suivants :

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'EIT-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 sa conception 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, précise et sans soucis, des fours, des thermostats, des cellules à points fixes et des installations 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 ITS-90 » et « Techniques for Approximating the ITS-90 »*, documents qui seront mis à jour périodiquement. La rédaction de certains chapitres du premier document n'est toujours pas terminée ; il devrait être publié fin 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 fin 1990.

La Recommandation T1 (1989) du CCT sur l'Échelle internationale de température de 1990 a été adoptée par le CIPM comme Recommandation 5 (CI-1989). Le CIPM a aussi pris note de la Recommandation T2 (1989) du CCT, sur les tables de référence pour les thermocouples et les thermomètres à résistance de platine industriels, et de la Recommandation T3 (1989) du CCT, sur l'incertitude propre à la réalisation de l'Échelle internationale de température de 1990.

4.3. Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants

M. Dean, président du CCEMRI, présente le rapport de la Section II du CCEMRI (Mesure des radionucléides) qui a tenu sa 9^e réunion du 29 au 31 mai 1989.

Le rapport sur la comparaison à grande échelle de ¹²⁵I effectuée en 1988 a été présenté et discuté. Les résultats sont satisfaisants bien que les valeurs soient plus dispersées que lors des comparaisons précédentes ; les raisons possibles de cette situation ont été examinées. Le rapport sur la comparaison à grande échelle de ¹⁰⁹Cd a été préparé en vue de son impression sous une forme abrégée. Une comparaison à grande échelle de ⁷⁵Se pourrait être lancée à la suite de la comparaison restreinte qui se terminera à la fin de 1989. La stabilité du Système international

* Une traduction française de ces documents sera publiée par le Bureau national de métrologie, Paris, France.

de référence (SIR) étant amplement démontrée, la possibilité d'étendre ce système aux gaz et aux émetteurs de rayonnement β a été discutée. Les dispositifs envisagés pourraient comprendre une chambre d'ionisation sensible aux basses énergies et un système à scintillateur liquide ; ces deux dispositifs feront l'objet d'études supplémentaires. Les rapports des groupes de travail ont été présentés et les activités récentes du BIPM ont été décrites.

Le CIPM a ensuite discuté des réunions futures du CCEMRI. M. Dean considère qu'elles ne devraient pas se limiter seulement à l'examen des rapports des réunions des trois sections. Il pense qu'il conviendrait d'élargir la composition de ce comité, limitée actuellement aux présidents des trois groupes de travail, et propose d'inviter trois autres participants à la session qui doit avoir lieu en 1991. Les présidents des trois sections ont exprimé leur accord pour cet élargissement et ont trouvé la proposition intéressante.

Le président du CIPM a proposé et le CIPM a approuvé que les réunions des trois sections se tiennent en parallèle juste avant la session du CCEMRI et que toutes les réunions aient lieu la même semaine, probablement en mai 1991. La date en sera fixée en accord avec les présidents des trois groupes de travail et le directeur du BIPM.

Le président du CIPM fait remarquer que ces changements renforceront la position du CCEMRI.

M. Iizuka ajoute que, pour les membres qui viennent de pays lointains, il sera plus commode que les trois groupes de travail et le CCEMRI se réunissent à des dates rapprochées.

4.4. Réunions futures des comités consultatifs

Le président du CIPM rappelle aux présidents des comités consultatifs qu'il convient de fixer les dates des prochaines réunions. Les dates suivantes sont adoptées :

CCE	juin 1991
CCPR	17-19 septembre 1990*
CCT	aucune date n'est fixée
CCDM	1991
CCDS	aucune date n'est fixée
CCEMRI	mai 1991
CCU	juillet 1990
CCM	mai-juin 1991

* La date de la réunion du CCPR a été précisée après la session.

5. Travaux du BIPM : Rapport du directeur

M. Quinn introduit la présentation des travaux faite par le personnel scientifique du BIPM.

Comme d'habitude, cette présentation commence par la section des longueurs. M. Chartier, chef de cette section, en résume les activités en précisant que les règles divisées représentent à peu près 10 % du travail et les lasers asservis environ 90 %. Le programme de travail pour 1989 comprenait des comparaisons internationales de lasers à He-Ne asservis sur le méthane (présentées par M. Robertsson) ou sur l'iode, une aide apportée aux laboratoires nationaux, la remise en état des lasers à 612 nm et 515 nm, des recherches sur les cuves à iode (Mme S. Picard) et la mesure de la règle divisée N° 12924 (M. Robertsson). M. Chartier informe les membres du CIPM du stage d'un an que M. Felder fait au JILA (Boulder, É.-U. d'Amérique) afin d'étudier les lasers asservis.

M. Girard, chef de la section des masses, présente l'état d'avancement de la troisième vérification périodique des prototypes nationaux du kilogramme et la technique utilisée : l'étude préliminaire de \mathcal{K} , des témoins et des nouveaux prototypes N° 67 et 73, l'effet du nettoyage-lavage sur ces prototypes, l'évolution de la masse de ces prototypes durant les quatre premiers mois après leur nettoyage, la comparaison entre \mathcal{K} , ses témoins et les étalons de travail du BIPM. Il convient de prendre une décision au sujet du mode opératoire à adopter pour la suite de la vérification.

Cette présentation est suivie d'une discussion sur l'augmentation apparente de la masse des prototypes dans les mois qui suivent le nettoyage et sur les conditions d'utilisation (conditions atmosphériques, possibilité d'automatiser le lavage, problèmes de pollution, effet de l'alcool et de l'eau sur la surface, de l'échauffement). Cette discussion se poursuivra lors d'un point ultérieur de l'ordre du jour.

M. Guinot, chef de la section du temps, présente les activités de sa section. La production du TAI et de l'UTC se poursuit de manière régulière, sans changements importants dans le nombre ni dans la qualité des horloges participantes, bien que trois nouveaux laboratoires, situés en Afrique du sud, au Brésil et en Nouvelle-Zélande, aient rejoint le « Club du TAI ». Une grande partie du travail de recherche a été consacrée au GPS. Des améliorations sont apportées par la mesure des retards ionosphériques et par l'utilisation d'éphémérides plus précises pour les satellites et de coordonnées plus exactes pour les antennes. Cela a conduit à une nouvelle organisation des liaisons horaires du GPS, comportant essentiellement un réseau primaire autour de la Terre

complété par des liaisons régionales. Une nouvelle méthode plus souple de traitement des données du GPS a été élaborée, qui est adaptée au traitement local des données des laboratoires correspondants. Le BIPM publie maintenant la différence entre les échelles de temps UTC-GPS et les écarts de synchronisation des satellites individuels. Le premier volume de la série des Rapports annuels de la section du temps du BIPM a été publié en juin 1989.

M. Witt, chef de la section d'électricité, expose les travaux de sa section : les améliorations apportées à l'étalon fondé sur l'effet Josephson avec un réseau de jonctions de 1 volt (présenté par M. Reymann), le nouveau comparateur de tension pour le transfert de 1,018 V à 10 V, les améliorations apportées à la mise en œuvre de l'effet Hall quantique à l'aide d'un voltmètre à SQUID et d'un comparateur de courant cryogénique (présentées par M. Delahaye), le nouveau pont automatique pour la comparaison internationale d'étalons de résistance de 1 Ω et de 10 Ω qui doit avoir lieu en 1990 et le changement de la valeur des étalons de référence de force électromotrice et de résistance du BIPM. Il présente aussi les résultats, très satisfaisants, d'une enquête sur la façon dont les laboratoires nationaux ont l'intention d'appliquer les changements des représentations des unités électriques et l'EIT-90.

M. Köhler présente les progrès des travaux entrepris depuis 1988 dans la section de radiométrie-photométrie sur l'étude des photodiodes au silicium (par exemple, étude du facteur de réflexion et du rendement quantique des photodiodes et de l'uniformité de la sensibilité des récepteurs) et décrit le dispositif expérimental.

M. Müller, chef de la section des rayonnements ionisants, présente une brève introduction sur le travail réalisé qui est exposé par les physiciens de la section : dosimétrie des rayons X et γ et, en particulier, comparaisons internationales de kerma dans l'air et mesure de la dose absorbée dans l'eau (Mme Boutillon) ; explication de la dispersion des résultats observée avec les chambres en magnésium au cours de la récente comparaison de dosimétrie neutronique, dispersion due, par effet Jesse, aux tuyaux à gaz employés (M. Huynh) ; état actuel de la comparaison d'activité du ^{75}Se et extension prévue du SIR (M. Ratel) ; nouvelle méthode pour déterminer le taux de comptage des coïncidences réelles sans les mesurer effectivement (M. Müller).

Au nom du CIPM, le président remercie M. Quinn et le personnel du BIPM pour la présentation intéressante de leur travail. Il remarque qu'il y a eu peu de discussions, non par manque d'intérêt de la part des membres du CIPM, mais parce que ce travail a déjà fait l'objet de discussions avec les spécialistes de chaque domaine. Il rend hommage au travail que M. Allisy a réalisé dans la section des rayonnements ionisants et regrette que celui-ci n'ait pas pu être présent ; il espère avoir l'occasion de le voir et de discuter avec lui dans l'avenir.

6. Troisième vérification des prototypes nationaux du kilogramme

Les conséquences de l'augmentation d'environ $1 \mu\text{g}$ par mois de la masse du prototype international du kilogramme, \mathfrak{K} , dans les mois qui suivent le nettoyage et le lavage, sont discutées en présence de M. Girard. M. Quinn explique que deux décisions doivent être prises avant de poursuivre la troisième vérification : la première concerne le prototype international et la seconde les prototypes nationaux.

En ce qui concerne le prototype international, la définition de 1889 ne précise pas l'état de propreté du prototype (bien qu'il ait été lavé en 1889, voir ci-dessous) et, en tout cas, elle ne prend pas en compte la possibilité que la masse de ce prototype varie après lavage. M. Quinn propose d'interpréter la définition de 1889 comme se référant à la masse du prototype international juste après le nettoyage-lavage, en utilisant la méthode du BIPM et en déterminant cette masse par extrapolation. Après une longue discussion, le Comité adopte cette interprétation pour la troisième vérification, mais précise qu'il ne s'agit en aucune façon d'une redéfinition du kilogramme.

Le problème des prototypes nationaux est différent. Considérant le changement relativement rapide de la masse des prototypes en platine iridié dans les mois qui suivent le nettoyage-lavage, on pourrait être d'avis qu'il vaut mieux éviter de nettoyer et de laver les prototypes nationaux qui sont envoyés au BIPM pour participer à la troisième vérification. Toutefois, M. Quinn pense qu'on n'aurait ainsi aucune idée de la stabilité d'un prototype qui n'aurait pas été nettoyé ni lavé, en particulier si de nombreuses années se sont écoulées depuis le dernier nettoyage-lavage. De plus, il ajoute que, pour la première fois, les prototypes nationaux seront comparés à l'aide d'une balance permettant d'obtenir un écart-type d'environ $1 \mu\text{g}$. Il serait souhaitable que la valeur attribuée à la masse de chaque prototype national puisse être déterminée avec cette exactitude.

De nombreuses discussions s'ensuivent, non seulement sur la question de savoir si l'on doit ou non nettoyer les prototypes nationaux, mais encore sur le problème plus vaste du manque de compréhension des phénomènes responsables des petites variations de masse ainsi observées. Pour conclure, M. Quinn suggère qu'il serait préférable, dans l'état actuel des connaissances, de continuer comme par le passé à nettoyer et laver les prototypes — tout au moins pour la troisième vérification — jusqu'à ce que cette question ait pu être étudiée plus en détail. Bien que cette proposition rencontre l'agrément des membres du Comité, il est jugé préférable, avant toute décision, de consulter le groupe de travail du CCM sur les étalons de masse. M. Quinn est prié d'organiser

une réunion de ce groupe de travail le plus tôt possible*. Compte tenu de l'avis du groupe de travail, M. Bray, président du CCM, et M. Quinn décideront de la conduite à tenir.

M. Giacomo rappelle au Comité que la procédure de nettoyage-lavage des kilogrammes prototypes était déjà utilisée de façon systématique dans les années 1880 lors de l'étalonnage des prototypes nationaux. Elle est décrite par Max Thiesen dans l'article « Kilogrammes prototypes — Première partie — Comparaisons des prototypes nationaux du kilogramme entre eux », *Travaux et Mémoires du BIPM*, Vol. VIII, 1893, pp. 6 et 7, et dans « Kilogrammes prototypes — Troisième partie — Compensation des comparaisons et discussion des résultats : Recherches sur la constance des prototypes du kilogramme », *Travaux et Mémoires du BIPM*, Vol. IX, 1898, p. 36.

En ce qui concerne le travail à plus long terme, le Comité est d'avis que des recherches soient entreprises au BIPM et, si possible, dans les laboratoires nationaux, pour améliorer notre connaissance du comportement des prototypes en platine iridié, recherches qui devraient faire appel à toutes les techniques modernes appropriées.

7. Proposition pour la rénovation du Caveau des prototypes

Des infiltrations d'eau détériorent depuis plusieurs années les murs et le sol du Caveau inférieur à tel point qu'il n'est plus possible d'y conserver le prototype international du kilogramme. Après avoir consulté l'architecte du BIPM, la conclusion est qu'il faudrait effectuer des travaux beaucoup trop importants pour remettre ce local en état. Il est donc proposé d'abandonner le Caveau inférieur et de réaménager le Caveau supérieur pour recevoir le prototype international et ses témoins à la fin de la troisième vérification. Considérant les perturbations inévitables qu'apporteront les travaux nécessaires dans le Caveau supérieur, M. Quinn préférerait, avec l'accord du Comité, reporter le commencement de ces travaux, dont la durée pourrait être de six mois environ, après l'achèvement de la troisième vérification. Le Comité donne son accord et décide de laisser à M. Quinn le choix de la date. Le Comité note que les trois clés mentionnées à l'article 18 (1921) du Règlement annexé à la Convention du Mètre, deviendraient les trois clés du nouveau coffre à placer dans le Caveau supérieur ; la nouvelle porte du Caveau supérieur serait du type « salle de coffre » et le directeur

* Note ajoutée le 14 novembre 1989 : la réunion a eu lieu les 2 et 3 novembre 1989. La conclusion est la suivante : il convient d'appliquer la procédure actuelle de nettoyage-lavage aux prototypes nationaux participant à la troisième vérification.

pourrait y avoir accès en présence d'un membre du Comité. L'ancien prototype international du mètre et certains des étalons de travail du kilogramme seraient conservés dans le Caveau supérieur réaménagé, dans le coffre qui se trouve actuellement au fond du Caveau et qui ne serait pas changé.

8. Questions financières et administratives

Le président accueille Mlle Perent, nouvel administrateur du BIPM. Il présente le « Rapport annuel aux Gouvernements des hautes parties contractantes sur la situation administrative et financière du Bureau international des poids et mesures en 1988 » et le rapport de l'expert comptable pour 1988. Ces rapports sont approuvés à l'unanimité et quitus est donné au directeur et à l'administrateur.

Le président présente ensuite le rapport provisoire pour l'exercice 1989 et deux projets de budget pour 1990.

M. Quinn attire l'attention des membres sur le versement des contributions par les États membres, versement dont le montant prévu pour 1989 est estimé à 6 % au-dessous de la dotation votée par la 18^e Conférence générale. Bien que cela entraîne un déficit budgétaire pour 1989, il espère que ces arriérés seront payés en 1990. En moyenne depuis 1980, 98 % des contributions ont été versées, avec des fluctuations qui peuvent atteindre 6 % certaines années. Comme convenu en 1988, le BIPM s'est efforcé d'économiser environ 500 000 francs-or sur le budget de 1989, montant que le Comité l'avait autorisé à prélever sur les réserves en 1988, sous forme d'avance, pour couvrir les dépenses d'achèvement du Nouveau Pavillon.

Commentant le détail des prévisions de dépenses pour 1989, M. Quinn mentionne le dépassement du poste « mobilier », dépassement lié à l'installation du Nouveau Pavillon, et dit qu'un contrôle très strict a été maintenu sur les dépenses de laboratoire, qui sont moins élevées que prévu. En 1990, le Bureau tentera d'équilibrer dépenses et recettes, mais cela risque d'être difficile si les contributions des États sont inférieures aux prévisions. Une des dépenses importantes prévues en 1990 est l'achat d'un tour à commande numérique pour l'atelier. L'achat en 1988 d'une fraiseuse à commande numérique a été un grand succès et l'achat d'un tour du même type complétera l'installation.

Le CIPM discute ensuite de l'augmentation de la contribution du personnel à la Caisse de retraites, qui passerait de 5 % à 9 % du salaire, comme cela a été proposé dans le Rapport sur les activités du bureau du Comité au point 3 de l'ordre du jour. On a proposé que cette cotisation supplémentaire soit liée à une augmentation uniforme

de 4,5 % des salaires, pour que l'incidence sur les revenus réels soit négligeable. Un actuaire l'a préconisé il y a quelques années, il semble inévitable d'augmenter les fonds de la Caisse de retraites. On constate aussi que, dans les Organisations coordonnées, les salaires ont augmenté un peu plus vite qu'au BIPM au cours des deux dernières années ; or il est souhaitable que les salaires se maintiennent au même niveau au BIPM pour permettre de recruter du personnel de haut niveau.

Certains membres demandent quelle serait l'incidence de cette mesure sur le budget global. M. Quinn souligne que deux projets de budget pour 1990 sont soumis à l'attention du Comité. Le premier ne prévoit aucune augmentation des salaires, alors que le second tient compte de l'augmentation proposée de 4,5 %. Dans le second, l'augmentation des salaires est compensée par des réductions modestes faites sur d'autres chapitres budgétaires. M. Quinn remarque, toutefois, que l'augmentation proposée porte les dépenses salariales proprement dites à 49 % du budget et que les charges annexes (allocations, sécurité sociale, Caisse de retraites) s'élèvent à 21 %, soit au total 70 % du budget, ce qui est à peu près le maximum à ne pas dépasser. Le financement de la Caisse de retraites constitue une lourde charge qui ne peut qu'augmenter à l'avenir. En réponse à une question, le secrétaire précise qu'il n'est pas prévu de répercuter cette augmentation des salaires sur le montant de la dotation qui sera demandée à la 19^e Conférence générale.

L'augmentation de 5 % à 9 % de la contribution salariale à la Caisse de retraites est acceptée, ainsi que l'augmentation de 4,5 % des salaires qui l'accompagne. Les membres pensent que, puisque cette augmentation des salaires n'entraînera pratiquement aucune augmentation des revenus des actifs, une augmentation du revenu des retraités serait injustifiée. M. Quinn dit que, tout en acceptant cet argument, il souhaite attirer l'attention des membres du CIPM sur le fait que la Commission des salaires estime qu'il convient de répercuter l'augmentation de 4,5 % aux retraités, conformément au Statut du personnel. M. de Boer répond que l'article applicable du Statut ne prévoit pas une telle augmentation automatique et que les retraités bénéficient des augmentations régulières consécutives à l'augmentation du coût de la vie selon l'indice du BIPM. Le Comité décide que, dans les circonstances actuelles, les retraités du BIPM ne devraient pas recevoir l'augmentation de 4,5 % attribuée aux actifs.

Les quelques changements mineurs au Règlement de la Caisse de retraites (décès d'un membre du personnel divorcé ayant des enfants à charge) proposés par le bureau du Comité, en accord avec la Commission du Statut du personnel, sont approuvés.

Le projet de budget pour 1990, avec une augmentation de 4,5 % des salaires, est approuvé.

BUDGET POUR 1990

RECETTES

francs-or

Recettes budgétaires :	
1. Contributions des États	18 858 000
2. Intérêts des fonds	<u>828 000</u>
Total	<u><u>19 686 000</u></u>

DÉPENSES

A. Dépenses de personnel :

1. Traitements	9 605 000	} 13 863 000
2. Allocations familiales	1 642 000	
3. Sécurité sociale	983 000	
4. Assurance-accidents	96 000	
5. Caisse de retraites	1 537 000	

B. Dépenses de fonctionnement :

1. Mobilier	50 000	} 2 697 000
2. Laboratoires et ateliers	930 000	
3. Chauffage, eau, énergie électrique	450 000	
4. Assurances	50 000	
5. Impressions et publications	155 000	
6. Frais de bureau	340 000	
7. Voyages et transports d'appareils	340 000	
8. Entretien courant	310 000	
9. Bureau du Comité	72 000	

C. Dépenses d'investissement :

1. Laboratoires	1 800 000	} 2 212 000
2. Atelier de mécanique	212 000	
3. Bibliothèque	200 000	

D. Bâtiments (gros travaux d'entretien et de rénovation). 740 000

E. Frais divers et imprévus 174 000

Total 19 686 000

Le projet de budget pour 1990 est adopté par le CIPM.

9. Metrologia

Le président informe les membres du CIPM que M. D. A. Blackburn remplacera M. R. P. Hudson en qualité de rédacteur de *Metrologia* en octobre 1989, après le départ en retraite de celui-ci. Le Comité confirme l'engagement de M. Blackburn au grade 11.

À partir des informations données dans le Rapport du bureau du Comité (point 3 de l'ordre du jour), le CIPM discute de l'avenir de *Metrologia* ; des suggestions sont faites pour augmenter le nombre de lecteurs, par exemple publier des articles d'intérêt général sur les services d'étalonnage de haut niveau, la métrologie légale et l'accréditation de laboratoires. Parmi ces propositions, l'une des plus importantes est de prendre un premier contact avec Springer-Verlag afin d'envisager un changement pour l'avenir à long terme de *Metrologia*, voire la possibilité pour le BIPM de se charger de sa publication et de racheter le titre.

Une possibilité de collaboration avec l'OIML et l'ILAC a été envisagée, mais il semble que l'OIML n'accepte cette collaboration qu'à la condition d'être pour 50 % responsable du journal, et le bureau n'est pas favorable à une participation aussi forte de l'OIML. Le Comité partage les vues du bureau. Il semble que l'ILAC, en revanche, accepterait une participation à *Metrologia* sur une base plus modeste.

M. Plebanski insiste fortement pour conserver au mot métrologie sa signification propre de discipline scientifique, distincte des questions d'essai et d'accréditation, et il est opposé à une association avec une institution telle que l'ILAC. Il est d'avis qu'il vaut mieux être prudent en invitant d'autres organisations à participer à ce journal. M. Blevin est en faveur d'une action progressive pour étendre les domaines d'intérêt de *Metrologia*.

M. Dean dit que le monde évolue et que la publication d'articles sur des problèmes d'essais et d'accréditation serait susceptible de favoriser l'augmentation du nombre d'abonnés à *Metrologia*, ce qui serait bénéfique à tous. L'ILAC est intéressé par une participation à *Metrologia* — sous forme de publication d'articles d'intérêt général ou de collaboration avec le comité de rédaction — et aimerait connaître le point de vue du CIPM à ce stade du projet.

Le secrétaire propose d'assumer l'entière responsabilité de *Metrologia* et de racheter le titre à Springer-Verlag, puis, comme l'a suggéré M. Blevin, de poursuivre en un premier temps la politique éditoriale actuelle du journal et d'augmenter ensuite progressivement le nombre d'articles traitant de sujets plus généraux, en prenant toujours soin de maintenir le niveau scientifique élevé du journal. Cette façon de procéder reçoit l'agrément du Comité. Après discussion, le Comité décide que,

si les négociations avec Springer-Verlag étaient concluantes, le journal porterait le titre :

« Metrologia, the international journal
of pure and applied metrology »
published by the BIPM.

Le journal continuerait à paraître quatre fois par an. Il devrait, pour commencer, comprendre, à la fin de chaque numéro, sous le titre « Applied metrology », un nombre petit mais croissant d'articles traitant de problèmes d'étalonnage et d'accréditation de laboratoires et des nouvelles d'organisations concernées par ces sujets. Il pourrait être envisagé d'élargir le comité de rédaction à d'autres membres pour s'assurer de la qualité des articles publiés dans ces nouveaux domaines.

10. Questions diverses

10.1. Changements dans la composition du CIPM

Le président informe le Comité que M. Mitra a donné sa démission du CIPM et que celle-ci est effective à la fin de la présente session. Le successeur de M. Mitra au NPL de New Delhi est M. K. Joshi, spécialiste de la physique de l'état solide.

M. Ambler n'est plus directeur du NIST depuis mars 1989. Toutefois, à la demande du bureau du comité, il n'a pas encore donné sa démission du CIPM.

M. Dean quittera la direction du NPL à la fin du mois de mars 1990 et il a écrit au président du CIPM pour donner sa démission à cette date. Toutefois, à la demande du bureau du Comité, il a accepté de rester membre du CIPM jusqu'à la fin de la session de 1990.

10.2. Nouveau secrétaire du CIPM

M. de Boer informe le CIPM qu'il a décidé de se démettre de sa charge de secrétaire. Il pense qu'il a été secrétaire très longtemps, de 1962 à 1989, et il estime qu'il convient pour lui de céder la place à quelqu'un de plus jeune. C'est à son avis maintenant le moment de faire cette démarche, entre deux Conférences générales. Il souhaite rester membre du CIPM et président du CCU.

En acceptant sa démission, le président remercie M. de Boer pour l'activité remarquable qu'il a déployée comme secrétaire, tant auprès du CIPM que du BIPM. Tous les membres du CIPM s'associent chaleureusement à cet hommage. Toutefois, la vie poursuit son cours et le président propose M. Jean Kovalevsky en remplacement de M. de

Boer, à compter du 1^{er} janvier 1990. M. Kovalevsky s'étant retiré, sa candidature est discutée et reçoit le soutien unanime de tous les membres. Invité à rejoindre l'assistance, il se dit prêt à accepter cette nomination. À la suite du vote à bulletins secrets il est élu avec une abstention et sans vote contraire. Il remercie ses collègues pour la confiance qu'ils placent en lui.

Lors d'une réception organisée dans la soirée en son honneur, M. de Boer se voit offrir un vase de Sèvres comme marque de la reconnaissance du CIPM et du BIPM pour sa contribution exceptionnelle, durant de nombreuses années, à la vie de tous les organes de la Convention du Mètre.

10.3. Préparation de la 19^e Conférence générale

Les dates proposées par le bureau du Comité pour la 19^e Conférence générale ont reçu l'approbation des autorités françaises. La Conférence générale se tiendra du lundi 30 septembre au vendredi 4 octobre 1991.

La Convocation de la 19^e Conférence générale doit être envoyée aux États membres à la fin du mois de décembre 1990. Le texte doit donc en être approuvé par le Comité à sa prochaine session, en septembre 1990. Un projet sera préparé au printemps de 1990 par le bureau du Comité. Le président ouvre la discussion sur le contenu de cette Convocation. Il est admis qu'en plus de l'augmentation annuelle supérieure de 2 % à 3 % à l'inflation prévue, une augmentation unique, d'environ 3 %, sera demandée pour faire face à la charge supplémentaire de travail attendue de la section du temps. Toutefois, la plupart des membres pensent que les Gouvernements donneront à leur délégation des instructions strictes pour réduire le plus possible leurs dépenses.

10.4. Prochaines sessions du CIPM

Le CIPM décide que les dates des deux prochaines sessions du CIPM seront les suivantes :

25-27 septembre 1990

25-27 septembre 1991.

Le président du CIPM clôt la 78^e session du CIPM, remerciant tous les participants de leur contribution à cette réunion.

**Recommandations
adoptées
par le Comité international des poids et mesures**

Synchronisation des UTC (k) avec UTC

RECOMMANDATION 1 (CI-1989)

Le Comité international des poids et mesures,
considérant

— que certains laboratoires fournissent au Bureau international des poids et mesures (BIPM) des valeurs de UTC (k) qui présentent des différences significatives avec UTC,

— que le fait que les centres horaires soient en bon accord avec UTC facilite les opérations dans de nombreux programmes en astronomie, géodésie, navigation et télécommunications,

recommande

— que les laboratoires, en consultation avec le BIPM, utilisent des méthodes appropriées pour réduire à quelques microsecondes les écarts pouvant exister entre UTC (k) et UTC sans toutefois effectuer d'ajustement en fréquence sur les horloges contribuant au Temps atomique international (TAI).

Amélioration de l'exactitude en fréquence des étalons primaires

RECOMMANDATION 2 (CI-1989)

Le Comité international des poids et mesures,
considérant

— la nécessité d'améliorer l'exactitude de l'intervalle unitaire de l'échelle du Temps atomique international (TAI),

— le petit nombre d'étalons primaires à césium qui contribuent effectivement au TAI,

recommande

— la construction de nouveaux étalons primaires à césium,

— l'amélioration de l'exactitude en fréquence des étalons primaires existants,

— l'étude des différences systématiques de fréquence qui existent entre eux.

Coordonnées de référence des antennes

RECOMMANDATION 3 (CI-1989)

Le Comité international des poids et mesures (CIPM),

considérant que l'utilisation de coordonnées incohérentes pour les antennes est une importante source d'erreurs dans les comparaisons de temps par satellites utilisant les méthodes unidirectionnelles,

recommande que, dans chaque site, pour de telles comparaisons employées pour le Temps atomique international (TAI) :

— les coordonnées de référence de l'antenne correspondent à sa position réelle dans le repère de référence terrestre du Service international de la rotation terrestre (IERS),

— les coordonnées de référence et les coordonnées opérationnelles utilisées dans le récepteur soient communiquées au Bureau international des poids et mesures (BIPM) et aux laboratoires coopérants,

— ni les coordonnées opérationnelles, ni l'emplacement de l'antenne ne soient modifiés sans raison impérative,

— si une telle modification apparaît cependant nécessaire, les données suffisantes pour maintenir l'exactitude des comparaisons horaires soient communiquées au BIPM et aux laboratoires coopérants.

Le CIPM *recommande également* que des méthodes de positionnement relatif soient employées pour relier les antennes aux stations de l'IERS, en consultation avec le BIPM.

Installation d'horloges au BIPM

RECOMMANDATION 4 (CI-1989)

Le Comité international des poids et mesures,

considérant

— qu'il est important de maintenir au Bureau international des poids et mesures (BIPM) un haut niveau de compétence dans la coordination des comparaisons de temps qui sont à la base du calcul du Temps atomique international (TAI),

— qu'une expertise de la pratique des comparaisons de temps au BIPM est d'ores et déjà souhaitable et deviendra indispensable dans l'avenir,

— que les compétences déjà acquises l'ont été grâce aux installations généreusement mises à sa disposition par l'Observatoire de Paris,

décide que le BIPM étudiera les mesures qu'il faudrait prendre pour disposer sur place d'une ou plusieurs horloges ainsi que de l'équipement nécessaire pour faire des comparaisons de temps, et

invite, par suite du coût élevé de ces équipements, les laboratoires membres du Comité consultatif pour la définition de la seconde (CCDS) à examiner la possibilité de prêter un tel matériel au BIPM.

Échelle internationale de température de 1990

RECOMMANDATION 5 (CI-1989)

Le Comité international des poids et mesures (CIPM), conformément à l'invitation formulée par la 18^e Conférence générale des poids et mesures en 1987 (Résolution 7), a adopté l'Échelle internationale de température de 1990 (EIT-90) en remplacement de l'Échelle internationale pratique de température de 1968 (EIPT-68).

Le CIPM *souligne* que, par rapport à l'EIPT-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 CIPM *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 (BIPM) et remis à jour périodiquement.

Le CIPM *recommande*

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

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

RAPPORT DU DIRECTEUR
SUR L'ACTIVITÉ ET LA GESTION
DU BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
(octobre 1988 — septembre 1989)

I. — PERSONNEL

Nominations

J.-M. CHARTIER, métrologue principal, a été nommé physicien chercheur principal.

Mme M. BOUTILLON, physicienne, a été nommée adjointe avec le grade de physicienne principale.

D. REYMANN, physicien, a été nommé adjoint avec le grade de physicien principal.

B. BODSON, mécanicien principal, a été nommé technicien principal.

A. MONTBRUN, précédemment gardien, est devenu mécanicien.

Toutes ces nominations ont pris effet le 1^{er} janvier 1989 ; celles des deux nouveaux adjoints résultent d'un vote du CIPM au cours de sa session d'octobre 1988.

Engagements

Brigitte PERENT, née le 23 août 1955 à Paris, auparavant directeur financier dans une société privée, a été nommée administrateur à dater du 1^{er} octobre 1988.

Angela et Enrique DOMINGUEZ, nés respectivement le 29 juin 1963 à Braya (Portugal) et le 8 mars 1962 à Vigo (Espagne), ont été nommés gardiens à dater du 26 octobre 1988.

Isabel et Cesar NEVES DOS SANTOS, nés à Penacova (Portugal) respectivement le 10 décembre 1957 et le 19 décembre 1954, ont été nommés gardiens à dater du 14 novembre 1988.

Jacques LABOT, né le 3 juillet 1949 à Corbeil-Essonnes (Essonne), précédemment électronicien dans une société privée, a été engagé comme technicien principal à dater du 1^{er} janvier 1989 dans la section des lasers.

Carlos DIAS NUNES, né le 23 octobre 1956 à Borgas de Baixo (Portugal), a été engagé comme aide-jardinier contractuel à dater du 1^{er} mars 1989.

Roland GOEBEL, né le 20 décembre 1951 au Creusot (Saône-et-Loire), précédemment physicien en électronique à l'INM à Paris, a été engagé comme technicien principal dans la section de radiométrie à dater du 1^{er} mai 1989.

Départs

Mme M. MONTBRUN, gardienne depuis le 1^{er} décembre 1967, a pris sa retraite le 1^{er} novembre 1988.

Mme M. DE CARVALHO, gardienne depuis le 1^{er} janvier 1987, a démissionné de ses fonctions au BIPM le 10 novembre 1988.

J. GAILLARD, administrateur, a pris sa retraite le 31 janvier 1989 après quinze ans de services efficaces et dévoués.

B. PICAUD, aide-jardinier contractuel depuis le 1^{er} juillet 1987, a quitté le BIPM le 16 mars 1989.

A. ALLISY, chef de la section des rayonnements ionisants, a pris sa retraite le 1^{er} avril 1989 après vingt-huit ans d'activité ; son action dévouée et ses travaux remarquables ont beaucoup contribué à accroître la réputation du BIPM.

C. C. SPEAKE, physicien à la section des masses, a quitté le BIPM le 30 septembre 1989 après cinq ans de services pour occuper un poste à l'Université de Birmingham (School of Physics and Space Science), (Royaume-Uni).

Chercheurs associés

A. SATRAPINSKI, chercheur associé, en activité dans la section d'électricité depuis le 11 juin 1986, a quitté le BIPM le 31 décembre 1988 à la fin de son contrat.

II. — BÂTIMENTS

Observatoire

Réfection de l'installation électrique du laboratoire de gravimétrie et de la salle des ordinateurs de la section du temps.

Remise en état d'un bureau du premier étage.

Poursuite des travaux de réparation de la toiture.

Installation d'un petit atelier pour l'entretien des appareils de conditionnement d'air.

Grand Pavillon

Remise en état des quatre bureaux du rez-de-chaussée.

Agrandissement de la cantine du personnel au sous-sol.

Installation d'un vestiaire pour le personnel d'entretien.

Nouveau Pavillon

Achèvement de l'installation et de la décoration du bâtiment.

Bâtiment des rayonnements ionisants

Remise en état d'un bureau.

Jardins et dépendances

Fin du remplacement des arbres d'alignement de l'allée du Mail.

Aménagement des abords du Nouveau Pavillon.

Remplacement de deux portails.

Construction d'un petit abri pour le matériel de jardinage, avec un vestiaire pour les jardiniers.

III. — INSTRUMENTS ET TRAVAUX

Remarques générales

Le 28 septembre 1889, lors de la première CGPM, on a officiellement déposé les nouveaux prototypes internationaux du mètre et du kilogramme dans le Caveau du Pavillon de Breteuil. Depuis lors, ces prototypes n'ont pas été déplacés, sauf dans les rares occasions où ils ont été utilisés pour la vérification des prototypes nationaux. Le prototype international du kilogramme, appelé \mathfrak{K} , a été sorti en 1939 et, de nouveau en 1946, pour la deuxième vérification ; il est une fois encore en ce moment utilisé pour la troisième vérification.

À titre préparatoire, des comparaisons sont en cours entre \mathfrak{K} , ses six témoins officiels et un petit nombre d'étalons de travail appartenant au BIPM. Les mesures sont faites à l'aide de la balance NBS-2. C'est la première fois que \mathfrak{K} et ses témoins sont utilisés avec une balance dont la fidélité est égale à $1 \mu\text{g}$ ou mieux et, de ce fait, l'interprétation des résultats n'est pas aussi simple que par le passé. On constate, en effet, que la masse du prototype international, comme celle des autres étalons en platine iridié que nous avons étudiés, augmente dans les mois qui suivent le nettoyage-lavage, d'un peu plus de $1 \mu\text{g}$ par mois. Or, la définition du kilogramme adoptée en 1889 ne nous dit pas comment résoudre le problème qui se trouve ainsi posé. Les résultats que nous avons obtenus jusqu'à maintenant ne sont que préliminaires, mais au moment de la réunion du CIPM nous espérons être mieux à même de donner une description de ce que nous avons observé et de faire une proposition pour interpréter la définition du kilogramme telle qu'elle a été donnée en 1889.

Les travaux qui ont été faits cette année dans la section des longueurs ont porté essentiellement sur des comparaisons internationales de

longueurs d'onde ou de fréquences de lasers, en particulier celles avec le laser asservi sur l'absorption saturée du méthane au voisinage de $3,39 \mu\text{m}$. Cette radiation prend une importance de plus en plus grande dans la chaîne entre les différents domaines de longueurs d'onde ou de fréquences, en particulier entre le proche infrarouge et le visible. De plus, un pas important a été fait vers une extension possible de la liste des valeurs recommandées pour la mise en pratique de la définition du mètre. Pour la première fois, on a asservi deux lasers à He-Ne à $\lambda = 543 \text{ nm}$ en utilisant la technique d'absorption saturée en cuve externe.

Dans la section du temps, le TAI et l'UTC ont continué à être établis et disséminés dans le monde entier. On a obtenu de bons résultats en utilisant un nouveau récepteur GPS à double fréquence, qui a été construit au BIPM par un stagiaire japonais et qui permet de résoudre la plupart des problèmes liés aux retards ionosphériques. Il semble que le GPS joue un rôle de plus en plus important dans les transferts de temps. Au cours des premiers mois de cette année, près de 90 % des comparaisons de temps que l'on utilise pour établir le TAI passaient par le GPS. Les études faites au BIPM en utilisant les éphémérides les plus précises des satellites du GPS, fournies par le US National Geodetic Survey, ont montré que l'on peut effectuer des transferts de temps encore plus exacts.

En plus du travail considérable résultant des importantes décisions prises l'an dernier par le CCE et le CIPM pour la représentation des unités électriques, la section d'électricité a poursuivi ses travaux de réalisation de l'effet Hall quantique et de l'effet Josephson. En utilisant des réseaux de jonctions Josephson de 1 volt, des comparaisons très précises ont été faites avec notre installation Josephson à jonction unique ; de même, en utilisant un nouveau comparateur de courant cryogénique avec un détecteur SQUID, de nouvelles mesures ont été faites de la résistance de Hall quantifiée. Dans ces deux domaines l'exactitude avec laquelle nous pouvons maintenant faire des mesures est à la frontière de ce qui est actuellement possible. On poursuit aussi les recherches sur l'effet Josephson en comparant les résultats obtenus avec des jonctions en matériaux supraconducteurs à température élevée à ceux obtenus avec des jonctions métalliques.

L'installation dans de bonnes conditions du laboratoire de radiométrie, commencée il y a deux ans, se poursuit. Nous avons étudié le comportement de photodiodes au silicium et sommes parvenus à une bonne compréhension de la plupart des problèmes liés à leur auto-étalonnage et à leur emploi. On a commencé à faire des comparaisons entre des diodes auto-étalonnées du BIPM et les échelles radiométriques de l'INM et du NPL. Par ailleurs, le problème de la fourniture de lampes étalons photométriques (et pyrométriques) dans les années à venir nous préoccupe, tout comme il préoccupe les responsables de cette question dans les laboratoires nationaux.

Dans le domaine des rayonnements ionisants, le groupe de dosimétrie a effectué plusieurs études pour établir les caractéristiques du faisceau de la nouvelle source de ^{60}Co . On a commencé à faire avec cette source des mesures de la dose absorbée dans l'eau. L'évaluation de certaines corrections supplémentaires à apporter à la détermination de la dose absorbée dans le graphite a conduit à revoir les résultats des comparaisons précédentes. La comparaison internationale de kerma de neutrons, organisée par le BIPM, est en cours. En ce qui concerne les mesures de radioactivité, de gros efforts ont été consacrés à préparer le rapport final de l'excellente comparaison de ^{125}I faite avec 19 laboratoires. On prépare actuellement une comparaison d'essai de ^{75}Se qui doit commencer en juin 1989. Le Système international de référence (SIR) continue de bien fonctionner et des discussions sont en cours sur les différentes possibilités de l'étendre. En ce qui concerne les statistiques de comptage, plusieurs problèmes ont été résolus, tandis que les recherches à long terme sur les arrangements de séries de deux temps morts de type généralisé continuent. La solution de ce problème devrait conduire à des résultats pratiques utiles.

Dans le domaine de la thermométrie, certains membres du personnel du BIPM ont apporté une contribution non négligeable à l'intense activité des groupes de travail du CCT en vue de la préparation du texte final de l'EIT-90.

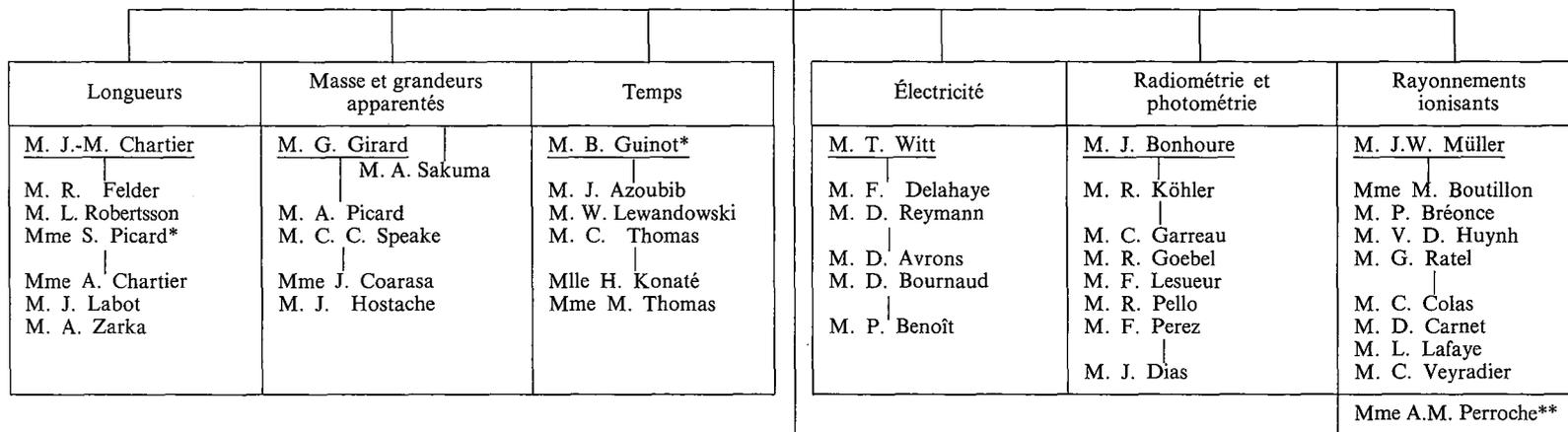
Le Nouveau Pavillon et ses abords sont maintenant achevés. Le bâtiment a été occupé peu après son inauguration qui s'est faite lors de la précédente session du CIPM. Ses installations donnent entière satisfaction. Par ailleurs, on est sur le point de prendre une décision pour remplacer le système de traitement de textes du secrétariat. Un certain nombre de solutions ont été envisagées ; aucune n'est pleinement satisfaisante, mais on pense en trouver une qui, d'une part réponde de façon raisonnable à nos besoins en ce qui concerne l'efficacité et la facilité d'utilisation par le secrétariat, d'autre part soit compatible avec les disquettes utilisées dans les micro-ordinateurs des laboratoires, enfin reste de prix accessible.

Conformément à la décision prise par le CIPM lors de sa session d'octobre 1988, ce rapport est présenté sous une forme modifiée, c'est-à-dire qu'il est plus court et moins détaillé tout en donnant les références complètes des travaux publiés. À la suite des présentes remarques générales, on trouvera, pour chaque section, un compte rendu quasiment complet de son activité, c'est-à-dire le rapport d'activité lui-même, la liste des publications, la liste des conférences et visites faites par les membres de la section concernée. Pour l'information des membres du CIPM, on trouvera à la page 32 un organigramme du BIPM, à la date du 1^{er} juin 1989, faisant apparaître les six sections scientifiques, ainsi que l'administration et les finances, le secrétariat et l'atelier, avec leur rattachement au directeur.

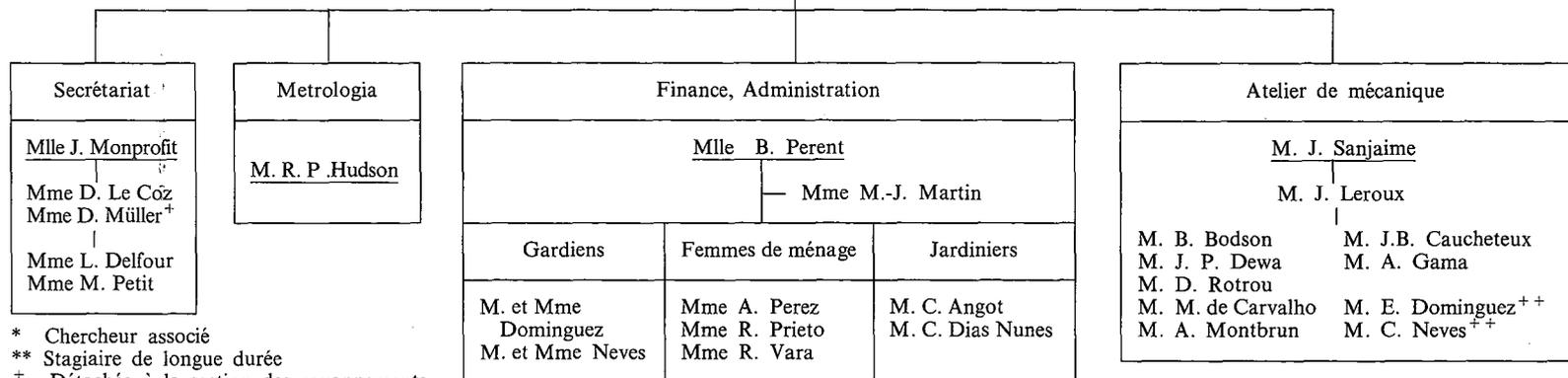
ORGANISATION DU BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

1^{er} juin 1989

Directeur
M. T. J. Quinn



Mme A.M. Perroche**



* Chercheur associé

** Stagiaire de longue durée

+ Détachée à la section des rayonnements ionisants

++ Également gardiens

Publications, conférences et voyages ne concernant pas une section particulière du BIPM

Publications

- QUINN, T.J. News from the BIPM. *Metrologia*, **26**, 1989, pp. 69-74.
QUINN, T. J. Precision Measurement and Advanced Technology. *Proc. IEEE*, **IM-38**, 1989, pp. 156-160.
QUINN, T. J. The Continuing Importance of Measurement Standards. *The Australian Physicist*, Vol. 26, N° 4, April 1989, pp. 89-93.
QUINN, T. J. L'évolution des mesures scientifiques et la recherche d'unités « naturelles ». *Science et Vie*, Hors Série N° 166, mars 1989, pp. 268-273.
QUINN, T. J. The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90). *Physica Scripta*, **41**, 1990, pp. 730-732.
HUDSON, R. P. Thermometry. *Encyclopedia of Physics* (VCH Publishers, Inc., New York) (sous presse).

Conférences

T. J. Quinn :

- The Continuing Importance of Measurement Standards. CSIRO National Measurement Laboratory, 50th Anniversary Meeting, Sydney, 2 novembre 1988.
- The International Temperature Scale of 1990, an Improved Temperature Scale. PTB Berlin, 9 février 1989.
- The Development of the NPL Cryogenic Radiometer. American Physical Society Spring Meeting, St. Louis, 21 mars 1989.
- A Radiometric Measurement of the Stefan-Boltzmann Constant and Thermodynamic Temperature. University of Colorado, Boulder, 2 mars 1989.
- The International Temperature Scale of 1990 in Highlights in Metrology, Borås, Suède, 19 mai 1989.

Congrès, réunions de commissions diverses, visites de laboratoires n'ayant pas donné lieu à un exposé

T. J. Quinn :

- Conférence générale de l'OIML, Sydney (Australie), 24-28 octobre 1988.
- IMGc, Turin (Italie), Conseil scientifique, 29 novembre 1988, 29 mai 1989.
- ASMw, Berlin (RDA), 10 février 1989.
- NIST, Boulder et Gaithersburg (É.-U. d'Amérique), 23-27 mars 1989.
- NPL, Teddington (Royaume-Uni), 3 avril 1989.
- Borås (Suède), EUROMET/WEMc, 17-19 mai 1989.

— Madrid (Espagne), inauguration du Centre espagnol de métrologie, 22 mai 1989.

— Moscou, Leningrad (URSS), visites au VNIIFTRI, au VNIIM, 16-24 juin 1989.

R. P. Hudson :

— APS Spring Meeting, St. Louis, 20-22 mars 1989 ; visite au NIST, Gaithersburg (É.-U. d'Amérique), 1^{er} avril 1989.

1. Longueurs (J.-M. Chartier)

1.1. Mesures de longueur classiques et interférométrie (L. Robertsson)

Cette année, l'activité dans le domaine des longueurs a été très faible. Aucune demande de mesure de longueur n'a été formulée par des laboratoires extérieurs ; nous en avons profité pour apporter des transformations importantes au système de climatisation de la salle 2 et pour maintenir les instruments dans de bonnes conditions de fonctionnement.

À la salle 14, l'installation permettant de faire le vide dans le caisson contenant l'interféromètre de Michelson a été démontée, nettoyée et remontée pour assurer une bonne qualité de vide pour des mesures de longueurs d'onde programmées pour l'automne 1989.

Les défauts de planéité pour une règle divisée peuvent causer des erreurs dans la détermination de sa longueur. On espère que ces défauts sont inclus dans une fourchette de 10 à 50 μm . Une technique simple fournissant une représentation de la forme de la règle, si elle avait une résolution de l'ordre de 1 μm , serait un moyen précieux pour contrôler ces défauts. Un dispositif interférométrique pour déterminer ces déformations a été développé et testé sur une règle divisée de 300 mm de longueur [1.6]*. On obtient de nombreux avantages en utilisant une projection oblique de la surface à mesurer, plutôt que l'image habituelle donnée par l'incidence normale d'un faisceau laser.

1.2. Lasers

1.2.1. Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée de l'iode en cuve interne à $\lambda = 633 \text{ nm}$ (J.-M. Chartier)

Deux de nos lasers voyageurs (N^{os} 4 et 10) ont été contrôlés par rapport aux deux lasers de référence (N^{os} 2 et 3). Toutes les différences de fréquence mesurées étaient à l'intérieur de $\pm 5 \text{ kHz}$ ce qui correspond à une incertitude relative de $\pm 1 \times 10^{-11}$.

* Références numérotées qui sont présentées à la fin du rapport de chaque section.

En avril 1988, des comparaisons de lasers entre le BIPM et les deux laboratoires français INM et ETCA montrèrent des différences de fréquence significatives [1.3]. Une soigneuse vérification faite sur les lasers des laboratoires français nous permit d'identifier les origines de ces différences : une mauvaise définition de la température du queusot froid de la cuve à iode et un décalage de tension de l'un des intégrateurs dans un asservissement. Après avoir remédié à ces défauts une nouvelle comparaison de ces lasers avec ceux du BIPM fut effectuée, les différences de fréquence observées restèrent dans les limites de ± 5 kHz.

Dans la réalisation de la définition du mètre, quatorze tableaux d'intervalles de fréquence sont donnés **. En ce qui concerne les lasers à He-Ne à $\lambda = 633$ nm, nous confirmons, d'une part les valeurs adoptées pour les intervalles de fréquence :

$$\begin{aligned} & [f(a_{28}, {}^{129}\text{I}_2) - f(a_{13}, {}^{127}\text{I}_2)] \text{ et} \\ & [f(e_2, {}^{129}\text{I}_2) - f(a_{13}, {}^{127}\text{I}_2)] \end{aligned}$$

d'autre part, les valeurs incluses dans les tableaux 10, 11 et 14** ont été remesurées avec une estimation de l'incertitude améliorée par un facteur 10 ou plus.

Durant l'année, nous avons collaboré avec les laboratoires nationaux d'Afrique du Sud, de Belgique, Bulgarie, Suisse et Turquie pour la réalisation de leurs lasers de référence. De plus, nous avons rempli et vérifié trente cuves à iode. Nous continuons aussi, une ou deux fois par an, à organiser une commande groupée de tubes lasers construits par une compagnie japonaise. Cinquante laboratoires furent contactés à l'occasion de la dernière commande.

1.2.2. Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée de l'iode en cuve interne ou externe à $\lambda = 612$ nm (L. Robertsson)

La reconstruction des systèmes existants est en cours ; sur deux des quatre systèmes, on a pu enregistrer les composantes hyperfines du spectre. Aucune comparaison de fréquence n'a été encore effectuée.

1.2.3. Lasers à argon : Ar^+ à $\lambda = 502$ nm et à $\lambda = 515$ nm (S. Fredin-Picard, L. Robertsson)

Un système expérimental permanent a été réalisé, dans le but d'étudier le taux d'impuretés contenues dans les cuves à iode, en utilisant une méthode complémentaire à celle de la mesure de battements de fréquence de lasers asservis sur l'absorption saturée. Cette méthode consiste à déterminer la pente de la courbe qui représente l'inverse de

** Documents concerning the New Definition of the Metre, *Metrologia* 19, 1984, pp. 163-178.

l'intensité de la fluorescence induite dans la cuve à iode en fonction de l'inverse de la pression d'iode, on peut quantitativement déterminer la concentration de gaz étrangers [1.4, 1.7].

Le laser à argon ionisé de la PTB a été remis en service et contrôlé durant l'année 1988. La stabilité du système ne peut pas encore être déterminée, car c'est le seul laser à $\lambda = 515$ nm que nous possédons. Au printemps de cette année, les principes de travail et le montage de base d'un second système ont été définis. La caractéristique principale de ce système est l'utilisation d'un modulateur électro-optique intracavité qui fournira une stabilisation rapide de la fréquence du laser.

1.2.4. Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée du méthane en cuve interne à $\lambda = 3,39$ μm (R. Felder)

En décembre 1988, une comparaison a eu lieu au NRC (Ottawa, Canada). Des mesures relatives de fréquence faites entre le laser du VNIIFTRI (M101) et les lasers du BIPM (B3 et VB) donnèrent des différences de fréquence inférieures à 1 kHz, 1×10^{-11} en valeur relative. Une mesure absolue de fréquence faite en utilisant la chaîne de fréquence du NRC donna pour le laser VB une valeur en excellent accord avec une détermination qui comprenait la mesure relative entre VB et M101 et la valeur absolue de M101 déterminée au VNIIFTRI.

Du 23 au 31 mai 1989, des déterminations absolues de fréquence de lasers de référence du VNIIFTRI et du BIPM ont eu lieu à la PTB (Braunschweig, RFA). L'analyse complète des données expérimentales n'est pas encore terminée : cependant les résultats préliminaires semblent indiquer un excellent accord (écart inférieur à 1 kHz) avec les précédents résultats obtenus au NRC, au LPTF et au VNIIFTRI. Un rapport du BIPM sera publié plus tard.

Ceci démontre que la fréquence de ces étalons est très répétable si quelques règles pratiques sont établies quant à leurs conditions de fonctionnement. Il est important de noter que le BIPM a conservé la fréquence de ces lasers transportables pendant plus de cinq années dans les limites de ± 1 kHz.

1.2.5. Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée de l'iode en cuve externe à $\lambda = 543$ nm (J.-M. Chartier)

Cette année, un effort particulier a été consacré à cette radiation verte à $\lambda = 543$ nm. Elle est une candidate intéressante comme nouvelle longueur d'onde recommandée pour la mise en pratique de la nouvelle définition du mètre.

Deux systèmes, comprenant une stabilisation thermique des sources lasers, des éléments piézoélectriques pour la modulation, l'asservissement et le balayage de la fréquence des lasers, et une cuve à iode externe,

ont été développés, contrôlés et asservis sur les composantes hyperfines de cette radiation.

Un enregistrement du spectre observé est reproduit sur la figure 1.1. Les intervalles de fréquence entre 15 composantes des deux raies R (12) 26-9 et R (106) 28-0 de $^{127}\text{I}_2$ ont été déterminés avec une estimation de l'incertitude, pour les composantes les plus fortes, de l'ordre de

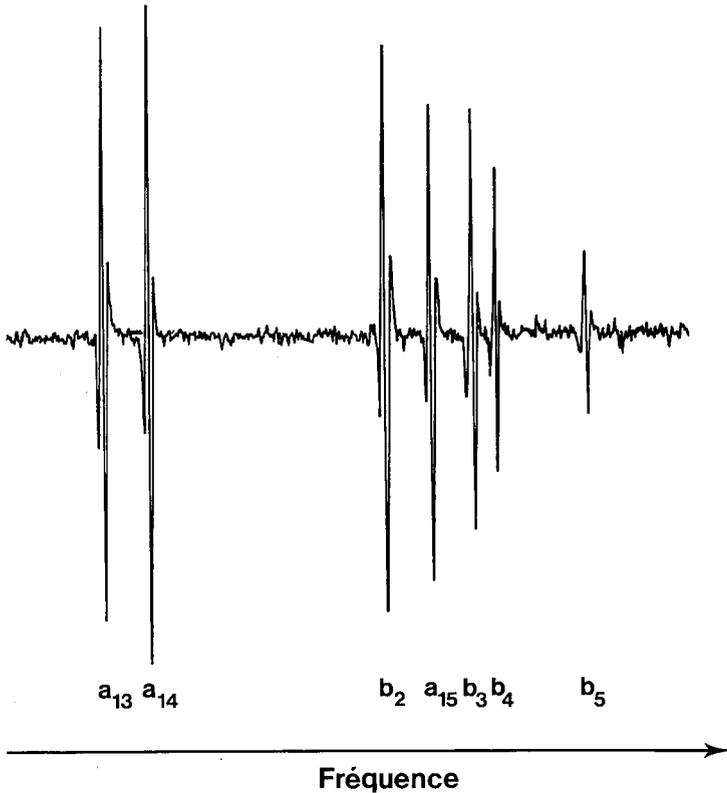


Fig. 1.1. — Spectre d'absorption saturée (troisième harmonique) de composantes hyperfines de deux raies de $^{127}\text{I}_2$ à $\lambda = 543 \text{ nm}$.

10 kHz (2×10^{-11} en valeur relative). En utilisant six composantes (a_{10} , b_1 , a_{11} , a_{12} , a_{13} et a_{14}), nous avons fait quatre mesures comprenant chacune la mesure des intervalles de fréquence d'une matrice six par six, nous avons obtenu en moyenne une différence de fréquence entre les deux systèmes $\Delta f = [14 \pm 5] \text{ kHz}$. Une stabilité relative de fréquence de $2,5 \times 10^{-12}$ a été obtenue pour un temps d'échantillonnage de 50 s [1.2]. Une étude des effets d'amplitude de modulation et de pression d'iode est en cours.

Publications, conférences et voyages : section des longueurs

Publications

- 1.1 IWASAKI, S. et CHARTIER, J.-M. Comparison of the $^{127}\text{I}_2$ stabilized He-Ne lasers at 633 nm wavelength of the National Research Laboratory of Metrology of Japan and the BIPM, *Metrologia*, **26**, 1989, pp. 257-261.
- 1.2 CHARTIER, J.-M., FREDIN-PICARD, S. et ROBERTSSON, L. On frequency stabilization of iodine 543 nm He-Ne laser systems, *Optics Communications*, **74**, 1989, pp. 87-92.
- 1.3 HALL, J. L., HILS, D., SALOMON, C. et CHARTIER, J.-M. Towards the Ultimate Laser Resolution, *In Laser Spectroscopy VIII* (Springer-Verlag, Berlin, 1987), pp. 376-380.
- 1.4 FREDIN-PICARD, S. A study of $^{127}\text{I}_2$ cells contamination using laser-induced fluorescence, *Metrologia*, **26**, 1989, pp. 235-244.

Rapports BIPM

- 1.5 ROBERTSSON, L. Shape measurements of standard length scales using interferometry with small angles of incidence. *Rapport BIPM-89/1*, septembre 1989, 25 pages.
- 1.6 FREDIN-PICARD, S. Sur la molécule diatomique. *Rapport BIPM-89/5*, juillet 1989, 40 pages.
- 1.7 FREDIN-PICARD, S. A study of $^{127}\text{I}_2$ cells using laser-induced fluorescence technique. *Rapport BIPM-89/6*, juillet 1989, 20 pages.

Conférences

R. Felder :

— Systematic offsets in the frequency of methane-stabilized He-Ne lasers due to gas-lens effects and diffraction. Invited paper, American Physical Society, St Louis (É.-U. d'Amérique), mars 1989.

S. Fredin-Picard et J.-M. Chartier :

— Laser-induced fluorescence technique used to study $^{127}\text{I}_2$ cells. Poster, European Conference on Atomic and Molecular Physics, Bordeaux (France), avril 1989.

Congrès, réunions de commissions diverses, visites de laboratoires n'ayant pas donné lieu à un exposé

R. Felder et L. Robertsson :

— Comparaison de lasers à He-Ne à $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$ au NRC (Canada), décembre 1988.

— Comparaison de lasers à He-Ne à $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$ à la PTB (RFA), mai 1989.

J.-M. Chartier et S. Fredin-Picard :

- Visite des laboratoires du NPL (Royaume-Uni), et participation au congrès : « Stabilized lasers and optical frequency standards », 16 et 17 mai 1989.

L. Robertsson et S. Fredin-Picard :

- École internationale de Physique « Enrico Fermi », Lerici (Italie), du 27 juin au 7 juillet 1989.

2. Masse et grandeurs apparentées (G. Girard)

2.1. Troisième vérification périodique des prototypes nationaux du kilogramme (G. Girard)

La troisième vérification périodique des prototypes nationaux du kilogramme prévue dans la Résolution 1 de la 18^e Conférence générale des poids et mesures a débuté en septembre 1988. Les mesures préliminaires ont été destinées à déterminer l'effet du nettoyage et du lavage sur les prototypes en platine iridié conservés pendant de nombreuses années dans le « Caveau des prototypes » et qui, de ce fait, n'ont pas été utilisés pour certains, très peu pour d'autres. Ce sont : \mathfrak{K} , le prototype international du kilogramme et ses six témoins : K1, N^{os} 7, 8(41), 32, 43 et 47. À ce groupe on a ajouté le prototype d'usage exceptionnel N^o 25. Nos deux prototypes d'usage courant N^{os} 9 et 31 ont été utilisés comme étalons de référence pendant ces mesures et n'ont donc été ni nettoyés ni lavés (dernier nettoyage et lavage en 1978). La balance NBS-2 qui est utilisée pour ces mesures donne couramment un écart-type inférieur à 1 μg dans la comparaison d'étalons de masse de 1 kg.

Nous avons commencé en comparant le prototype international, ses six témoins ainsi que le prototype N^o 25, avant nettoyage et lavage, aux deux prototypes N^{os} 9 et 31. Ce groupe d'étalons fut ensuite nettoyé à l'aide d'une peau de chamois imbibée d'un mélange à parts égales d'alcool et d'éther. Ce nettoyage fut suivi d'un lavage sous un jet de vapeur d'eau bidistillée. Après quelques semaines les huit étalons furent de nouveau comparés aux prototypes N^{os} 9 et 31. Le nettoyage et le lavage furent répétés une nouvelle fois et suivis d'une nouvelle comparaison. Les changements de masse observés après les deux nettoyages-lavages sont représentés sur la figure 2.1. La variation de 60 μg de la masse de \mathfrak{K} est un peu plus élevée que celle qui pouvait être espérée après quarante-deux ans de séjour au « Caveau » mais celles des autres prototypes sont bien en accord avec ce que l'on attendait [2.1.].

La figure 2.2 montre comment se placent ces nouvelles valeurs (représentées par un +) parmi celles déjà obtenues à partir d'autres

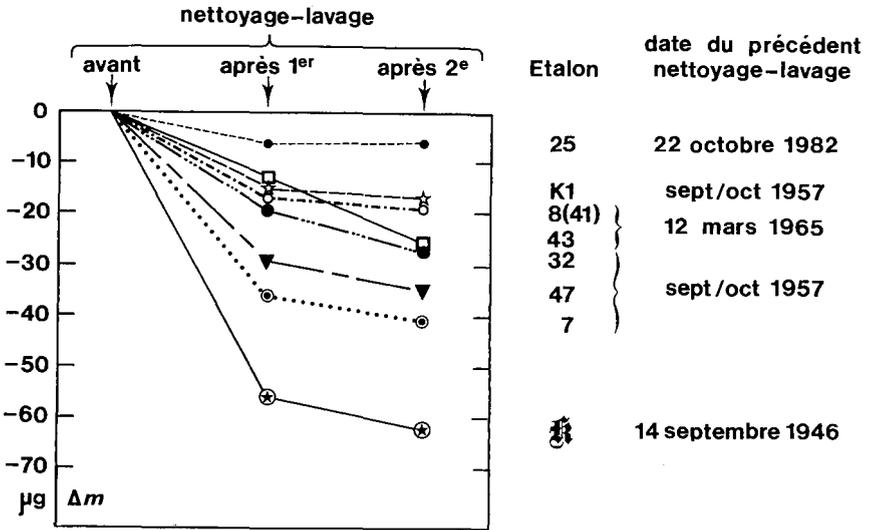


Fig. 2.1. — Variation de masse (Δm) observée après chacun des nettoyages et lavages de \mathcal{K} , de ses six témoins et du prototype N° 25.

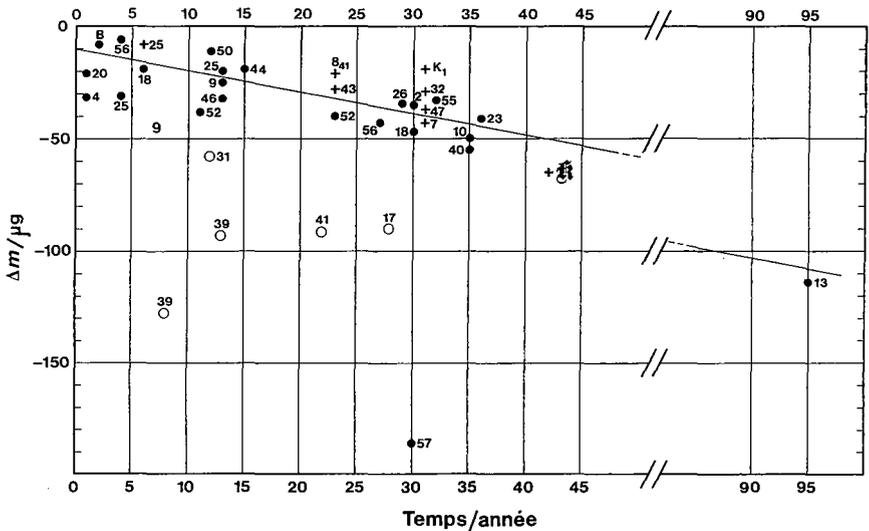


Fig. 2.2. — Changement de masse (Δm) causé par le nettoyage-lavage des prototypes en platine iridié en fonction du nombre d'années écoulées depuis le dernier nettoyage-lavage. Les cercles O représentent les prototypes ayant un état de surface de mauvaise qualité.

prototypes en platine iridié. On peut déduire de cette figure que pour des périodes allant de 5 à 95 années, l'accroissement de masse des prototypes est en moyenne de $1 \mu\text{g}$ par an mais, pendant les quelques premières années il est plus rapide et peut atteindre en moyenne environ $10 \mu\text{g}$ sur les 5 premières années.

Après ces mesures préliminaires on a commencé la comparaison de ces étalons au prototype international. On s'est très vite aperçu que pour effectuer correctement ces comparaisons il était nécessaire de connaître le changement de masse du prototype international lui-même, dans les semaines et les mois qui suivent le nettoyage-lavage.

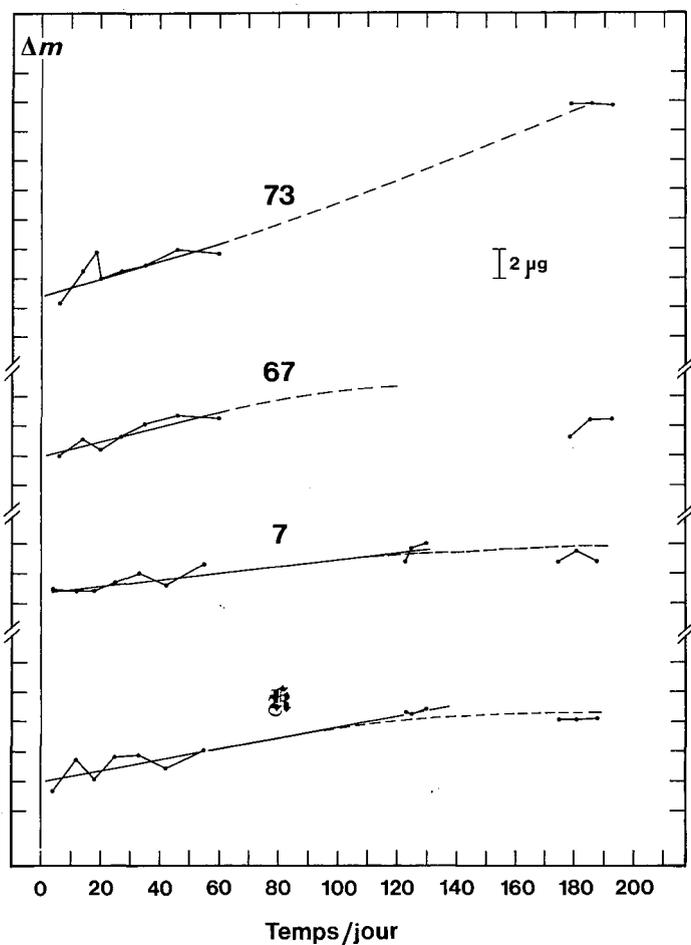


Fig. 2.3. — Augmentation de masse dans les six premiers mois suivant le nettoyage-lavage observée sur le prototype international \oplus , un témoin (N° 7) et deux prototypes fabriqués (polis et ajustés) à l'aide d'un outil à pointe de diamant, N° 67 en 1982 et N° 73 en 1988.

Pour cela on a procédé de la manière suivante : \mathbb{K} et les prototypes N^{os} 7, 67 et 73 (les prototypes N^{os} 67 et 73 ont été polis et ajustés à l'aide d'un outil à pointe de diamant) ont été une nouvelle fois nettoyés et lavés puis placés dans la balance NBS-2 ; ils furent aussitôt comparés aux prototypes N^{os} 9 et 31 et pendant six mois, de mars au début septembre 1989. Ces résultats sont montrés à la figure 2.3. Pendant cette période la masse de ces quatre étalons étudiés augmente d'environ 1 μg par mois. Ainsi pour le prototype international, la masse de référence, 1 kg exactement, pourrait être celle qu'il a immédiatement après le nettoyage et le lavage. Il serait alors possible de lui attribuer une masse bien définie à une date déterminée dans les semaines et mois qui suivent, sur la base d'un accroissement linéaire d'environ 1 μg par mois.

Après cette étude le prototype international a été comparé à dix étalons en deux groupes de cinq (7, 31, 32, 43, 67) et (K1, 8(41), 9, 25, 47). Ces deux groupes ont ensuite été comparés entre eux. Les calculs ont été effectués en attribuant au prototype international la valeur 1 kg exactement au moment où il a été utilisé. En admettant une erreur constante de l'ordre de 2 à 3 μg , on a pu calculer la masse de chacun de ces étalons ; l'écart-type sur les valeurs est de 0,6 μg .

La figure 2.4 indique l'évolution de la masse, par rapport à celle du prototype international, des quatre témoins depuis 1889 (K1, 7, 8(41) et 32) et des deux autres depuis 1946 (43 et 47) ainsi que celle du N^o 25. L'évolution des prototypes N^{os} 9 et 31 n'a pas été portée sur cette figure par souci de simplification. Le travail continue.

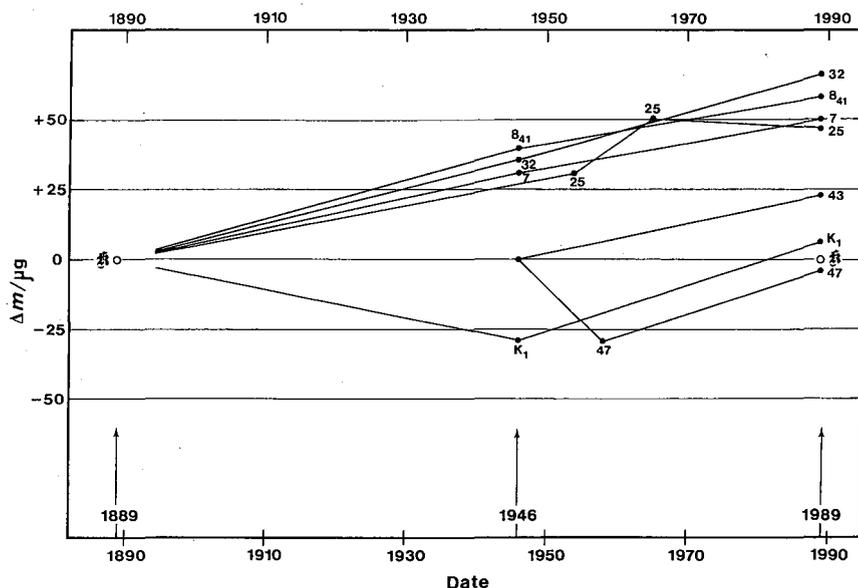


Fig. 2.4. — Évolution de la masse des six témoins du prototype international et du prototype N^o 25 par rapport à celle du prototype international.

2.2. Balance à suspensions flexibles (T. J. Quinn, C. C. Speake, A. Picard)

La balance à suspensions flexibles a été élaborée depuis plusieurs années dans le principal but de réaliser un instrument d'étude permettant d'approcher le plus près possible les performances idéales d'une balance à fléau.

Nos propres études théoriques, ainsi que celles qui ont été effectuées dans le passé, ont indiqué que les limites de précision des pesées sont par exemple données par les bruits d'origine thermique et sismique qui sont significativement en dessous des bruits rencontrés dans la pratique. C'est en optimisant la conception fondée sur nos études théoriques que nous espérons identifier ces facteurs qui limitent actuellement les possibilités d'une balance.

L'utilisation de lames flexibles dans notre balance expérimentale pour la recherche sur la « 5^e force » [2.2] ont conduit à conclure que la reproductibilité des pesées dans cette expérience était limitée non par la balance, mais par les variations de masses absolues dues aux changements de température. Ces variations de température engendrent des phénomènes d'adsorption ou de désorption de gaz au niveau de la couche superficielle de l'étalon ce qui modifie la masse de celui-ci. Actuellement, pour une série de pesées réalisée sur 2 jours en continu, nous avons obtenu dans les meilleures conditions, un écart-type de 6 ng, soit une précision relative de 4×10^{-12} .

Les bonnes conditions thermiques qui ont permis d'obtenir de tels résultats étaient cependant très difficiles à établir et à maintenir, car nous ignorions quels étaient les paramètres thermiques critiques.

Cette année a donc été consacrée à l'étude du contrôle de la température à l'intérieur de la balance. Si au début nous avons eu connaissance de l'importance de la stabilité thermique de l'étalon de masse à peser, nous aurions conçu celle-ci de façon différente. À ce stade, afin de réduire les échanges thermiques du mieux possible, nous avons réalisé une isolation thermique judicieusement placée. La différence de température entre les étalons est maintenant inférieure à 1 mK et celle-ci ne change pas significativement lorsqu'ils sont placés sur le plateau de pesée ou sur le transporteur de la balance.

Malheureusement, les perturbations cycliques dues à la climatisation de la salle sont encore très significatives et le problème n'est pas encore totalement résolu. En plus des modifications thermiques, d'autres améliorations ont été réalisées sur l'asservissement électronique de la balance. Elles ont réduit encore les mouvements déjà petits du fléau lors des échanges de masse et elles ont également amélioré l'efficacité de l'acquisition des données. Un nouveau système de pompage est en cours d'installation, ce qui permettra de réaliser des pesées à des pressions inférieures à la limite actuelle qui est d'environ 300 Pa. Un système magnétique a été réalisé qui permet d'amortir efficacement les

plateaux, et ainsi de supprimer l'utilisation d'amortisseur à air ou mécanique pour arrêter les oscillations des plateaux. Ce système permettra également d'effectuer des pesées à des pressions beaucoup plus basses que par le passé.

C. C. Speake, avec le généreux soutien du NIST, a passé une année (mai 1988-juin 1989) au JILA (Boulder) avec J. Faller. Son travail consistait en une expérimentation destinée à la recherche sur la « 5^e force », par la mesure de g au sommet d'une tour de 300 m. De grandes précautions ont été prises pour réaliser de bonnes mesures et pour évaluer de façon critique les sources de perturbations extérieures. Aucune force non newtonienne n'a pu être mise en évidence. D'autre part, il a continué le travail commencé au BIPM sur l'utilisation de suspensions flexibles constituées d'un monocristal de silicium. Les premières mesures indiquent que le coefficient Q obtenu est très élevé, beaucoup plus élevé que celui trouvé pour les lames flexibles au Cu-Be qui sont actuellement utilisées dans la balance à suspensions flexibles. Il nous reste à voir maintenant comment résoudre le problème de la charge des lames en silicium sans les casser.

2.3. Études courantes

La troisième vérification des prototypes nationaux absorbant la majeure partie de notre temps, il n'est pas possible d'entreprendre d'autres étalonnages. On a seulement étudié un étalon de 1 kg en acier inoxydable pour la Hongrie.

La balance Mettler HK1000 MC qui a déjà été mentionnée dans les Rapports de 1987 et 1988 a été équipée par Mettler (Suisse) d'un nouveau transporteur amélioré. De nouveaux essais sont en cours.

Les étalons de 1 kg du BIPM en acier inoxydable Nicral D et en autres alliages ont été comparés ensemble à la balance Rueprecht, de façon à pouvoir suivre l'évolution de leur masse au cours du temps.

2.4. Gravimétrie : détermination absolue du gradient vertical de la pesanteur (A. Sakuma)

À l'aide de notre gravimètre absolu type BIPM, nous sommes capables de mesurer le gradient vertical de la pesanteur γ , avec une exactitude proche de celle obtenue par les gravimètres relatifs à ressort étalonnés. Le dernier résultat préliminaire pour γ à SÈVRES POINT « A » est : $(3106 \pm 31) \times 10^{-9} \text{ s}^{-2}$ ou $(310,6 \pm 3,1) \mu\text{Gal/m}$; ces chiffres représentent la valeur moyenne et l'écart-type de la moyenne d'environ 200 mesures sur une trajectoire d'environ 0,4 m. Cette valeur est en bon accord avec celle admise pour ce point $(3118 \pm 6) \times 10^{-9} \text{ s}^{-2}$, obtenue comme la moyenne d'un grand nombre de mesures relatives à l'aide de

14 gravimètres à ressort, à l'occasion de la seconde comparaison internationale de gravimètres à Sèvres en 1985. L'augmentation de l'exactitude dans la mesure de γ est due à une amélioration récente dans la catapulte et les systèmes antivibratoires, ce qui rend possible maintenant d'extraire γ (à partir d'un terme en t^4) d'un bas niveau de bruit du mouvement de chute libre symétrique ascendante puis descendante (terme en t^2). Il est bon de noter ici que dans une série de mesures de g où chaque valeur de γ est bien déterminée, la dispersion de chaque valeur de g diminue jusqu'à ± 2 à $\pm 4 \text{ nm} \times \text{s}^{-2}$ (proche de la limite de résolution) et que chaque valeur de g obtenue est très proche de la moyenne générale. Ainsi on peut considérer que la valeur de g obtenue en même temps qu'une bonne valeur de γ a une très forte probabilité d'être proche de la valeur réelle. Un rapport complet sur ce travail est en préparation.

Publications, conférences et voyages : section des masses et grandeurs apparentées

Publications

- 2.1 QUINN, T. J. Nouvelles techniques de fabrication des étalons de masse en platine iridié et remarques sur le comportement de ces étalons, *Bulletin du BNM*, **76-77**, 1989, pp. 19-26.
- 2.2 SPEAKE, C. C. and QUINN, T. J. A search for a fifth force using a beam balance, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, **IM-38**, 1989, pp. 189-195 ; voir aussi *Phys. Rev. Lett.*, **61**, 1988, pp. 1340-1343.
- 2.3 PICARD, A. Les comparateurs d'étalons de masse, principes et réalisations, *Bulletin du BNM*, **76-77**, 1989, pp. 49-62.

Conférences

T. J. Quinn :

— Nouvelles techniques de fabrication des étalons de masse en platine iridié et remarques sur le comportement de ces étalons. Journées du BNM, novembre 1988.

— Advances in mass standards and weighing. International School of Physics « Enrico Fermi », Lerici, juin 1989.

C. C. Speake :

— A beam-balance search for a fifth force. American Physical Society, St. Louis, mars 1989.

— Precision mass comparisons to test fundamental physical theories. American Physical Society, Baltimore, avril 1989.

— The present status of the fifth force. International School of Physics « Enrico Fermi », Lerici, juin 1989.

A. Picard :

— Les comparateurs d'étalons de masse, principes et réalisation. Journées du BNM, novembre 1988.

Congrès, réunions de commissions diverses, visites de laboratoires n'ayant pas donné lieu à un exposé

A. Picard :

— Visite les laboratoires de masse du NPL, Teddington (Royaume-Uni), le 25 mai 1989.

3. Temps (B. Guinot)

3.1. Établissement du TAI et de l'UTC (B. Guinot, C. Thomas, W. Lewandowski, J. Azoubib) (*)

Les échelles de temps du TAI et de l'UTC ont été régulièrement établies puis disséminées par la Circulaire T, publiée mensuellement, et par des réseaux informatiques. Des résultats détaillés et d'autres renseignements sont aussi fournis par un « rapport annuel de la Section du temps du BIPM ». Le volume couvrant l'année 1988, le premier de cette nouvelle série, a été publié en juin 1989. Il comprend une description complète de la méthode de calcul du TAI et de l'UTC. Après une révision récente des listes d'envoi, la Circulaire T et le Rapport annuel sont envoyés à 500 adresses environ.

Le nombre de laboratoires ou de centres nationaux ainsi que le nombre d'horloges participant au TAI, sont restés presque constants : 38 laboratoires ou centres nationaux, 170 horloges environ.

La stabilité du TAI pour un temps de moyenne allant jusqu'à 3 ans est principalement assurée par les horloges commerciales à césium, mais quelques masers à hydrogène et horloges primaires à césium apportent une contribution importante. La stabilité pour des temps de moyenne plus longs et l'exactitude sont procurées par les étalons de fréquence primaires, à l'aide du « pilotage ». Cependant, aucun pilotage n'a été appliqué depuis février 1984, la fréquence du TAI restant en accord avec celle de PTB-CS1 à moins de 2×10^{-14} près, sur des moyennes annuelles. Depuis février 1984, l'instabilité de fréquence normée du TAI par rapport à PTB-CS1, les deux étant pratiquement indépendants l'un de l'autre, est de $0,8 \times 10^{-14}$ pour un temps d'échantillonnage d'un an.

Avec le nouveau système de pondération en vigueur depuis 1988, la moitié du poids total est fournie par 12 à 15 % des meilleures horloges

(*) Tous les membres de la section participent à tous les aspects des travaux décrits dans les paragraphes 3.1 à 3.4.

qui reçoivent le poids maximal. Il est intéressant de constater que ces horloges conservent en général ce poids maximal, ce qui démontre que leur grande qualité est réelle et que leur poids est justifié.

3.2. Études sur les échelles de temps

À la suite de la déclaration 1989/2 de la 11^e session du CCDS, tenue les 19 et 20 avril 1989, on a consacré quelque activité à l'étude des corrélations entre les changements de marche des horloges qui contribuent au TAI. Il apparaît que de telles corrélations existent et qu'elles dégradent la stabilité à long terme et l'exactitude du TAI. Il apparaît également que le niveau de corrélation varie grandement d'un intervalle de deux mois au suivant. Il est nécessaire de poursuivre les recherches afin de trouver un moyen objectif et efficace pour évaluer ces corrélations, afin de prendre des mesures avec les laboratoires concernés.

Jusqu'à présent, le TAI provient d'un algorithme de stabilité à long terme, chaque horloge participante étant pondérée en fonction de ses qualités de stabilité à long terme. Nous avons examiné la possibilité d'introduire un second jeu de poids pour accroître la stabilité à court terme [3.1]. Des expériences numériques sur données réelles sont maintenant nécessaires avant d'adopter cette modification dans les calculs courants.

3.3. Liaisons horaires

La plupart des liaisons horaires sont maintenant assurées par le GPS. Avec ce dernier, il est relativement facile d'atteindre une exactitude de l'ordre de 10 ns, même sur des distances intercontinentales. Mais nous sommes convaincus qu'on peut atteindre une bien meilleure exactitude, du moins tant que la « disponibilité sélective » n'est pas appliquée. Une large part de notre activité a été consacrée à l'amélioration des comparaisons horaires par le GPS, afin de réduire les incertitudes jusqu'à quelques nanosecondes. Voici quelques sujets qui ont été considérés.

a) Réfraction ionosphérique. M. Imae (CRL), en stage au BIPM (octobre 1987-octobre 1988), a construit un récepteur du GPS à deux fréquences, sans décodage, qui mesure la réfraction ionosphérique le long de la ligne de visée des satellites, avec une incertitude de l'ordre de 1 ns, toutes les 4 minutes [3.2]. Cet instrument est resté au BIPM et il fonctionne d'une manière tout à fait satisfaisante. Comme il est le seul appareil de ce type en service courant, on ne peut pas encore tirer tout le profit de ses données. Néanmoins, nous les utilisons pour la liaison USNO-OP et pour la publication de UTC-temps du GPS. Des

expériences entre l'USNO et l'OP, avec mesures du retard ionosphérique dans les deux observatoires, ont montré une intéressante réduction des incertitudes [3.3].

b) Les recherches sur les coordonnées d'antennes ont été poursuivies [3.4], en particulier en Amérique du Nord [3.5]. Des anomalies découvertes lors d'observations avec deux récepteurs voisins sont probablement dues aux logiciels des récepteurs et sont à l'étude.

c) Des échantillons d'éphémérides précises ont été obtenus du National Geodetic Survey (É.-U. d'Amérique). Une étude préliminaire a montré l'amélioration qu'elles apportent pour la liaison USNO-OP [3.6]. Cette étude est poursuivie en coopération avec le NIST.

Pour les comparaisons de temps par le GPS sur des distances courtes (quelques centaines de kilomètres), les raffinements sur la réfraction et les éphémérides ne sont pas cruciaux, mais l'utilisation de bonnes coordonnées d'antennes demeure critique. En conséquence, nous avons orienté notre travail dans les directions suivantes :

- homogénéisation des coordonnées dans le Repère de référence terrestre de l'IERS, système global d'une exactitude de 10 cm, sur lequel la référence WGS84 du GPS est déjà alignée,

- réorganisation des liaisons par le GPS, avec un petit nombre de liaisons à longue distance pour lesquelles on envisage un traitement sophistiqué, complétées par des liaisons locales.

Une autre initiative, à propos du GPS, a été la publication de valeurs journalières de UTC-temps du GPS, déduites de mesures faites à l'OP, mais corrigées pour tenir compte du retard ionosphérique mesuré et de la meilleure estimation des coordonnées. Le « temps du GPS » est défini ici comme une échelle de temps proche de la moyenne des temps diffusés par les 6 satellites du Bloc I que l'on a utilisés pour les comparaisons horaires. Les écarts propres à chaque satellite, tels qu'ils apparaissent à l'OP sont également publiés ; comme leur moyenne quadratique est normalement inférieure à 10 ns, ils peuvent être négligés par la plupart des usagers.

Quelque activité, à un niveau plutôt modeste, a été consacrée à d'autres techniques de comparaisons horaires : participation à des réunions sur LASSO, expérience de l'Agence spatiale européenne (ESA), au projet ESA/INMARSAT d'établir un système de navigation par satellites à usages multiples.

3.4. Autres activités

Le sujet du « temps » requiert des participations fréquentes à des activités diverses qui vont de la présentation de communications invitées à l'enseignement et à la vulgarisation scientifique. Les références [3.7 à

3.11] décrivent suffisamment ces activités. De plus, le BIPM participe à la rédaction d'un Manuel du CCIR sur la Dissémination du temps et de la fréquence par satellites (Chapitre sur la définition des échelles de temps et annexes sur la géodésie et sur la relativité).

Publications, conférences et voyages : section du temps

Publications

- 3.1 GUINOT, B. et THOMAS, C. Establishment of International Atomic Time. *Rapport annuel de la section du temps du BIPM*, Vol. 1, 1988, pp. D-3 à D-22.
- 3.2 IMAE, M., LEWANDOWSKI, W., THOMAS, C. et NIKI, C. A dual frequency GPS receiver measuring ionospheric effects without code demodulation and its application to time comparisons, *Proc. 20th PTTI*, Washington D.C., nov.-déc. 1988, pp. 77-85.
- 3.3 IMAE, M., MIRANIAN, M., LEWANDOWSKI, W. et THOMAS, C. Codeless dual frequency GPS receiver measuring ionospheric effects and its application to time comparisons between Europe and USA, *Proc. 3rd European Frequency and Time Forum*, Besançon, France, 21-23 mars 1989, pp. 89-93.
- 3.4 GUINOT, B. et LEWANDOWSKI, W. Improvement of the GPS time comparisons by simultaneous relative positioning of the receiver antennas, *Bull. Géodésique*, **63**, 1989, pp. 371-386.
- 3.5 LEWANDOWSKI, W., DOUGLAS, R. J., KLEPCZYNSKI, W. J., STRANGE, W., SUTER, J. et WEISS, M. The Positioning of GPS Antennae in Time-Keeping Laboratories of North America, *Proc. 43rd Annual Symposium on Frequency Control*, Denver, U.S.A., mai-juin 1989, pp. 218-224.
- 3.6 LEWANDOWSKI, W. et GUINOT, B. GPS time comparisons, test on the use of precise ephemerides. *BIPM Com. Cons. Déf. Seconde*, **11**, 1989, document CCDS/89-10.
- 3.7 GUINOT, B. Le temps coordonné. *Journées relativistes*, Genève, 1988, Université de Genève, pp. 72-93.
- 3.8 GUINOT, B. General principles of the measure of time : astronomical time, atomic time. In : *Reference Frames* B. Kolaczek, J. Kovalevsky, I. I. Mueller (eds.), 1989, Kluwer, pp. 351-415.
- 3.9 GUINOT, B. Temps atomique et relativité, *Bulletin du BNM*, **75**, 1989, pp. 7-14.
- 3.10 GUINOT, B. et AZOUBIB, J. Comparison of Primary Frequency Standards, *Proc. 4th Symposium on Frequency Standards and Metrology*, Ancona, 1989 (Springer-Verlag, 1989), pp. 37-42.
- 3.11 GUINOT, B. Time and Frequency in Geosciences, *Proc. 3rd European Frequency and Time Forum*, Besançon, France, 21-23 mars 1989, pp. 1-4.

- 3.12 FEISSEL, M. et GUINOT, B. A homogeneous series of the earth rotation parameters based on all observing techniques, 1962-1987. In : *Bureau International de l'Heure, Annual Report for 1987, 1988*, pp. D-79 à D-84.
- 3.13 GRANVEAUD, M., LEWANDOWSKI, W., UHRICH, P. et TOURDE R. Comparison of GPS time receivers : a user's point of view, *Proc. 3rd European Frequency and Time Forum*, Besançon, France, 21-23 mars 1989, pp. 104-120.
- 3.14 CLAIRON, A., DE CLERCQ, E., DAHMANI, B., GERARD, A. et THOMAS, C. Light pressure effects on an optically pumped cesium beam frequency standard, *Proc. 2nd European Frequency and Time Forum*, 1988, pp. 499-511.
- 3.15 GUINOT, B. Définition et réalisation du temps terrestre. In *Journées sur les systèmes de référence spatio-temporels*, 1988, Observatoire de Paris, pp. 111-117.

Conférences

B. Guinot :

— « Time and Frequency in Geosciences », 3^e Forum européen Fréquence et Temps, Besançon (France), mars 1989.

C. Thomas :

— « A dual frequency GPS receiver measuring ionospheric effects without code demodulation and its application to time comparison », 20^e « Annual Precise Time and Time Interval Meeting (PTTI) », Washington D. C. (É.-U. d'Amérique), décembre 1988.

— « A codeless dual frequency GPS receiver measuring ionospheric effects and its application to time comparisons between Europe and USA », 3^e Forum européen Fréquence et Temps, Besançon (France), mars 1989.

W. Lewandowski :

— « The positioning of GPS antennae in time-keeping laboratories of North America », 43^e « Annual Symposium on Frequency Control », Denver (É.-U. d'Amérique), juin 1989.

Congrès, réunions de commissions diverses, visites de laboratoires n'ayant pas donné lieu à un exposé

B. Guinot :

— Conseil scientifique du Forum européen Fréquence et Temps, Neuchâtel (Suisse), 6 décembre 1988.

— Réunion informelle d'experts sur le projet ESA/INMARSAT de système civil de navigation par satellites à usage multiple, organisée par INMARSAT et l'ESA, Paris (France), 24-25 avril 1989.

W. Lewandowski :

— Stage à la « Time and Frequency Division » du NIST, Boulder (É.-U. d'Amérique), du 14 novembre 1988 au 3 juin 1989.

— Participation au « Civil GPS Service Steering Committee », Boston (É.-U. d'Amérique), les 15 et 16 novembre 1988.

— 20^e « Annual Precise Time and Time Interval Meeting (PTTI) », Washington D. C. (É.-U. d'Amérique), 29 novembre-1^{er} décembre 1988.

— « LASSO Operations Coordinating Group », Washington D. C. (É.-U. d'Amérique), 1^{er} décembre 1988.

— Visite à l'USNO et au NGS (National Geodetic Survey), Washington D. C. (É.-U. d'Amérique), 28 novembre 1988 et 31 mars 1989.

— « LASSO Operations Coordinating Group », Herstmonceux (Royaume-Uni), 3 avril 1989.

— « Civil GPS Service Steering Committee », Washington D. C. (É.-U. d'Amérique), 1^{er}-2 mai 1989.

— « GPS Workshop » organisé par l'USNO, Washington D. C. (É.-U. d'Amérique), 11 mai 1989.

C. Thomas :

— Journées sur les systèmes de référence spatio-temporels, organisées par l'Observatoire de Paris (France), 24-25 avril 1989.

— Cours de relativité générale et cosmologie, par T. Damour, Paris (France), 8 cours de mars à mai 1989.

— Visite à la « Time and Frequency Division » du NIST, Boulder (É.-U. d'Amérique), 30 mai 1989.

— 43^e « Annual Symposium on Frequency Control », Denver (É.-U. d'Amérique), du 31 mai au 2 juin 1989.

4. Électricité (T. J. Witt)

4.1. Conservation de V_{76-BI} (D. Reymann)

Le BIPM possède maintenant deux installations de référence indépendantes, utilisant l'effet Josephson : l'ancien système dans lequel une tension de référence de 10 mV produite aux bornes de deux jonctions Josephson est comparée à la force électromotrice (f.é.m.) d'une pile étalon par l'intermédiaire d'un comparateur série-parallèle, et le nouveau, dans lequel un réseau de jonctions (don du NIST au BIPM) permet d'obtenir directement une tension de 1,018 V. Pour le système à réseau, nous avons mis au point une technique de mesure originale dans laquelle la f.é.m. de la pile est comparée à la tension aux bornes du réseau par

une méthode de substitution utilisant un étalon de transfert intermédiaire ; actuellement, cet étalon de transfert est le comparateur série-parallèle, mais un appareil plus spécifiquement destiné à cet usage est en construction. L'incertitude de la mesure de la f.é.m. d'une pile avec le système actuel à réseau est estimée à 1,7 nV, ce qui constitue une amélioration en précision de plus d'un ordre de grandeur par rapport à celle estimée pour l'ancien système Josephson.

Les deux étalons Josephson ont été comparés, d'une part directement, et d'autre part indirectement à l'aide des résultats des mesures des piles. La différence entre la valeur de la f.é.m. d'une pile mesurée avec le système à réseau et celle déduite des mesures faites avec l'ancien système est de $-17,1 \pm 1,5$ nV (incertitude de type A) ; ce résultat est en très bon accord avec l'incertitude totale (types A et B combinés) estimée pour l'ensemble des deux étalons de référence [4.1].

4.2. Diviseur de tension permettant le passage de 10 V à 1,018 V (F. Delahaye)

Afin de répondre aux demandes des laboratoires nationaux concernant l'étalonnage de références de tension de 10 V utilisant des diodes de Zener, un diviseur permettant le rattachement précis d'une tension de 10 V à la f.é.m. d'une pile étalon (1,018 V) a été conçu et réalisé. L'appareil comprend deux diviseurs série-parallèle semblables, constitués chacun de trois résistances de 30 k Ω , raccordés à chaque extrémité d'une résistance fixe de 202 Ω .

Le premier étalonnage d'une référence de tension de 10 V a été réalisé en avril 1989. L'incertitude relative totale est estimée provisoirement à 4×10^{-8} .

4.3. Effet Hall quantique (F. Delahaye)

Les mesures rattachant Ω_{69-BI} à la résistance de Hall quantifiée, R_H , sont réalisées de façon courante à l'aide d'un pont utilisant un comparateur cryogénique de courants continus (CCC) (voir Rapport 1987, pp. 53-55). Une amélioration importante a été apportée cette année à notre dispositif de mesure avec la mise au point d'un nanovoltmètre, utilisant des éléments supraconducteurs, destiné à remplacer le détecteur de zéro conventionnel associé au pont de mesure. Ce nouvel appareil consiste en une bobine d'entrée de 8 000 tours, couplée à un SQUID commercial par l'intermédiaire d'un transformateur supraconducteur de flux. La réponse du circuit est rendue linéaire par une contre-réaction qui assure également une impédance d'entrée élevée (supérieure à 1 M Ω). La valeur crête à crête du courant de bruit d'entrée, évaluée sur dix minutes avec une bande passante continue de 0 à 0,1 Hz, est de l'ordre de 10^{-13} A. Pour une résistance de source de l'ordre de 10 k Ω , comme cela est le cas pour la résistance de Hall quantifiée, la tension de bruit

correspondante est de l'ordre de 1 nV, valeur inférieure d'un facteur dix environ à ce que l'on peut obtenir avec un nanovoltmètre conventionnel.

Notre nouveau nanovoltmètre à SQUID a déjà été utilisé avec succès lors de la mesure du rapport entre R_H et une résistance étalon de 100 Ω . Cela nécessite le fonctionnement simultané de deux SQUID car le CCC lui-même utilise également un SQUID. Bien que le niveau de bruit crête à crête observé soit très faible (environ 8 nV), nous pensons pouvoir le réduire encore en utilisant un nouveau CCC à faible bruit, actuellement en construction, et espérons obtenir un niveau de bruit crête à crête correspondant à 3×10^{-9} en valeur relative.

4.4. Préparation des comparaisons internationales de 1990 pour les résistances étalons de 1 Ω et 10 k Ω

Cette comparaison a été proposée par EUROMET lors de la 18^e réunion du CCE en septembre 1988 : il est prévu qu'elle commence vers le 1^{er} octobre 1990. Du fait du nombre particulièrement important de participants à cette comparaison, il est nécessaire d'automatiser complètement les mesures de précision des étalons de 10 k Ω . Un prototype de pont de Warshawsky (sorte de pont double de Thomson généralisé) a été assemblé et essayé avec succès. L'automatisation de cette mesure est en préparation.

Les convocations pour cette comparaison ont été envoyées aux laboratoires membres du CCE ainsi qu'aux personnes responsables des mesures électriques pour EUROMET.

4.5. Activités relatives aux travaux du Comité consultatif d'électricité

Vu l'importance des décisions du CCE concernant les nouveaux étalons de référence de force électromotrice (ou de différence de potentiel électrique) et de résistance électrique fondés sur une nouvelle valeur de la constante de Josephson et sur une valeur conventionnelle de la constante de von Klitzing, il a fallu faire un effort particulier pour préparer rapidement la version finale du rapport de la 18^e session du CCE et la publication dans *Metrologia* du rapport commun des groupes de travail sur l'effet Josephson et sur l'effet Hall quantique [4.5], et des « conseils pour la mise en œuvre de la résistance de Hall quantifiée » [4.5].

Pour informer les utilisateurs des services nationaux d'étalonnage de la valeur des changements des étalons de référence nationaux de f.é.m. et de résistance, on a fait parvenir à chaque laboratoire national d'étalonnage des États membres de la Convention du Mètre, un questionnaire demandant cette information. Un tableau des réponses sera préparé et distribué aux laboratoires.

4.6. Changements pour les étalons de référence de f.é.m. et de résistance du BIPM

Le 1^{er} janvier 1990, le BIPM appliquera les Recommandations 1 (CI-1988) et 2 (CI-1988) du CIPM pour conserver ses étalons électriques de référence au moyen de l'effet Josephson et de l'effet Hall quantique : ceci provoquera une discontinuité des valeurs des étalons de référence du BIPM donnée par les équations suivantes :

$$V_{76\text{-BI}} = 1\text{ V} - 8,06\ \mu\text{V}$$

et au 1^{er} janvier 1990,

$$\Omega_{69\text{-BI}} = 1\ \Omega - 1,90\ \mu\Omega.$$

4.7. Étude de l'effet Josephson dans $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$ (T. Witt)

De façon à améliorer l'exactitude des comparaisons des résultats des mesures de $2e/h$ dans ce matériau à haute température de transition avec ceux des supraconducteurs métalliques, des jonctions des deux types de matériau ont été rassemblées dans une même enceinte à micro-ondes. Les mesures d'essais ont été limitées en précision par l'effet « d'arrondissement » des marches de tension (tension de sortie variable en fonction du courant de polarisation) pour l'échantillon en $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$. Dans le cas le plus favorable, une précision relative d'environ 5×10^{-6} a été obtenue : c'est là à peu près la précision des résultats obtenus l'année dernière*, pour des mesures où la tension de sortie des jonctions en $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$ était mesurée avec un potentiomètre de précision.

4.8. Études courantes

Nous avons remarqué cette année une baisse sensible de la demande d'étalonnage de piles étalons et une tendance à l'augmentation de l'utilisation des étalons de référence électroniques à diode de Zener.

Quatre piles appartenant à la Pologne sont en cours d'étalonnage depuis septembre 1988. Des étalons de référence électroniques appartenant à la Suisse, à la République d'Afrique du Sud, à l'Irlande et à la Belgique ont été mesurés à 1,018 V et aussi, pour les deux derniers, à 10 V.

Les étalons de résistance suivants ont été mesurés : un de 1 Ω appartenant à la République d'Afrique du Sud ; deux de 1 Ω , un de 100 Ω et un de 10 k Ω appartenant à la Suède, un de 1 Ω et un de 10 k Ω appartenant à l'Irlande et deux de 1 Ω appartenant à la Belgique.

* WITT, T. J., *Phys. Rev. Lett.*, **61**, 1988, pp. 1423-1426.

Publications, conférences et voyages : section d'électricité

Publications

- 4.1 REYMANN, D. et WITT, T. J. The new BIPM one-volt reference standard based on an array of Josephson junctions. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, **IM-38**, 1989, pp. 1030-1035.
- 4.2 DELAHAYE, F. Technical guidelines for reliable measurements of the quantized Hall resistance. *Metrologia*, **26**, 1989, pp. 63-68.
- 4.3 DELAHAYE, F., SATRAPINSKY, A. et WITT, T. J. Recent determinations of R_H in terms of Ω_{69-BI} . *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, **IM-38**, 1989, pp. 256-259.
- 4.4 WITT, T. J., DELAHAYE, F. et BOURNAUD, D. The 1987 international comparison of 1- Ω resistance standards at the BIPM and the resulting agreement among determinations of R_H . *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, **IM-38**, 1989, pp. 279-283.
- 4.5 TAYLOR, B. N. et WITT, T. J. New international electrical reference standards based on the Josephson and quantum Hall effects. *Metrologia*, **26**, 1989, pp. 47-62.

Rapport BIPM

- 4.6 WITT, T. J. Projected changes in national reference standards of electromotive force and resistance. *Rapport BIPM-89/7*, juillet 1989, 9 pages.

Congrès, réunions de commissions diverses, visites de laboratoires n'ayant pas donné lieu à un exposé

T. J. Witt et F. Delahaye :

— EUROMET, réunion des experts au sujet de l'effet Hall quantique, LCIE Paris, 29-30 mai 1989.

F. Delahaye :

— du 12 au 14 décembre 1988, participation à la 3^e réunion du groupe de travail de la CEI sur le vocabulaire de concepts généraux en électrotechnique, Francfort.

— le 3 avril 1989, participation à des discussions dans la division d'électricité au NPL.

5. Radiométrie, photométrie (J. Bonhoure)

5.1. Radiométrie (R. Köhler)

On a poursuivi l'étude entreprise sur les photodiodes au silicium. On a comparé des diodes autocalibrées à l'échelle du NPL et à celle de l'INM : l'accord sur la sensibilité spectrale absolue est bon. En

revanche, l'étalonnage de deux thermopiles a montré un désaccord, faible mais significatif, avec le NPL.

Dix-sept photodiodes ont été étalonnées en novembre 1988, en prenant les thermopiles pour référence, à cinq longueurs d'onde différentes allant de 350,7 à 647,1 nm. Cet étalonnage a été répété six mois plus tard, dans les mêmes conditions, pour connaître les effets du vieillissement. On a observé des variations significatives de la sensibilité spectrale absolue suivant le type de photodiode considéré et suivant la longueur d'onde utilisée. Ces variations peuvent provenir, soit de l'évolution du facteur de réflexion régulière de la surface des photodiodes, soit de modifications à l'intérieur des photodiodes. La mesure du facteur de réflexion a été effectuée à différentes longueurs d'onde pour l'ensemble des dix-sept photodiodes. Pour huit d'entre elles, la même mesure, à une seule longueur d'onde, avait déjà été faite en juillet 1988. La comparaison des résultats montre une évolution du facteur de réflexion, mais une évolution insuffisante pour expliquer la variation observée de la sensibilité spectrale absolue. Ces différentes mesures — facteur de réflexion régulière et sensibilité spectrale absolue — doivent être répétées régulièrement pour déterminer les effets du vieillissement.

On a aussi mesuré le facteur de réflexion diffuse de la surface des photodiodes. Un petit réflectomètre composé de photodiodes de type commercial a été construit ; sa forme est un cube avec la face sensible de toutes les diodes tournée vers l'intérieur. La sensibilité du réflectomètre a été étalonnée avec un laser. On a ainsi étudié un certain nombre des photodiodes utilisées au BIPM pour la radiométrie. Les résultats montrent que le facteur de réflexion diffuse peut atteindre 0,3 %, ce qui est loin d'être négligeable lors de l'étalonnage d'une photodiode. Le réflectomètre permet en outre de contrôler la qualité de la surface des diodes avant et après nettoyage.

Par ailleurs, on a fait l'acquisition d'un radiomètre absolu QED formé de photodiodes au silicium ; l'étude de son comportement est en cours. En particulier, une forte dépendance de sa sensibilité à la température a été observée [5.1]. L'effet est lié, de façon plutôt compliquée, au niveau de flux reçu et à la tension de polarisation inverse nécessaire au fonctionnement de ce type de récepteur.

On a aussi étudié les photodiodes par modélisation sur ordinateur : il est tout à fait possible de modéliser différents effets (polarisation de la couche d'oxyde par exemple) avec grande exactitude. De plus, on a établi la formule d'autoétalonnage de façon théorique, à partir d'hypothèses simples sur la physique des photodiodes, et on a montré qu'une formule similaire, déjà publiée, n'était pas correcte.

Enfin, pour d'éventuelles futures comparaisons de lampes étalons d'éclairement ou de luminance énergétique spectrale, on a poursuivi l'automatisation d'un monochromateur double qui sera piloté par un micro-ordinateur IBM-PC.

5.2. Photométrie

On continue à se préoccuper de la stabilité des lampes étalons d'intensité lumineuse (*voir* Rapport 1988, p. 82) et on espère que, dans les années à venir, l'un des fabricants de ce type de lampes les améliorera sur deux points : qualité de la fenêtre d'observation et constance du débit thermique à la liaison culot-douille.

5.3. Études courantes

Des lampes étalons d'intensité et de flux lumineux ont été étalonnées pour les laboratoires nationaux de Bulgarie, Pologne, Roumanie et Suède.

Publications, conférences et voyages : section de radiométrie, photométrie

Publication

5.1 KÖHLER, R., PELLO, R. et BONHOURE, J. Temperature dependent non linearity effects of a QED-200 detector in the visible. *Applied Optics*, **29**, 1990, pp. 4212-4215.

Exposé

R. Köhler :

— Optical radiometry at the BIPM, University of British Columbia, Vancouver, Canada, 6 avril 1989.

Congrès, réunions de commissions diverses, visites de laboratoires n'ayant pas donné lieu à un exposé

R. Köhler :

— NPL, Teddington (Royaume-Uni), 24-26 octobre 1988 : étalonnage de deux thermopiles et quatre photodiodes ; discussions avec N. Fox et D. Nettleton.

— IEN, Turin (Italie), 13-16 novembre 1988 (avec R. Pello) : discussions avec M. L. Rastello ; examen du radiomètre absolu réalisé à l'origine par F. Hengstberger (Afrique du Sud).

— INM, Paris (France), 20 et 23 décembre 1988 (avec R. Pello) : discussions et comparaisons de récepteurs.

— États-Unis et Canada, 24 mars-21 avril 1989 :

— pour assister à la « Conference on Optical Radiation Measurements », à Orlando,

— pour visiter le JILA (Boulder), le NIST (Gaithersburg) et le NRC (Ottawa).

— Cargese (France), 26 juin-8 juillet 1989, pour une école d'été sur l'optoélectronique.

6. Rayonnements ionisants (A. Allisy* et J. W. Müller**)

6.1. Dosimétrie (A. Allisy et M. Boutillon)

6.1.1. Rayons X (A.-M. Perroche)

Une comparaison directe entre les étalons d'exposition et de kerma dans l'air du BIPM et de l'Országos Mérésügyi Hivatal (OMH), Budapest, a eu lieu dans le domaine des rayons X de faible énergie (10 à 50 kV). Ces étalons avaient déjà été comparés en 1979 et les résultats avaient montré que le diaphragme de l'étalon de l'OMH n'était pas adéquat. Ce laboratoire en a construit un nouveau et l'accord entre les deux étalons est maintenant meilleur : le rapport des débits de kerma dans l'air déterminé avec les deux étalons varie de 0,997 à 1,002 en fonction de la qualité du rayonnement. Une partie de cette variation peut s'expliquer par celle que l'on observe lorsque l'on compare ionométriquement le nouveau diaphragme de l'OMH avec celui du BIPM.

L'étalon secondaire de kerma dans l'air et d'exposition de l'IRD a été étalonné dans le domaine des rayons X d'énergie moyenne (100 à 250 kV).

6.1.2. Rayonnement gamma du ^{60}Co (M. Boutillon, A.-M. Perroche, V. D. Huynh)

i) Dose absorbée dans le graphite

On a déterminé, théoriquement et expérimentalement, la non-uniformité radiale du faisceau de ^{60}Co du BIPM, dans l'air et dans un fantôme d'eau ou de graphite. On en a déduit la correction due à cet effet, applicable aux détecteurs utilisés pour les mesures de dose absorbée. Les résultats des comparaisons internationales de dose absorbée dans le graphite effectuées au BIPM pendant les dix dernières années ont été révisés en tenant compte de cette correction de non-uniformité négligée jusqu'à maintenant, de celle due à la présence d'interstices dans les calorimètres (voir Rapport 1988, p. 85) et de la révision du facteur de correction de perturbation k_p pour l'étalon ionométrique du BIPM (changement de k_p inférieur à 0,1 %). Ces révisions entraînent pour la valeur expérimentale de W , déduite de ces comparaisons, une augmentation d'environ 0,2 % et un changement de 0,05 % sur la valeur moyenne de W calculée à partir des résultats de divers auteurs et publiée en 1987.

* Jusqu'au 31 décembre 1988.

** Depuis le 1^{er} janvier 1989.

Comme mentionné dans le Rapport de 1988 (p. 84), la nouvelle source de ^{60}Co est plus petite que la précédente, si bien que le spectre du rayonnement peut être sensiblement différent. Pour évaluer l'influence du changement de source sur la courbe de dose absorbée en fonction de la profondeur, on a fait des mesures dans le nouveau faisceau à des profondeurs dans le graphite comprises entre 1 et 18 g/cm² et les résultats ont été comparés aux précédents. La décroissance avec la profondeur est maintenant plus rapide : par exemple, le rapport des doses absorbées à 17 et à 5 g/cm² a diminué de 0,35 %.

ii) Dose absorbée dans l'eau

Les premières expériences faites en 1986 par M.-T. Niatel ont été reprises avec la nouvelle source. Elles concernent la détermination du volume V de la cavité de l'étalon de dose absorbée dans l'eau par comparaison ionométrique, dans l'air et dans le graphite, avec le volume connu de la cavité des étalons d'exposition et de dose absorbée dans le graphite. Les résultats sont compatibles avec les précédents (écarts n'excédant pas 0,05 %).

La stabilité de l'étalon de dose absorbée dans l'eau a été contrôlée à la profondeur de 5 g/cm². Le fantôme est rempli et vidé tous les jours pour éviter une modification à long terme de la face avant du fantôme sous l'influence de l'humidité. Le plus grand soin est apporté à la mise en place de la chambre : quand le fantôme est rempli d'eau, sa face avant subit une distortion non négligeable et la position de la chambre doit être ajustée en conséquence. On a observé une bonne stabilité des mesures du courant d'ionisation faites pendant une période d'un mois ($\sigma = 0,02$ %).

Une irradiation de dosimètres thermoluminescents a été effectuée pour l'AIEA dans le fantôme d'eau du BIPM. Les dosimètres ont reçu une dose absorbée égale à 2 Gy. Les résultats de l'AIEA sont en accord avec les valeurs du BIPM à 1,0 % près.

iii) Kerma dans l'air

Deux chambres d'ionisation de transfert appartenant à l'IRD ont été étalonnées en termes de kerma dans l'air et d'exposition. La stabilité de l'une d'entre elles a été contrôlée pendant un mois. Ces chambres servent d'instruments de transfert pour des vérifications périodiques au BIPM.

Trois chambres à paroi équivalente au tissu (TE) et une chambre en magnésium (Mg), utilisées dans la comparaison de dosimétrie neutronique, ont été réétalonnées dans le faisceau de rayons gamma du ^{60}Co . Leur stabilité est compatible avec les fluctuations observées pendant la comparaison. De plus, deux nouvelles chambres TE ont été étalonnées.

6.1.3. Mesures neutroniques (V. D. Huynh)

i) *Comparaison internationale de dosimétrie neutronique organisée par le BIPM*

Le rapport final de la comparaison internationale de dosimétrie neutronique organisée par le BIPM a été publié comme Rapport BIPM-88/5. À la demande de l'ETL, une comparaison bilatérale a eu lieu entre ce laboratoire et le BIPM, d'août à octobre 1988, dans le but d'élucider la raison pour laquelle les résultats des mesures de kerma de neutrons de l'ETL s'écartaient de 4 à 5 % des valeurs moyennes de ceux des autres participants. La nouvelle comparaison a montré que les résultats de l'ETL sont maintenant en bon accord avec ceux du BIPM (différence de 1 % seulement). L'écart entre les mesures de l'ETL effectuées en 1986 et en 1988 est dû aux facteurs d'étalonnage des chambres d'ionisation TE dans un faisceau de photons.

ii) *Étude des chambres au magnésium*

En utilisant différents types de tuyaux à gaz et en doublant la longueur de certains d'entre eux, on a mesuré les réponses des chambres Mg (type Exradin MG2), dans un champ de photons de ^{60}Co , en fonction du débit d'argon. Les résultats ont montré que les réponses obtenues avec des tuyaux de Voltalef, qui sont couramment utilisés au BIPM, sont inférieures à celles que l'on obtient avec tous les autres types de tuyaux de même longueur ($2 \times 2,30$ m). Ainsi, on a observé des différences de 0,2 % (téflon), 0,8 % (chlorure de polyvinyle), 1,3 % (tygon) et 1,4 % (caoutchouc, type feuille anglaise) pour un débit de gaz d'environ $25 \text{ cm}^3/\text{min}$ et on a obtenu des différences de 2,0 % (tygon) et de 2,1 % (caoutchouc) quand la longueur des tuyaux était doublée ($2 \times 4,60$ m). Il est probable que ces observations permettront d'expliquer les résultats de la comparaison internationale de dosimétrie neutronique ; en effet, les réponses de la chambre Mg du BIPM, mesurée au BIPM, étaient en moyenne inférieures d'environ 2 % à celles des autres participants.

iii) *Étalonnage des détecteurs à scintillation liquide NE 213*

À la demande du Service Conception Expérimentale des Mesures, CEB-III (Bruyères-le-Châtel), trois détecteurs à scintillation liquide NE 213 ont été étalonnés au BIPM dans le faisceau de neutrons de 14,65 MeV. À l'occasion de cet étalonnage, un nouveau programme Fortran a été mis au point pour évaluer les débits de fluence de neutrons pendant les mesures. Ce programme utilise l'ordinateur IBM-PC pour enregistrer les données à l'entrée et calculer les résultats.

6.2. Radionucléides (J. W. Müller)

6.2.1. Mesures d'activité (G. Ratel, J. W. Müller)

i) Comparaisons internationales de mesures d'activité

a) ^{125}I (comparaison à grande échelle). Après réception des résultats de tous les laboratoires ayant pris part à la comparaison internationale de mesures d'une solution de ^{125}I , on a préparé un projet de rapport qui a été expédié pour commentaires aux participants. Ce rapport sera présenté à la prochaine réunion de la Section II du CCEMRI et servira de base pour une discussion sur les méthodes utilisées et les résultats obtenus. Les conclusions seront intégrées à la version finale du rapport.

On peut souligner quelques aspects importants de cette comparaison. Dix-neuf laboratoires y ont participé et six méthodes différentes ont été utilisées avec divers systèmes de détection. La plupart des laboratoires ont utilisé une ou deux de ces méthodes, mais deux d'entre eux en ont utilisé quatre. Les résultats finaux et leurs incertitudes sont représentés à la figure 6.1. Deux des méthodes les plus couramment utilisées sont décrites dans le rapport de 1988 (p. 93).

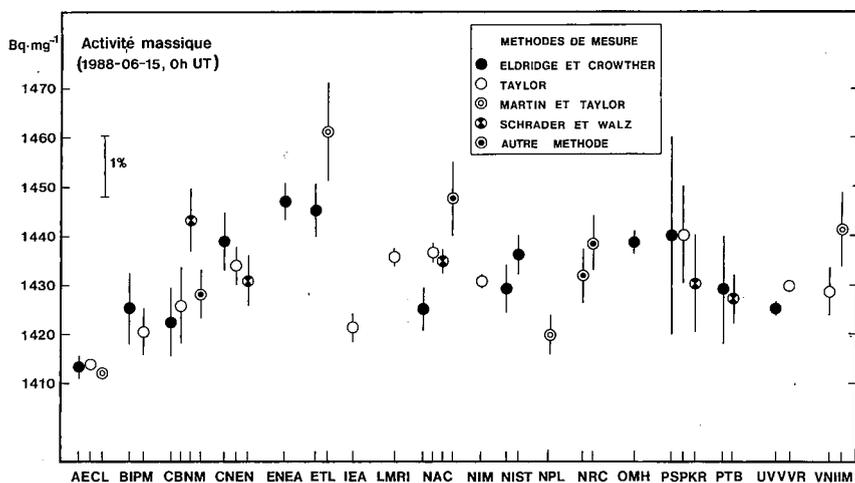


Fig. 6.1. — Représentation graphique des résultats de la comparaison internationale de ^{125}I (à l'exception d'un résultat aberrant).

La dispersion totale des résultats, si l'on exclut un résultat aberrant, est de 3,5 %. La valeur moyenne, fondée sur les 38 résultats communiqués au BIPM, est estimée à $(1\,425,3 \pm 1,4)$ Bq/mg (en utilisant des poids

statistiques), à la date de référence (1988-06-15). Il est évident que l'incertitude pour un laboratoire individuel serait plus importante. Dans le cas présent, on peut considérer que cette incertitude se situerait aux environs de 0,6 %. Cinq laboratoires ont déterminé la période du ^{125}I ; leurs valeurs sont comprises entre 59,29 d et 59,90 d. Trois d'entre eux ont obtenu une valeur de 59,39 d.

b) ^{75}Se (comparaison restreinte). À la demande de la Section II du CCEMRI, une comparaison préliminaire de ^{75}Se a été prévue pour le printemps de 1989. Cinq laboratoires, tous membres du Groupe de travail sur les comparaisons internationales futures (AECL, BIPM, LMRI, OMH et PTB) ont accepté de prendre part à cette comparaison dont le but est de trouver les meilleures conditions de mesures et, en particulier, les conditions de préparation chimique des sources. Ce radionucléide a un niveau métastable à 304 keV de période d'environ 17 ms, ce qui est plutôt long et rend difficile l'emploi de la méthode des coïncidences. Il faut appliquer une correction qui dépend de la valeur de la décroissance nucléaire afin d'obtenir une valeur non biaisée de l'activité; nous essaierons de trouver un moyen de déterminer cette correction expérimentalement. Une détermination exacte de la période du niveau à 304 keV est en cours.

À l'origine, les mesures avaient été prévues pour mars-avril 1989, ce qui aurait permis de discuter les résultats à la réunion de mai 1989 de la Section II du CCEMRI, avant de décider l'organisation d'une comparaison à grande échelle de ce radionucléide. Malheureusement, des problèmes de livraison de la solution par le fabricant ont entraîné un retard d'environ deux mois.

ii) *Système international de référence pour les mesures d'activité d'émetteurs de rayons gamma (SIR)*

Cette année, cinq laboratoires (ASMW, IER, LMRI, NIST et PTB) ont envoyé treize ampoules au BIPM. Ces ampoules contenaient neuf radionucléides différents: ^{54}Mn , ^{59}Fe , ^{75}Se , ^{88}Y , ^{113}Sn , ^{139}Ce , ^{144}Ce , ^{152}Eu et ^{169}Yb . Il en résulte que le nombre des ampoules mesurées depuis la création du SIR s'élève à 516.

6.2.2. Statistiques de comptage (J. W. Müller)

Nos efforts à long terme concernant l'arrangement en série de deux temps morts ont été poursuivis. Cela se justifie par les applications pratiques qui résulteraient d'une solution générale permettant, non seulement de mieux évaluer le taux de comptage originel, mais aussi, en principe, de réduire le problème au cas d'un seul temps mort (généralisé), ce qui éviterait toutes les difficultés majeures que l'on rencontre actuellement.

Il est commode d'exprimer la relation entre les taux de comptage à la sortie (R) et à l'entrée (ρ) (Fig. 6.2) à l'aide de deux facteurs de transmission T sous la forme $R = \rho T_2 T_1$, où T_2 décrit les pertes de comptage dues au second temps mort seulement, tandis que T_1 tient compte de l'effet supplémentaire dû à la présence du premier temps mort. Nous rappelons que T_1 peut être inférieur ou supérieur à l'unité. Le paramètre décrit le « type », avec $\theta = 0$ correspondant au type non étendu (N) et $\theta = 1$ au type étendu (E). Le développement de T_1 en une série formelle de x donne

$$T_1(\theta_1, \theta_2) = \sum_{j=0}^{\infty} a_j(\theta_1, \theta_2) x^j, \quad \text{avec} \quad x = \rho \tau.$$

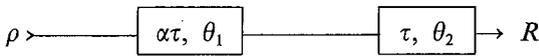


Fig. 6.2. — Schéma d'un arrangement de deux temps morts généralisés (τ, θ) et taux de comptage correspondants. Le processus à l'entrée est supposé poissonien.

Puisque $a_0 = 1$ et $a_1 = 0$, nous recherchons essentiellement a_2, a_3 et a_4 . Si l'on détermine ces coefficients pour des cas limites connus (avec $\theta = 0$ ou 1), on trouve que a_j dépend, non seulement de la valeur, mais aussi du « domaine » de α . De plus, pour le cas T_1 (N, N), il a d'abord fallu trouver une description plus générale avant de pouvoir déterminer les coefficients nécessaires. Une étape importante vers la solution générale a été franchie par la description mathématique du cas $T_1(\theta, E)$. Pour des informations techniques plus détaillées, on peut consulter les rapports mentionnés ci-dessous. Le travail se poursuit.

Les techniques de corrélation sont actuellement peu utilisées dans le domaine de la radioactivité. Cela peut paraître surprenant, étant donné qu'elles offrent la possibilité de traiter le cas où le niveau intermédiaire intervenant dans une désintégration en deux étapes a une durée non négligeable. Dans ce contexte, nous avons jugé utile de faire une étude rigoureuse de la distortion produite par un temps mort sur la fonction de corrélation R fondée sur une fonction $y(t)$ simple qui admet seulement les valeurs $+1$ et -1 , les changements se produisant chaque fois qu'une impulsion est enregistrée. Si $P(k)$ est la probabilité d'observer k événements dans un intervalle de temps t , il est facile de montrer que la corrélation est donnée par l'espérance mathématique

$$\begin{aligned} R(t) &= E\{y(t') y(t' + t)\} \\ &= P(k \text{ pair}) - P(k \text{ impair}) = 1 - 2 P(k \text{ impair}). \end{aligned}$$

En substituant les expressions exactes connues (mais compliquées) de $P(k)$ obtenues pour un processus de Poisson déformé par un temps mort (de l'un ou de l'autre type), la fonction de corrélation peut être

évaluée rigoureusement. Par ailleurs, $R(t)$ se mesure aussi directement avec un compteur modulo 2 qui n'est sensible qu'à la parité des impulsions enregistrées en t (appareil que P. Bréonce est en train de construire). Une comparaison de l'expérience avec la théorie nous permettra alors de déterminer le temps mort concerné et son type. Cette méthode est une des rares qui soient connues pour mesurer le « premier temps mort », autrement inaccessible, dû à la détection et à l'amplification des événements nucléaires. Une description détaillée de cette nouvelle approche est en cours.

Publications, conférences et voyages : section des rayonnements ionisants

Publications

- 6.1 ALLISY, A. et MÜLLER, J. W. Evaluation of uncertainties. In : *Absorbed Dose Determination in Photon and Electron Beams, An International Code of Practice* (IAEA, Vienna, 1987), pp. 73-77.
- 6.2 BOUTILLON, M. Gap correction for the calorimetric measurement of absorbed dose in graphite with a ^{60}Co beam. *Phys. Med. and Biology*, **34**, 1989, pp. 1809-1821.
- 6.3 DE ALMEIDA, C. E., PERROCHE-ROUX, A.-M. et BOUTILLON, M. Perturbation correction of a cylindrical thimble-type chamber in a graphite phantom for ^{60}Co gamma rays. *Phys. Med. and Biology*, **34**, 1989, pp. 1443-1449.
- 6.4 MÜLLER, J. W. Messunsicherheiten - ein persönlicher Rück- und Ausblick, *PTB-Bericht* PTB-FMRB-118 (Braunschweig, 1988), pp. 19-34.
- 6.5 PERROCHE, A.-M. et BOUTILLON, M. Measurement of ambient dose equivalent and directional dose equivalent in a ^{60}Co beam. *Rad. Prot. Dosimetry*, **27**, 1989, pp. 139-148.
- 6.6 SMITH, D. et MÜLLER, J. W. Accidental-coincidence corrections. *Rev. Sci. Instr.*, **60**, 1989, pp. 143-147.

Rapports BIPM

- 6.7 BOUTILLON M. et PERROCHE A.-M. Radial non-uniformity of the BIPM ^{60}Co beam. *Rapport BIPM-89/2*, janvier 1989, 9 pages.
- 6.8 HUYNH, V. D. Participation du BIPM à la comparaison internationale de mesures de débit de fluence de neutrons utilisant deux chambres à fission. *Rapport BIPM-88/10*, septembre 1988, 5 pages.
- 6.9 MÜLLER, J. W. Statistiques de comptage. *Rapport BIPM-88/11*, octobre 1988, 4 pages.
- 6.10 MÜLLER, J. W. The transmission factor T_1 (N, N) revisited. *Rapport BIPM-88/12*, octobre 1988, 20 pages.

- 6.11 MÜLLER, J. W. Some series expansions of T_1 . *Rapport BIPM-88/13*, novembre 1988, 8 pages.
- 6.12 MÜLLER, J. W. Explicit evaluation of the transmission factor T_1 (θ, E), part II. *Rapport BIPM-88/14*, décembre 1988, 10 pages.
- 6.13 PERROCHE, A.-M. et JAKAB, A. Comparison of the air kerma and exposure standards of the OMH and BIPM for X rays (10 to 50 kV). *Rapport BIPM-89/3*, mai 1989, 9 pages.
- 6.14 RATEL, G. International comparison of activity measurements of a solution of ^{125}I (May 1988), document CCEMRI(II)/89-2, 87 pages.

Communications

M. Boutillon :

— Comparaisons internationales de mesures de dose absorbée dans le graphite, dans un faisceau de ^{60}Co , Congrès annuel de la Société française des physiciens d'hôpital, Lyon (France), juillet 1989.

Congrès, réunions de commissions diverses, visites de laboratoires n'ayant pas donné lieu à un exposé

M. Boutillon :

— NPL les 7 et 8 novembre 1988. Elle y a discuté le problème des corrections d'interstices à appliquer dans la détermination calorimétrique de la dose absorbée dans le graphite et a visité les laboratoires du groupe de dosimétrie.

— Participation, avec A.-M. Perroche, au 10th Symposium on Microdosimetry, à Rome, du 21 au 26 mai 1989.

J. W. Müller :

— les 25 et 26 mai 1989 au BIPM, Sèvres, réunion de l'ICRU Committee on Fundamentals of Particle Counting applied to Radioactivity Measurements dont il est le président,

— du 5 au 9 juin 1989, réunion de l'International Committee for Radionuclide Metrology, à la PTB, Braunschweig.

— les 22 et 23 juin 1989, réunion de l'ISO/TAG 4 Working Group on the Expression of Uncertainties, Genève.

G. Ratel :

— Visite du groupe de mesure des radionucléides du NRC, Ottawa, les 31 juillet et 1^{er} août 1989, avec un exposé sur les travaux du BIPM dans le domaine de mesure des radionucléides.

— Visite de l'AECL, Chalk River, du 2 au 4 août 1989, et discussion des comparaisons internationales récentes.

— Stage dans le groupe de mesure des radionucléides du NIST, Gaithersburg, du 14 août au 1^{er} septembre 1989, pour discuter le projet d'extension du Système international de référence et les avantages offerts dans ce domaine par le comptage à scintillation liquide.

J. W. Müller, G. Ratel, P. Bréonce, V. D. Huynh et M. Boutillon ont pris part à la réunion de la Section II du CCEMRI, du 29 au 31 mai 1989.

7. Publications

7.1. Publications du BIPM

Depuis octobre 1988 ont été publiés :

Procès-verbaux des séances du Comité international des poids et mesures, **56**, (77^e session, octobre 1988), 148 pages.

Comité consultatif d'électricité, 18^e session (1988), 168 pages.

Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées, 3^e session (1988), 70 pages.

Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants, Sections I, II, III (1988), 136 pages.

Recueil des travaux du BIPM, **11** (1987-1988).

Rapport annuel de la Section du temps du BIPM, **vol. 1**, 1988, 136 pages.

Circulaire T (mensuelle), 4 pages.

7.2. Metrologia (R. P. Hudson)

Du 1^{er} janvier au 31 décembre 1988, 52 manuscrits ont été soumis à *Metrologia*. Parmi ceux-ci, 17 ont été publiés en 1988, 23 seront publiés en 1989, 4 ont été refusés et 8 étaient encore à l'étude au 31 mai 1989. Les manuscrits traitant de la thermométrie (14) et l'électricité (9) étaient les plus nombreux. Du 1^{er} janvier au 30 septembre 1989, nous avons reçu 30 manuscrits. Ces chiffres s'inscrivent bien dans la moyenne, et sont comparables à ceux des années passées.

Les articles de synthèse publiés dans *Metrologia* sont maintenant mentionnés dans *Reviews of Modern Physics*, dans la rubrique consacrée aux articles parus dans les revues extérieures, ce qui devrait nous faire un peu de publicité. Le projet d'élargir le cadre de *Metrologia* en demandant aux laboratoires nationaux de métrologie et aux autres organismes intéressés de nous soumettre des articles de synthèse sur les techniques de mesure mises en œuvre et recommandées n'a malheureu-

sement pas abouti, à l'exception d'un article sur les mesures effectuées à l'aide de l'effet Hall quantique.

Dans le premier numéro de 1989 est paru un article de toute première importance, et d'un très grand intérêt, sur les nouveaux étalons électriques internationaux de référence fondés sur l'effet Josephson et l'effet Hall quantique.

Des discussions étendues (faisant suite à celles des dernières années) se sont déroulées au sujet de l'avenir de *Metrologia* et au sujet du remplacement de son actuel rédacteur, lequel doit partir en retraite au 31 octobre 1989. Ce dernier a aidé le directeur du BIPM à sélectionner les candidats à ce poste et a rencontré certains d'entre eux.

7.3. Publications extérieures

Une liste détaillée des publications extérieures est donnée à la fin du rapport de chaque section.

8. Certificats et notes d'étude

Du 1^{er} octobre 1988 au 30 septembre 1989, 32 certificats et 4 notes d'étude ont été délivrés.

CERTIFICATS

1988

N^o

24. Un étalon de masse de 1 kg en acier inoxydable	Office national des mesures, Budapest, Hongrie.
25. Etalon de résistance de 1 Ω , N ^o 1132427 (addition)	CSIR Division of Production Technology, Pretoria, Afrique du Sud.
26. Etalon de résistance de 1 Ω , N ^o 1816192 (addition)	Service de la métrologie, Bruxelles, Belgique.
27. Etalon de résistance de 1 Ω , N ^o 1816196 (addition)	Id.
28. Etalon de résistance de 100 Ω , N ^o 226750 (addition)	Id.
29. Etalon de résistance de 100 Ω , N ^o 246709	Id.
30. Etalon de force électromotrice à diode de Zener, modèle 732A, N ^o 3435024 (addition)	CSIR, Division of Production Technology, Pretoria, Afrique du Sud.
31. Etalon de force électromotrice à diode de Zener, modèle 732A, N ^o 4035012	Office fédéral de métrologie, Wabern, Suisse.
32. Quatre étalons de force électromotrice N ^{os} 21417, 21419, 21677, 21680	Bureau fédéral des mesures et métaux précieux, Belgrade, Yougoslavie.
33. Quatre étalons de force électromotrice N ^{os} 4095, 3319, 5391, 5691	Institut national de métrologie, Bucarest, Roumanie.
34. Quatre étalons de force électromotrice N ^{os} 5674, 4604, 5171, 5488	Id.

1989

1. Etalon de résistance de 1 Ω , N ^o 1634204 (addition)	Statens Provningsanstalt, Borås, Suède.
2. Etalon de résistance de 1 Ω , N ^o 1684332 (addition)	Id.
3. Etalon de résistance de 100 Ω , N ^o 234950	Id.
4. Etalon de résistance de 10 000 Ω , N ^o 243108	Id.

1989 (suite)

N°

5. Trois étalons secondaires de température de couleur N^{OS} 204/505, 205/506, 206/507 (addition) Institut national de métrologie, Bucarest, Roumanie.
6. Sept étalons secondaires d'intensité lumineuse (2800 K) N^{OS} 195/473, 196/474, 197/475, 198/476, 199/477, 201/479, 202/480 (addition) Id.
7. Sept étalons secondaires de flux lumineux (2800 K) N^{OS} 1/864, 2/865, 3/866, 5/868, LP8885, LP8886, LP8888 (addition) Id.
8. Etude et étalonnage de la chambre d'ionisation Shonka 157. Rayons X (100 à 250 kV) Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Rio de Janeiro, Brésil.
9. Etude et étalonnage de la chambre d'ionisation NE 2561-287. Rayonnement gamma du ⁶⁰Co Id.
10. Etude et étalonnage de la chambre d'ionisation TK01-141. Rayonnement gamma du ⁶⁰Co Id.
11. Etalon de résistance de 1 Ω, N° 1883431 (addition) EOLAS, Irish Science & Technology Agency, Dublin, Irlande.
12. Etalon de résistance de 10 000 Ω, N° 1876641 (addition) Id.
13. Etalon de force électromotrice à diode de Zener, modèle 732 A, N° 4185005 Id.
14. Huit étalons secondaires d'intensité lumineuse (2800 K), N^{OS} 1961, 2171, 101, 202, 303, 404, 505, 606 (addition) Comité de la qualité, Sofia, Bulgarie.
15. Etalon de force électromotrice à diode de Zener, modèle 732 A, N° 3795009 (addition) Service de la métrologie, Bruxelles, Belgique.
16. Cinq étalons secondaires d'intensité lumineuse (2800 K) N^{OS} SB 21015, SB 21016, SB 21017, SB 21018, SB 21019 . Polski Komitet Normalizacji Miar i Jakosci, Varsovie, Pologne.
17. Quatre étalons secondaires d'intensité lumineuse (2800 K) N^{OS} 650-3472, 666-3473, 695-3476, 655 Statens Provningsanstalt, Borås, Suède.
18. Deux étalons secondaires de flux lumineux (2800 K) N^{OS} 3464, 2 (addition) Id.
19. Deux étalons secondaires de flux lumineux (2800 K) N^{OS} 250 D, 250 E Id.

1989 (suite)

N°		
20.	Etalon de résistance de 1 Ω , N° 1870791 (addition)	Inspection générale de la métrologie, Bruxelles, Belgique.
21.	Etalon de résistance de 1 Ω N° 1870794 (addition)	Id.

NOTES D'ETUDE

1989

1.	Etalon de résistance de 1 Ω , N° 1634204 (complément)	Statens Provningsanstalt, Borås, Suède.
2.	Etalon de résistance de 1 Ω , N° 1684332 (complément)	Id.
3.	Etalon de résistance de 100 Ω , N° 234950 (complément)	Id.
4.	Cinq étalons secondaires de flux lumineux (2353 K), N°s TA 1415B, TA 1416B, TA 1417B, TA 1418B, TA 1419B (addition)	Polski Komitet Normalizacji Miar I Jakosci, Varsovie, Pologne.

IV. — ACTIVITÉS ET RELATIONS EXTÉRIEURES

1. Travaux en liaison avec des organismes internationaux et nationaux

T. J. Quinn participe régulièrement aux travaux du Conseil scientifique de l'IMGC (Turin). Il continue de participer aux travaux du CODATA Task Group on Fundamentals Constants, en qualité de président. Il est membre de l'UICPA Interdivisional Committee on Nomenclature and Standards, de l'Associate Committee on Standards of Physical Measurement du NRC (Ottawa) et du comité scientifique du Laboratoire de l'horloge atomique (Orsay). Il a été en 1989 co-directeur (avec L. Crovini de l'IEN) de l'International School of Physics 'E. Fermi', intitulée Metrology at the Frontiers of Physics and Technology.

J. Bonhoure a été nommé expert de langue française du comité technique 7.06 « Terminologie de l'éclairage » de la Commission internationale de l'éclairage.

B. Guinot participe au travail de l'UAI, l'UGGI et du CCIR. Il est membre des conseils scientifiques du BNM et du Groupe de recherches de géodésie spatiale (France). Il est président du conseil scientifique français du Bureau central de l'IERS. Il est membre du Bureau des longitudes, correspondant de l'Académie des Sciences de Paris et membre de l'Academia Europaea.

J. W. Müller a été nommé membre du comité [de rédaction] scientifique de *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*. Il

est aussi président du comité ICRU qui a pour tâche de rédiger un rapport sur « Fundamentals of Particle Counting applied to Radioactivity Measurements ». Il est membre du groupe de travail TAG 4 de l'ISO sur l'expression des incertitudes.

P. Giacomo (directeur honoraire) a accepté de continuer à collaborer au nom du BIPM à la préparation de la 2^e édition du Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie.

2. Réunions au BIPM

ISO/TC 12 Advisory Panel, 17-18 février 1989

Réunion des représentants des laboratoires de temps, 17-18 avril 1989

CCDS, 19-20 avril 1989

Groupe de travail de l'ICRU, 25-26 mai 1989

CCEMRI Section II, 29-31 mai 1989

ICRU, 26-30 juin 1989

Groupe de travail I du CCT (EIT-90), 22-23 février et 12 juillet 1989

CCT, 12-14 septembre 1989.

3. Visites et stages au BIPM

3.1. Chercheurs associés

Mme A.-M. Perroche (SCPRI, Le Vésinet) a poursuivi sa participation au travail de la section des rayonnements ionisants (rayons X et γ , électrons) comme elle le fait depuis 1961.

M. C. E. de Almeida (IRD, Rio de Janeiro) est venu au BIPM du 17 au 21 octobre 1988 discuter de l'étalonnage de chambres d'ionisation de son laboratoire et de la publication d'un article sur la perturbation d'une chambre d'ionisation de type « dé à coudre » dans le graphite.

Lors de son séjour au BIPM, du 10 octobre 1988 au 12 décembre 1989, Mme M. H. Maréchal (IRD, Rio de Janeiro) a amélioré et vérifié le fonctionnement du compteur proportionnel à pression qu'elle avait construit au cours de son précédent stage au BIPM en 1987.

M. O. Cramer (CSIR, Pretoria) est venu au BIPM du 21 novembre au 2 décembre 1988 s'informer sur les lasers à He-Ne stabilisés sur l'absorption saturée de l'iode.

MM. X. Lecat, J. Gonin et C. Rubbelynk (Centre d'études de Bruyères-le-Châtel (CEB-III) du Commissariat à l'énergie atomique) ont effectué un stage au BIPM du 20 au 24 février 1989. Ils ont étalonné leurs scintillateurs liquides de type NE 213 dans le champ de neutrons de 14,65 MeV du BIPM.

M. Carneiro et M. Larson (DFM, Copenhague) sont venus au BIPM du 10 au 14 avril 1989 pour des études de surface du platine iridié à l'aide d'un microscope à balayage à effet tunnel.

Mlle C. Ramus (École nationale supérieure de sciences appliquées et de technologies, Lannion, France) a effectué un stage au BIPM du 1^{er} mai au 31 juillet 1989 pour construire un laser à He-Ne à $\lambda = 633$ nm stabilisé sur le Lamb-dip.

M. K. R. Shortt (NRC, Ottawa) a séjourné au BIPM du 17 au 21 juillet 1989 pour y effectuer des comparaisons de kerma dans l'air et de dose absorbée dans l'eau, dans le faisceau de rayonnement γ du ^{60}Co .

M. J. Geist (NIST, Gaithersburg) a séjourné du 25 juillet au 8 août 1989 à la section de radiométrie.

M. R. E. Elmquist (NIST, Gaithersburg) a effectué un stage du 5 au 29 septembre 1989 à la section d'électricité pour étudier les techniques et matériels nécessaires à la construction d'un comparateur cryogénique de courants et leur application aux résistances courantes et à la résistance de Hall quantifiée.

3.2. Visiteurs

— Mme M. L. du Préez (CSIR Division of Production Technology, Pretoria), 3 octobre 1988 (rayons X et γ).

— M. D. von Gegerfelt, (Melles Griot Europe), 21 octobre 1988 (lasers).

— M. O. Tengblad (Chalmers University of Technology, Göteborg, Suède), 27 octobre 1988 (lasers).

— Prof. P. Connes (Service d'aéronomie du CNRS, Verrières-le-Buisson), 18 novembre 1988 (lasers).

— MM. G. Elkin et N. Koshelyrevskii (Gosstandart, Moscou), 18 novembre 1988 (lasers).

— M. E. Funck (PTB, Braunschweig), 21 novembre 1988 (rayonnements ionisants, et en particulier statistiques de comptage).

— MM. Barbe et Vander (Faculté de Reims), 7 décembre 1988 (lasers).

— M. A. Michel (ETCA, Arcueil), 13 décembre 1988 (lasers).

— M. R. S. Davis (section des masses du NIST, Gaithersburg), 6 février 1989.

— M. Bernage (Université de Lille), 8 février 1989 (lasers).

— M. Y. Millerioux (INM, Paris), 9 février 1989 (lasers).

— M. L. Kasturi Rangan (Lockeed, É.-U d'Amérique), 20 février 1989 (lasers).

— M. F. Bertinotto (IMGC, Turin), 7 mars 1989 (lasers).

— M. G. D. Chapman (section des masses du NRC, Ottawa), 13 mars 1989.

- M. Varbanov (Bulgarie), 16 mars 1989 (lasers).
- 20 étudiants de l'École des mines de Douai, section « Métrologie, qualité », 22 mars 1989 (lasers, masses).
- M. J. Nicolas (Inspection générale de la métrologie, Bruxelles), 4 avril 1989 (électricité).
- M. Dao-Phan Phuc (Corée du Sud), 6 avril 1989 (lasers).
- M. J. O. Liljenzin et 35 étudiants de la Chalmers University of Technology (Göteborg, Suède), 11 avril 1989 (sections des rayonnements ionisants, des masses, gravimétrie et lasers),
- M. D. Dominguez (PTB/Max Planck Institute), 14 avril 1989 (électricité).
- M. I. K. Harvey (CSIRO, Lindfield), 17 avril 1989 (électricité).
- MM. Musaed, M. Al-Muhaisni et A. Loufty El Sayed (Saudi Arabian Standards Organization, Riyadh, Royaume d'Arabie Saoudite), 10 mai 1989 (électricité).
- M. Suarez (Portugal), 24 mai 1989 (lasers).
- MM. E. Braun et P. Warnecke (PTB, Braunschweig), 29 mai 1989 (électricité).
- MM. P. de la Court et C. Peters (VSL, Delft), 29 mai 1989 (électricité).
- M. G. Boella (IEN, Turin), 31 mai 1989 (électricité).
- M. M. E. Cage (NIST, Gaithersburg), 1^{er} juin 1989 (électricité).
- M. B. M. Wood (NRC, Ottawa), 1^{er} juin 1989 (électricité).
- M. D. Gauyacq, M. M. Horani, M. S. Guizarel, Mme D. Chapoulard et M. G. Lefevre (Laboratoire de photophysique moléculaire du CNRS, Orsay), 1^{er} juin 1989 (lasers).
- M. H. Nakamura (ETL/JICA, Tsukuba/Damascus), 9 août 1989 (électricité).
- M. I. M. H. Saad (NIS, Le Caire), 29 août 1989 (électricité).
- M. A. D. Inglis (NRC, Ottawa), 30 août 1989 (électricité).
- MM. Ch. V. Koijmans et C. Oosterman (VSL, Delft), 30 août 1989 (électricité).
- M. W. Marais (CSIR, Pretoria), 6 septembre 1989 (électricité).

4. Exposés au BIPM

Sont ici présentés les exposés faits au BIPM, par des visiteurs et des membres du personnel, dans le cadre de l'information du personnel :

M. Imae (chercheur associé du CRL) : Récepteur GPS double fréquence pour la mesure du contenu total en électrons de l'ionosphère : application aux comparaisons de temps, 24 octobre 1988.

A. Allisy : Le programme scientifique de la Commission internationale des unités et mesures de rayonnement (ICRU), 16 novembre 1988.

B. Guinot : Autour de la variance d'Allan, 14 décembre 1988.

P. Carré: Présentation du langage de programmation « Turbo PASCAL », 17 janvier 1989.

Ch. Salomon (École normale supérieure, Paris): Le refroidissement d'atomes par laser, 15 février 1989.

M. Boutillon: Principe de la méthode de Monte Carlo, 20 mars 1989.

L. Robertsson: «Observations on the data from the international comparison of measurements on line scales», 16 mai 1989.

P. Riéty (Institut national de métrologie, Paris): Histoire du kilogramme, 12 juin 1989.

M. Himbert (Institut national de métrologie, Paris): L'hélium-3 polarisé gazeux, 19 septembre 1989.

Note: Tout ce qui concerne les activités extérieures du personnel du BIPM (voyages, visites, conférences et exposés) est incorporé dans le cadre de chaque section.

V. — COMPTES

Les tableaux suivants sont la reproduction des tableaux qui figurent dans le « Rapport annuel sur la situation administrative et financière du Bureau international des poids et mesures » relatif à l'exercice 1988.

Compte I. — Fonds ordinaires *

RECETTES

	francs-or
ACTIF AU 1 ^{er} JANVIER 1988	13 743 538,35
Recettes budgétaires	18 468 183,18
Taxes sur les achats remboursées	927 724,90
Différences de change	64 691,80
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1988	258 079,78
Total	<u>33 462 218,01</u>

DÉPENSES

	francs-or
Dépenses budgétaires	20 429 356,48
Taxes sur les achats remboursables	1 347 772,66
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1988	11 685 088,87
Total	<u>33 462 218,01</u>

DÉTAIL DES RECETTES BUDGÉTAIRES

		francs-or
Versements de contributions :		
au titre de l'exercice 1988	14 984 014	} 17 260 344,00
au titre de l'exercice 1987	1 885 539	
au titre de l'exercice 1986	240 636	
au titre de l'exercice 1985 et antérieurs	394	
au titre de l'exercice 1989	85 355	
Prélèvement sur le compte « Remboursement aux États »	64 406	
Intérêts des fonds		972 784,74
Taxes de vérification		11 198,55
Recettes diverses { cession de prototypes (kg). 211 799,82		} 223 855,89
divers	12 056,07	
Total		<u>18 468 183,18</u>

* Dans ce compte, comme dans les suivants, on utilise le franc-or défini par l'équivalence 1 franc = 1,81452 franc français.

DÉTAIL DES DÉPENSES BUDGÉTAIRES.

Chapitres	Dépenses de l'exercice	Prévisions budgétaires	Économies	Dépassements
A. Dépenses de personnel :				
1. Traitements	8 359 454,00	8 180 000	—	179 454,00
2. Allocations familiales et sociales	1 438 862,98	1 271 000	—	167 862,98
3. Sécurité Sociale	868 617,00	1 002 000	133 383,00	—
4. Assurance-accidents du travail	89 831,00	88 000	—	1 831,00
5. Caisse de retraites (a)	1 636 000,00	1 636 000	—	—
B. Dépenses de fonctionnement :				
1. Mobilier	297 739,20	100 000	—	197 739,20
2. Laboratoires et ateliers	1 243 364,48	972 000	—	271 364,48
3. Chauffage, eau, énergie électrique	392 007,84	450 000	57 992,16	—
4. Assurances	40 036,48	33 000	—	7 036,48
5. Impressions et publications	244 716,62	210 000	—	34 716,62
6. Frais de bureau	373 550,78	330 000	—	43 550,78
7. Voyages et transports d'appareils	406 271,15	300 000	—	106 271,15
8. Entretien courant	310 281,78	211 000	—	99 281,78
9. Bureau du Comité	57 000,00	57 000	—	—
C. Dépenses d'investissement :				
1. Laboratoires	1 530 094,61	1 320 000	—	210 094,61
2. Atelier de mécanique	290 972,52	15 000	—	275 972,52
3. Atelier d'électronique	—	10 000	10 000,00	—
4. Bibliothèque	185 689,00	165 000	—	20 689,00
D. Dépenses de bâtiments (gros travaux d'entretien et de rénovation) (b)				
	2 359 810,04	1 800 000	—	559 810,04
E. Frais divers :				
1. Divers (c)	106 726,14	50 000	—	255 057,00
2. Achat d'un central téléphonique	198 330,86			
Totaux	20 429 356,48	18 200 000	201 375,16	2 430 731,64

(a) Virement au compte II (Caisse de retraites).

(b) Comprenant un virement de 1 900 000 francs-or au compte V (Réserve pour les bâtiments).

(c) Comprenant un virement de 16 955 francs-or au compte IV (Caisse de prêts sociaux).

Compte II. — Caisse de retraites

RECETTES

	francs-or
ACTIF AU 1 ^{er} JANVIER 1988	13 160 434,56
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1988	254 164,80
Retenues sur les traitements	412 174,26
Virement du Compte I	1 636 000,00
Intérêts des fonds	997 904,41
Total	<u>16 460 678,03</u>

DÉPENSES

	francs-or
Pensions servies	2 075 444,25
Remboursement de versements	16 212,60
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1988	14 369 021,18
Total	<u>16 460 678,03</u>

Compte III. — Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique

RECETTES

	francs-or
ACTIF AU 1 ^{er} JANVIER 1988	214 847,73
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1988	1 390,85
Total	<u>216 238,58</u>

DÉPENSES

	francs-or
Radiométrie	137 474,38
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1988	78 764,20
Total	<u>216 238,58</u>

La dépense de 137 474,38 francs-or correspond à l'achat d'un laser à krypton ionisé.

Compte IV. — Caisse de prêts sociaux

RECETTES

		francs-or
ACTIF AU 1 ^{er} JANVIER 1988	148 514,51	} 230 719,45
Créances au 1 ^{er} janvier 1988	82 204,94	
Créances nouvelles en cours d'année		117 937,53
Amortissements partiels des prêts :		
Capital	79 971,24	} 82 765,81
Intérêts	2 794,57	
Virement du Compte I		16 955,00
Intérêts des fonds		10 337,62
Total		<u>458 715,41</u>

DÉPENSES

		francs-or
Prêts consentis en cours d'année		117 937,53
Créances amorties en cours d'année		79 971,24
Créances au 31 décembre 1988	120 171,23	} 260 806,64
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1988	140 635,41	
Total		<u>458 715,41</u>

Compte V. — Réserve pour les bâtiments

RECETTES

		francs-or
ACTIF AU 1 ^{er} JANVIER 1988		1 359 042,99
Alimentation par le Compte I		1 900 000,00
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1988		1 493,87
Total		<u>3 260 536,86</u>

DÉPENSES

		francs-or
Dépenses Nouveau Pavillon		3 177 304,74
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1988		83 232,12
Total		<u>3 260 536,86</u>

BILAN

AU 31 DÉCEMBRE 1988

	francs-or
Compte I « Fonds ordinaires »	11 685 088,87
Compte II « Caisse de retraites »	14 369 021,18
Compte III « Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique »	78 764,20
Compte IV « Caisse de prêts sociaux »	260 806,64
Compte V « Réserve pour les bâtiments »	83 232,12
ACTIF NET	<u>26 476 913,01</u>

Cet actif se décompose comme suit :

a. Fonds déposés en banque :

	francs-or
1° En monnaie française (1 FRF = 0,551 109 935 FO)	757 109,84
2° En monnaie U.S.A. (1 USD = 6,06 FRF = 3,339 726 209 FO)	84 306,95
3° En monnaie suisse (1 CHF = 4,05 FRF = 2,231 995 238 FO)	2 662 416,04
4° En monnaie britannique (1 GBP = 10,92 FRF = 6,018 120 495 FO)	47 384,88
5° En monnaie allemande (1 DEM = 3,41 FRF = 1,879 284 880 FO)	5 682 957,48
6° En monnaie japonaise (100 JPY = 4,86 FRF = 2,678 394 286 FO)	4 017 591,43
7° En monnaie hongroise (1 HUF = 0,11 FRF = 0,060 622 093 FO)	5 291,59
8° En monnaie polonaise (100 PLZ = 1,20 FRF = 0,661 331 922 FO)	5 099,27
9° En monnaie néerlandaise (1 NLG = 3,02 FRF = 1,664 352 005 FO)	7 174 272,54
10° En ECU (1 XEU = 7,10 FRF = 3,912 880 541 FO)	5 909 930,84

b. Espèces en caisse

10 380,92

ACTIF BRUT

26 356 741,78

c. Créances de la Caisse de prêts sociaux

120 171,23

ACTIF NET

26 476 913,01

Compte « Remboursement aux États »

	francs-or
Situation au 1 ^{er} janvier 1988	64 406,00
Virement au Compte I (compensation du remboursement d'avances faites pour le Pakistan)	- 64 406,00
Situation au 31 décembre 1988	<u>0,00</u>

ÉCHELLE INTERNATIONALE DE TEMPÉRATURE DE 1990 (EIT-90)

Il est à rappeler que la version officielle de l'Échelle internationale de température de 1990 (EIT-90) est la version française. La version anglaise, publiée pour faciliter la diffusion de l'Échelle, a reçu l'agrément du Comité consultatif de thermométrie et du Comité international des poids et mesures.

L'Échelle internationale de température de 1990 a été adoptée par le Comité international des poids et mesures à sa session de 1989, conformément à l'invitation formulée en 1987 par la 18^e Conférence générale des poids et mesures (Résolution 7). Cette échelle remplace l'Échelle internationale pratique de température de 1968 (édition amendée de 1975) et l'Échelle provisoire de température de 1976 entre 0,5 K et 30 K.

1. Unités de température

L'unité de la grandeur physique de base appelée température thermodynamique, symbole T , est le kelvin, symbole K, défini comme la fraction $1/273,16$ de la température thermodynamique du point triple de l'eau¹.

Compte tenu de la façon dont les échelles de température ont été définies précédemment, il demeure courant d'exprimer une température par sa différence à 273,15 K (point de glace). Une température thermodynamique T , exprimée de cette façon, est appelée température Celsius, symbole t , définie par :

$$t/^{\circ}\text{C} = T/\text{K} - 273,15. \quad (1)$$

L'unité de température Celsius est le degré Celsius, symbole $^{\circ}\text{C}$, qui est par définition égal en grandeur au kelvin. On peut exprimer une différence de température en kelvins ou en degrés Celsius.

(¹) Comptes Rendus des Séances de la Treizième Conférence Générale des Poids et Mesures (1967-1968), Résolutions 3 et 4, p. 104.

L'Échelle internationale de température de 1990 (EIT-90) utilise à la fois la température Kelvin internationale, symbole T_{90} , et la température Celsius internationale, symbole t_{90} . La relation entre T_{90} et t_{90} est la même que celle qui existe entre T et t , c'est-à-dire :

$$t_{90}/^{\circ}\text{C} = T_{90}/\text{K} - 273,15. \quad (2)$$

L'unité de la grandeur physique T_{90} est le kelvin, symbole K, et celle de la grandeur physique t_{90} le degré Celsius, symbole $^{\circ}\text{C}$; ce sont les mêmes unités que pour la température thermodynamique T et la température Celsius t .

2. Principe de l'Échelle internationale de température de 1990

L'EIT-90 concerne les températures comprises entre 0,65 K et la température la plus élevée qu'il soit possible de mesurer à partir de la loi de Planck pour un rayonnement monochromatique.

L'EIT-90 comporte des domaines et des sous-domaines de température et, dans chacun d'eux, il existe une définition de T_{90} . Plusieurs de ces domaines ou sous-domaines se recouvrent et, dans les intervalles de recouvrement, des définitions distinctes coexistent : ces définitions sont équivalentes et aucune n'est prépondérante. Au cours de mesures de la plus haute précision, il peut apparaître des différences numériques perceptibles entre des mesures faites à la même température mais suivant des définitions distinctes. De façon similaire, avec la même définition, à une température autre que celle d'un point fixe de définition, deux très bons instruments d'interpolation (des thermomètres à résistance, par exemple) peuvent donner des valeurs numériques de T_{90} qui diffèrent de façon perceptible. À peu près dans tous les cas, ces différences sont négligeables et représentent le seuil compatible avec une échelle de complexité raisonnable ; pour plus ample information sur ce point, voir « Supplementary Information for the ITS-90 »*.

L'EIT-90 a été conçue de telle façon que, sur toute son étendue et pour toute température, T_{90} soit numériquement aussi proche que possible de T suivant les meilleures estimations effectuées au moment de l'adoption de l'échelle. Par comparaison aux mesures directes de la température thermodynamique, les mesures de T_{90} sont faciles, précises et très reproductibles.

Il existe des différences numériques significatives entre les valeurs de T_{90} et les valeurs correspondantes de T_{68} mesurées dans l'Échelle internationale pratique de température de 1968 (EIPT-68) : voir figure 1 et tableau VI. De même, il y avait des différences entre l'EIPT-68 et l'Échelle internationale pratique de température de 1948 (EIPT-48), ainsi

* Voir Monographie BIPM/1990.

qu'entre l'Échelle internationale de température de 1948 (EIT-48) et l'Échelle internationale de température de 1927 (EIT-27) : voir l'annexe et, pour plus de détails, « Supplementary Information for the ITS-90 ».

3. Définition de l'Échelle internationale de température de 1990

Entre 0,65 K et 5,0 K, la température T_{90} est définie au moyen des relations entre la pression de vapeur saturante et la température de ^3He et de ^4He .

Entre 3,0 K et le point triple du néon (24,5561 K), la température T_{90} est définie à l'aide du thermomètre à gaz à hélium étalonné à trois températures réalisables expérimentalement et ayant des valeurs numériques assignées (points fixes de définition), en utilisant des formules d'interpolation spécifiées.

Entre le point triple de l'hydrogène en équilibre (13,8033 K) et le point de congélation de l'argent (961,78 °C), la température T_{90} est définie à l'aide du thermomètre à résistance de platine étalonné à des séries spécifiées de points fixes de définition, en utilisant des formules d'interpolation spécifiées.

Au-dessus du point de congélation de l'argent (961,78 °C), la température T_{90} est définie, à partir d'un point fixe de définition, au moyen de la loi du rayonnement de Planck.

Les points fixes de définition de l'EIT-90 sont donnés au tableau I. Lors de la mise en œuvre des points fixes, il existe un effet de la pression sur la température, pression due à une profondeur d'immersion notable du thermomètre ou à d'autres causes ; cet effet est indiqué au tableau II.

3.1. De 0,65 K à 5,0 K : les relations entre la pression de vapeur saturante et la température de l'hélium

Dans ce domaine, la température T_{90} est définie en fonction de la pression de vapeur saturante p de ^3He ou de ^4He par des relations de la forme :

$$T_{90}/\text{K} = A_0 + \sum_{i=1}^9 A_i [(\ln (p/\text{Pa}) - B)/C]^i \quad (3)$$

Les valeurs des constantes A_0 , A_i , B et C sont données au tableau III, dans le domaine de 0,65 K à 3,2 K pour ^3He , dans les domaines de 1,25 K à 2,1768 K (point λ) et de 2,1768 K à 5,0 K pour ^4He .

TABLEAU I
Points fixes de définition de l'EIT-90

Numéro	Température		Corps ^(a)	Type de point ^(b)	$W_r(T_{90})$
	T_{90}/K	$t_{90}/^\circ\text{C}$			
1	de 3 à 5	de — 270,15 à — 268,15	He	V	
2	13,803 3	— 259,346 7	e-H ₂	T	0,001 190 07
3	≈ 17	≈ — 256,15	e-H ₂ (ou He)	V (ou G)	
4	≈ 20,3	≈ — 252,85	e-H ₂ (ou He)	V (ou G)	
5	24,556 1	— 248,593 9	Ne	T	0,008 449 74
6	54,358 4	— 218,791 6	O ₂	T	0,091 718 04
7	83,805 8	— 189,344 2	Ar	T	0,215 859 75
8	234,315 6	— 38,834 4	Hg	T	0,844 142 11
9	273,16	0,01	H ₂ O	T	1,000 000 00
10	302,914 6	29,764 6	Ga	F	1,118 138 89
11	429,748 5	156,598 5	In	C	1,609 801 85
12	505,078	231,928	Sn	C	1,892 797 68
13	692,677	419,527	Zn	C	2,568 917 30
14	933,473	660,323	Al	C	3,376 008 60
15	1 234,93	961,78	Ag	C	4,286 420 53
16	1 337,33	1 064,18	Au	C	
17	1 357,77	1 084,62	Cu	C	

- (a):
— composition isotopique naturelle, à l'exception de ³He ;
— e-H₂: hydrogène à la composition d'équilibre des variétés moléculaires ortho et para.

- (b):
— Pour les conseils de réalisation, voir « Supplementary Information for the ITS-90 » ;
— V: pression de vapeur saturante ; T: point triple (température d'équilibre entre les phases solide, liquide et vapeur) ; G: thermomètre à gaz ;
C, F: point de congélation, point de fusion (température d'équilibre, à la pression de 101 325 Pa, entre les phases solide et liquide).

TABLEAU II

*Effet de la pression sur la température de certains points fixes de définition**

Corps	Valeur attribuée à la température d'équilibre T_{90}/K	Variation de la température	
		avec la pression p $(dT/dp)/(10^{-8}K \cdot Pa^{-1})$ **	avec la profondeur d'immersion h $(dT/dh)/(10^{-3}K \cdot m^{-1})$ ***
e-H ₂ (T)	13,803 3	34	0,25
Ne (T)	24,556 1	16	1,9
O ₂ (T)	54,358 4	12	1,5
Ar (T)	83,805 8	25	3,3
Hg (T)	234,315 6	5,4	7,1
H ₂ O (T)	273,16	- 7,5	- 0,73
Ga	302,914 6	- 2,0	- 1,2
In	429,748 5	4,9	3,3
Sn	505,078	3,3	2,2
Zn	692,677	4,3	2,7
Al	933,473	7,0	1,6
Ag	1 234,93	6,0	5,4
Au	1 337,33	6,1	10
Cu	1 357,77	3,3	2,6

* La pression de référence pour les points de fusion ou de congélation est la pression atmosphérique normale ($p_0 = 101\,325$ Pa). Dans le cas des points triples (T) l'effet de la pression résulte uniquement de la pression hydrostatique supplémentaire qui est fonction de la profondeur dans le liquide.

** Équivalent à des millikelvins par atmosphère.

*** Équivalent à des millikelvins par mètre de liquide.

TABLEAU III

Pression de vapeur saturante de l'hélium.

Valeurs des constantes des relations (3) suivant le domaine de température considéré

	³ He de 0,65 K à 3,2 K	⁴ He de 1,25 K à 2,176 8 K	⁴ He de 2,176 8 K à 5,0 K
A_0	1,053 447	1,392 408	3,146 631
A_1	0,980 106	0,527 153	1,357 655
A_2	0,676 380	0,166 756	0,413 923
A_3	0,372 692	0,050 988	0,091 159
A_4	0,151 656	0,026 514	0,016 349
A_5	- 0,002 263	0,001 975	0,001 826
A_6	0,006 596	- 0,017 976	- 0,004 325
A_7	0,088 966	0,005 409	- 0,004 973
A_8	- 0,004 770	0,013 259	0
A_9	- 0,054 943	0	0
B	7,3	5,6	10,3
C	4,3	2,9	1,9

3.2. De 3,0 K au point triple du néon (24,5561 K) : le thermomètre à gaz

Dans ce domaine, la température T_{90} est définie par l'intermédiaire du thermomètre à gaz à ^3He ou à ^4He , du type à volume constant, étalonné à trois températures : celle du point triple du néon (24,5561 K), celle du point triple de l'hydrogène en équilibre (13,8033 K) et une température comprise entre 3,0 K et 5,0 K ; cette dernière est déterminée avec un thermomètre à pression de vapeur saturante de ^3He ou de ^4He comme cela est spécifié au paragraphe 3.1.

3.2.1. De 4,2 K au point triple du néon (24,5561 K) avec ^4He comme gaz thermométrique

Dans ce domaine, la température T_{90} est définie par la relation :

$$T_{90} = a + bp + cp^2, \quad (4)$$

où p est la pression dans le thermomètre ; où a , b et c sont des coefficients dont la valeur numérique est obtenue par des mesures réalisées aux trois points fixes de définition indiqués au paragraphe 3.2., avec toutefois une restriction : que la température du point le plus bas soit comprise entre 4,2 K et 5,0 K.

3.2.2. De 3,0 K au point triple du néon (24,5561 K) avec ^3He ou ^4He comme gaz thermométrique

Pour le thermomètre à gaz à ^3He et pour le thermomètre à gaz à ^4He utilisé au-dessous de 4,2 K, il faut tenir compte explicitement du fait qu'il ne s'agit pas d'un gaz parfait et utiliser le second coefficient du viriel approprié $B_3(T_{90})$ ou $B_4(T_{90})$. Dans ce domaine, la température T_{90} est définie par la relation :

$$T_{90} = \frac{a + bp + cp^2}{1 + B_x(T_{90}) N/V}, \quad (5)$$

où p est la pression dans le thermomètre ; où a , b et c sont des coefficients dont la valeur numérique est obtenue par des mesures réalisées aux trois points fixes de définition indiqués au paragraphe 3.2 ; où N est la quantité de matière du gaz contenu dans le réservoir du thermomètre de volume V ; et où $B_x(T_{90})$, avec x égal à 3 ou à 4 suivant l'isotope considéré, est le second coefficient du viriel dont les valeurs sont données par les relations :

pour ^3He ,

$$B_3(T_{90})/\text{m}^3 \text{ mol}^{-1} = \{16,69 - 336,98 (T_{90}/\text{K})^{-1} + 91,04 (T_{90}/\text{K})^{-2} - 13,82 (T_{90}/\text{K})^{-3}\} 10^{-6}; \quad (6a)$$

pour ^4He ,

$$B_4(T_{90})/\text{m}^3 \text{ mol}^{-1} = \{16,708 - 374,05 (T_{90}/\text{K})^{-1} \\ - 383,53 (T_{90}/\text{K})^{-2} + 1\,799,2 (T_{90}/\text{K})^{-3} \\ - 4\,033,2 (T_{90}/\text{K})^{-4} + 3\,252,8 (T_{90}/\text{K})^{-5}\} 10^{-6}. \quad (6b)$$

L'exactitude avec laquelle l'EIT-90 peut être réalisée en se servant des relations (4) ou (5) dépend de la conception du thermomètre et de la quantité de matière volumique du gaz considérée. Les critères de conception et les précautions d'usage nécessaires pour obtenir une exactitude déterminée sont donnés dans « Supplementary Information for the ITS-90 ».

3.3. Du point triple de l'hydrogène en équilibre (13,8033 K) au point de congélation de l'argent (961,78 °C) : le thermomètre à résistance de platine

Dans ce domaine, la température T_{90} est définie au moyen du thermomètre à résistance de platine ; ce dernier est étalonné à différentes séries spécifiées de points fixes de définition, en utilisant des fonctions de référence et des fonctions écarts spécifiées pour interpoler aux températures intermédiaires.

Aucun thermomètre à résistance de platine ne peut ni assurer une exactitude élevée ni même être utilisé sur l'ensemble du domaine allant de 13,8033 K à 961,78 °C. Le choix d'un ou de plusieurs domaines de température parmi ceux énumérés ci-après est normalement limité par le type de construction du thermomètre.

Pour les détails et les précautions d'usage concernant les thermomètres : types disponibles, domaines d'utilisation possibles, exactitudes probables, résistance de fuite admissible, valeurs de la résistance, traitement thermique, etc., voir « Supplementary Information for the ITS-90 ». En particulier, il est important de respecter les traitements thermiques appropriés, à appliquer chaque fois qu'un thermomètre à résistance de platine est soumis à des températures supérieures à 420 °C environ.

Les températures sont déterminées en fonction du rapport $W(T_{90})$ entre la résistance $R(T_{90})$ du thermomètre à la température T_{90} et sa résistance $R(273,16 \text{ K})$ au point triple de l'eau², soit :

$$W(T_{90}) = R(T_{90})/R(273,16 \text{ K}). \quad (7)$$

2. Cette définition de $W(T_{90})$ diffère de la définition similaire utilisée dans l'EIT-27, l'EIT-48, l'EIPT-48 et l'EIPT-68 : $W(T)$ était alors défini en fonction de la température de référence 0 °C qui, depuis 1954, était elle-même définie comme étant 273,15 K.

Un bon thermomètre à résistance de platine doit être fait de platine pur exempt de toute contrainte et il doit satisfaire à l'une au moins des deux relations suivantes :

$$W(29,7646 \text{ }^\circ\text{C}) \geq 1,118\ 07, \quad (8a)$$

$$W(-38,8344 \text{ }^\circ\text{C}) \leq 0,844\ 235. \quad (8b)$$

Pour pouvoir être utilisé jusqu'au point de congélation de l'argent, il doit aussi satisfaire à la relation :

$$W(961,78 \text{ }^\circ\text{C}) \geq 4,2844. \quad (8c)$$

Dans chacun des domaines énumérés ci-après, la température T_{90} est obtenue à partir de $W_r(T_{90})$, en utilisant la fonction de référence donnée par la relation (9b) ou (10b) suivant le cas, et de l'écart $W(T_{90}) - W_r(T_{90})$. Aux points fixes de définition, cet écart est connu directement à partir de l'étalonnage du thermomètre ; aux températures intermédiaires, il est obtenu au moyen de la fonction écart appropriée [relation (12), (13) ou (14)].

a. — Dans le domaine allant de 13,8033 K à 273,16 K, la fonction de référence est donnée par la relation :

$$\ln [W_r(T_{90})] = A_0 + \sum_{i=1}^{12} A_i \{ [\ln (T_{90}/273,16 \text{ K}) + 1,5] / 1,5 \}^i. \quad (9a)$$

La relation (9a) est équivalente, à mieux que 0,1 mK près, à la relation inverse :

$$T_{90}/273,16 \text{ K} = B_0 + \sum_{i=1}^{15} B_i \left(\frac{W_r(T_{90})^{1/6} - 0,65}{0,35} \right)^i. \quad (9b)$$

Les valeurs des constantes A_0 , A_i , B_0 et B_i sont données au tableau IV.

Un thermomètre peut être étalonné pour travailler dans tout ce domaine ou, en utilisant progressivement un nombre moindre de points fixes, dans les sous-domaines allant de 24,5561 K à 273,16 K, de 54,3584 K à 273,16 K ou de 83,8058 K à 273,16 K.

b. — Dans le domaine allant de 0 °C à 961,78 °C, la fonction de référence est donnée par la relation :

$$W_r(T_{90}) = C_0 + \sum_{i=1}^9 C_i \left(\frac{T_{90}/\text{K} - 754,15}{481} \right)^i. \quad (10a)$$

La relation (10a) est équivalente, à mieux que 0,13 mK près, à la relation inverse :

$$T_{90}/\text{K} - 273,15 = D_0 + \sum_{i=1}^9 D_i \left(\frac{W_r(T_{90}) - 2,64}{1,64} \right)^i. \quad (10b)$$

TABLEAU IV

Thermomètre à résistance de platine.

Valeurs des constantes $A_0, A_i, B_0, B_i, C_0, C_i, D_0$ et D_i des relations de référence (9a), (9b), (10a) et (10b)

A_0	- 2,135 347 29	B_0	0,183 324 722
A_1	3,183 247 20	B_1	0,240 975 303
A_2	- 1,801 435 97	B_2	0,209 108 771
A_3	0,717 272 04	B_3	0,190 439 972
A_4	0,503 440 27	B_4	0,142 648 498
A_5	- 0,618 993 95	B_5	0,077 993 465
A_6	- 0,053 323 22	B_6	0,012 475 611
A_7	0,280 213 62	B_7	- 0,032 267 127
A_8	0,107 152 24	B_8	- 0,075 291 522
A_9	- 0,293 028 65	B_9	- 0,056 470 670
A_{10}	0,044 598 72	B_{10}	0,076 201 285
A_{11}	0,118 686 32	B_{11}	0,123 893 204
A_{12}	- 0,052 481 34	B_{12}	- 0,029 201 193
		B_{13}	- 0,091 173 542
		B_{14}	0,001 317 696
		B_{15}	0,026 025 526
C_0	2,781 572 54	D_0	439,932 854
C_1	1,646 509 16	D_1	472,418 020
C_2	- 0,137 143 90	D_2	37,684 494
C_3	- 0,006 497 67	D_3	7,472 018
C_4	- 0,002 344 44	D_4	2,920 828
C_5	0,005 118 68	D_5	0,005 184
C_6	0,001 879 82	D_6	- 0,963 864
C_7	- 0,002 044 72	D_7	- 0,188 732
C_8	- 0,000 461 22	D_8	0,191 203
C_9	0,000 457 24	D_9	0,049 025

Les valeurs des constantes C_0, C_i, D_0 et D_i sont données au tableau IV.

Un thermomètre peut être étalonné pour travailler dans tout ce domaine ou, en utilisant progressivement un nombre moindre de points fixes, dans les sous-domaines allant de 0 °C à 660,323 °C, de 0 °C à 419,527 °C, de 0 °C à 231,928 °C, de 0 °C à 156,5985 °C ou de 0 °C à 29,7646 °C.

c. — Un thermomètre peut être étalonné pour travailler dans le domaine allant de 234,3156 K (- 38,8344 °C) à 29,7646 °C, en s'appuyant sur les points fixes à ces températures et sur le point triple de l'eau. Les deux fonctions de référence, données par les relations (9) et (10), sont nécessaires pour couvrir ce domaine.

TABLEAU V

Thermomètre à résistance de platine. Fonctions écarts et points d'étalonnage suivant le domaine de température considéré

(a) Domaines ayant leur limite supérieure à 273,16 K			
Paragraphe	Limite inférieure	Fonction écart	Points d'étalonnage **
3.3.1	13,803 3 K	$a [W(T_{90}) - 1] + b [W(T_{90}) - 1]^2 + \sum_{i=1}^5 c_i [\ln W(T_{90})]^{i+n}, n = 2$	2 à 9
3.3.1.1	24,556 1 K	comme pour 3.3.1 avec $c_4 = c_5 = 0$ et $n = 0$	2, 5 à 9
3.3.1.2	54,358 4 K	comme pour 3.3.1 avec $c_2 = c_3 = c_4 = c_5 = 0$ et $n = 1$	6 à 9
3.3.1.3	83,805 8 K	$a [W(T_{90}) - 1] + b [W(T_{90}) - 1] \ln W(T_{90})$	7 à 9
(b) Domaines ayant leur limite inférieure à 0 °C			
Paragraphe	Limite supérieure	Fonction écart	Points d'étalonnage **
3.3.2 *	961,78 °C	$a [W(T_{90}) - 1] + b [W(T_{90}) - 1]^2 + c [W(T_{90}) - 1]^3 + d [W(T_{90}) - W(660,323 \text{ °C})]^2$	9, 12 à 15
3.3.2.1	660,323 °C	comme pour 3.3.2 avec $d = 0$	9, 12 à 14
3.3.2.2	419,527 °C	comme pour 3.3.2 avec $c = d = 0$	9, 12, 13
3.3.2.3	231,928 °C	comme pour 3.3.2 avec $c = d = 0$	9, 11, 12
3.3.2.4	156,598 5 °C	comme pour 3.3.2 avec $b = c = d = 0$	9, 11
3.3.2.5	29,764 6 °C	comme pour 3.3.2 avec $b = c = d = 0$	9, 10
(c) Domaine de 234,315 6 K (- 38,834 4 °C) à 29,764 6 °C			
3.3.3		comme pour 3.3.2 avec $c = d = 0$	8 à 10

* Points d'étalonnage 9, 12 à 14, avec $d = 0$, pour $t_{90} \leq 660,323 \text{ °C}$; les valeurs de a , b et c ainsi obtenues sont conservées pour $t_{90} \geq 660,323 \text{ °C}$, avec d déterminé par étalonnage au point 15.

** Les points sont repérés ici par leur numéro d'ordre dans le tableau I.

Les points fixes de définition et les fonctions écarts pour les différents domaines sont donnés ci-après et, sous forme résumée, au tableau V.

3.3.1. Du point triple de l'hydrogène en équilibre (13,8033 K) au point triple de l'eau (273,16 K)

Le thermomètre est étalonné aux points triples de l'hydrogène en équilibre (13,8033 K), du néon (24,5561 K), de l'oxygène (54,3584 K), de l'argon (83,8058 K), du mercure (234,3156 K) et de l'eau (273,16 K), ainsi qu'à deux températures complémentaires proches de 17,0 K et de 20,3 K. Ces dernières peuvent être déterminées de deux façons différentes : soit en utilisant un thermomètre à gaz (*voir* paragraphe 3.2) et, dans ce cas, les deux températures doivent être comprises entre 16,9 K et 17,1 K et entre 20,2 K et 20,4 K respectivement ; soit en utilisant la relation entre la pression de vapeur saturante et la température de l'hydrogène en équilibre et, dans ce cas, les deux températures doivent être comprises entre 17,025 K et 17,045 K et entre 20,26 K et 20,28 K respectivement, les valeurs précises étant déterminées à partir des relations (11a) et (11b) :

$$T_{90}/\text{K} - 17,035 = (p/\text{kPa} - 33,3213)/13,32, \quad (11a)$$

$$T_{90}/\text{K} - 20,27 = (p/\text{kPa} - 101,292)/30. \quad (11b)$$

La fonction écart³ est donnée par la relation :

$$W(T_{90}) - W_r(T_{90}) = a [W(T_{90}) - 1] + b [W(T_{90}) - 1]^2 + \sum_{i=1}^5 c_i [\ln W(T_{90})]^{i+n}, \quad (12)$$

les valeurs des facteurs a , b et c_i étant obtenues par des mesures aux points fixes de définition, avec $n = 2$.

Pour ce domaine et pour les sous-domaines 3.3.1.1 à 3.3.1.3, les valeurs de $W_r(T_{90})$ sont données par la relation (9a) ou au tableau I.

3.3.1.1. Du point triple du néon (24,5561 K) au point triple de l'eau (273,16 K)

Le thermomètre est étalonné aux points triples de l'hydrogène en équilibre (13,8033 K), du néon (24,5561 K), de l'oxygène (54,3584 K), de l'argon (83,8058 K), du mercure (234,3156 K) et de l'eau (273,16 K).

3. Cette fonction écart [de même que celles données par les relations (13) et (14)] peut être exprimée en fonction de W_r au lieu de W ; pour cela, *voir* « Supplementary Information for the ITS-90 ».

La fonction écart est donnée par la relation (12), les valeurs des facteurs a , b , c_1 , c_2 et c_3 étant obtenues par des mesures aux points fixes de définition, avec $c_4 = c_5 = 0$ et $n = 0$.

3.3.1.2. Du point triple de l'oxygène (54,3584 K) au point triple de l'eau (273,16 K)

Le thermomètre est étalonné aux points triples de l'oxygène (54,3584 K), de l'argon (83,8058 K), du mercure (234,3156 K) et de l'eau (273,16 K).

La fonction écart est donnée par la relation (12), les valeurs des facteurs a , b et c_1 étant obtenues par des mesures aux points fixes de définition, avec $c_2 = c_3 = c_4 = c_5 = 0$ et $n = 1$.

3.3.1.3. Du point triple de l'argon (83,8058 K) au point triple de l'eau (273,16 K)

Le thermomètre est étalonné aux points triples de l'argon (83,8058 K), du mercure (234,3156 K) et de l'eau (273,16 K).

La fonction écart est donnée par la relation :

$$W(T_{90}) - W_r(T_{90}) = a [W(T_{90}) - 1] + b [W(T_{90}) - 1] \ln W(T_{90}), \quad (13)$$

les valeurs des facteurs a et b étant obtenues par des mesures aux points fixes de définition.

3.3.2. De 0 °C au point de congélation de l'argent (961,78 °C)

Le thermomètre est étalonné au point triple de l'eau (0,01 °C) et aux points de congélation de l'étain (231,928 °C), du zinc (419,527 °C), de l'aluminium (660,323 °C) et de l'argent (961,78 °C).

La fonction écart est donnée par la relation :

$$W(T_{90}) - W_r(T_{90}) = a [W(T_{90}) - 1] + b [W(T_{90}) - 1]^2 + c [W(T_{90}) - 1]^3 + d [W(T_{90}) - W(660,323 \text{ °C})]^2. \quad (14)$$

Pour les températures au-dessous du point de congélation de l'aluminium, $d = 0$ et les valeurs des facteurs a , b et c sont obtenues par la mesure des écarts à $W_r(T_{90})$ aux points de congélation de l'étain, du zinc et de l'aluminium. Pour celles au-dessus du point de congélation de l'aluminium, la valeur de d est déterminée par la mesure de l'écart à $W_r(T_{90})$ au point de congélation de l'argent en conservant les valeurs ci-dessus de a , b et c .

Pour ce domaine et pour les sous-domaines de 3.3.2.1 à 3.3.2.5, les valeurs de $W_r(T_{90})$ sont données par la relation (10a) ou au tableau I.

3.3.2.1. De 0 °C au point de congélation de l'aluminium (660,323 °C)

Le thermomètre est étalonné au point triple de l'eau (0,01 °C) et aux points de congélation de l'étain (231,928 °C), du zinc (419,527 °C) et de l'aluminium (660,323 °C).

La fonction écart est donnée par la relation (14), les valeurs des facteurs a , b et c étant obtenues par des mesures aux points fixes de définition, avec $d = 0$.

3.3.2.2. De 0 °C au point de congélation du zinc (419,527 °C)

Le thermomètre est étalonné au point triple de l'eau (0,01 °C) et aux points de congélation de l'étain (231,928 °C) et du zinc (419,527 °C).

La fonction écart est donnée par la relation (14), les valeurs des facteurs a et b étant obtenues par des mesures aux points fixes de définition, avec $c = d = 0$.

3.3.2.3. De 0 °C au point de congélation de l'étain (231,928 °C)

Le thermomètre est étalonné au point triple de l'eau (0,01 °C) et aux points de congélation de l'indium (156,5985 °C) et de l'étain (231,928 °C).

La fonction écart est donnée par la relation (14), les valeurs des facteurs a et b étant obtenues par des mesures aux points fixes de définition, avec $c = d = 0$.

3.3.2.4. De 0 °C au point de congélation de l'indium (156,5985 °C)

Le thermomètre est étalonné au point triple de l'eau (0,01 °C) et au point de congélation de l'indium (156,5985 °C).

La fonction écart est donnée par la relation (14), la valeur du facteur a étant obtenue par des mesures aux points fixes de définition, avec $b = c = d = 0$.

3.3.2.5. De 0 °C au point de fusion du gallium (29,7646 °C)

Le thermomètre est étalonné au point triple de l'eau (0,01 °C) et au point de fusion du gallium (29,7646 °C).

La fonction écart est donnée par la relation (14), la valeur du facteur a étant obtenue par des mesures aux points fixes de définition, avec $b = c = d = 0$.

3.3.3. Du point triple du mercure (− 38,8344 °C) au point de fusion du gallium (29,7646 °C)

Le thermomètre est étalonné aux points triples du mercure (− 38,8344 °C) et de l'eau (0,01 °C) et au point de fusion du gallium (29,7646 °C).

La fonction écart est donnée par la relation (14), les valeurs des facteurs a et b étant obtenues par des mesures aux points fixes de définition, avec $c = d = 0$.

Les valeurs de $W_r(T_{90})$ sont données par la relation (9a) pour la température au-dessous de 273,16 K et par la relation (10a) pour celle au-dessus de 273,16 K, ou au tableau I.

3.4. Au-dessus du point de congélation de l'argent (961,78 °C) : la loi du rayonnement de Planck

Au-dessus du point de congélation de l'argent (961,78 °C), la température T_{90} est définie par la relation :

$$\frac{L_\lambda(T_{90})}{L_\lambda(T_{90}(X))} = \frac{\exp(c_2[\lambda T_{90}(X)]^{-1}) - 1}{\exp(c_2[\lambda T_{90}]^{-1}) - 1}, \quad (15)$$

$T_{90}(X)$ est la température du point de congélation de l'argent [$T_{90}(\text{Ag}) = 1\,234,93$ K], ou de l'or [$T_{90}(\text{Au}) = 1\,337,33$ K], ou encore du cuivre [$T_{90}(\text{Cu}) = 1\,357,77$ K]; $L_\lambda(T_{90})$ et $L_\lambda[T_{90}(X)]$ sont les densités spectrales de la luminance énergétique du corps noir à la longueur d'onde (dans le vide) λ , à T_{90} et à $T_{90}(X)$ respectivement⁴; $c_2 = 0,014388$ m · K.

Pour plus de détails et pour les précautions d'usage dans ce domaine, voir « Supplementary Information for the ITS-90 ».

4. Renseignements complémentaires et différences par rapport aux échelles précédentes

Les appareils, les méthodes et les modes opératoires utiles pour réaliser l'échelle sont décrits dans « Supplementary Information for the ITS-90 ». Ce document fait aussi état des précédentes échelles internationales de température et donne les différences numériques entre échelles successives. Par ailleurs, des réalisations pratiques approchées de l'EIT-90 sont décrites dans « Techniques for Approximating the ITS-90 ». *

4. Les valeurs T_{90} des points de congélation de l'argent, de l'or et du cuivre sont suffisamment concordantes pour que le remplacement de l'un des points par l'un des deux autres comme température de référence $T_{90}(X)$ n'entraîne pas de différence significative entre les valeurs mesurées de la température T_{90} .

* Voir Monographie BIPM/1990.

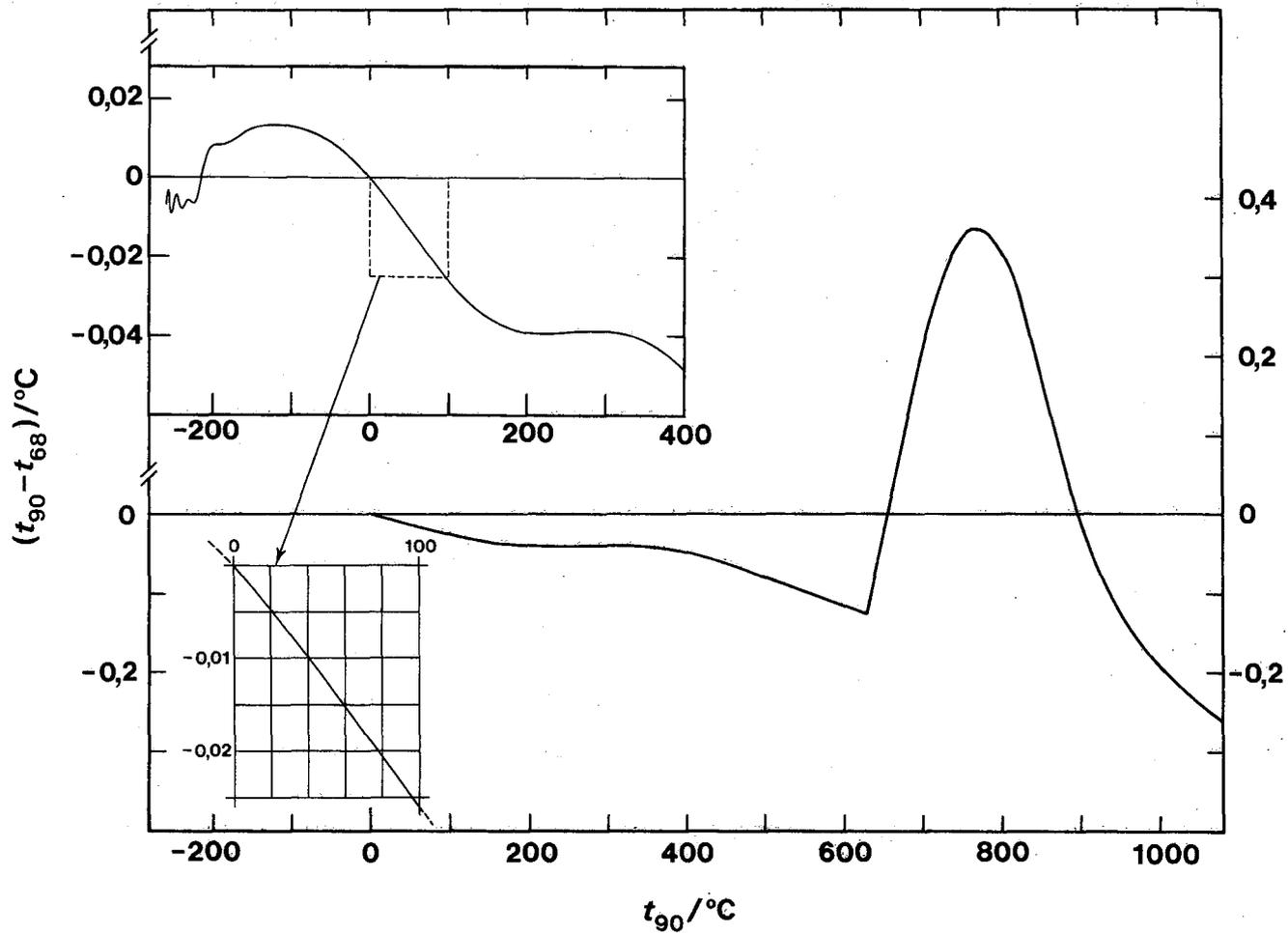


Fig. 1 — Différence entre l'EIT-90 et l'EIPT-68.

TABLEAU VI

Différences entre l'EIT-90 et l'EIPT-68 et entre l'EIT-90 et l'EPT-76 en fonction de T_{90} ou de t_{90}

$(T_{90} - T_{76})/mK$										
T_{90}/K	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0						- 0,1	- 0,2	- 0,3	- 0,4	- 0,5
10	- 0,6	- 0,7	- 0,8	- 1,0	- 1,1	- 1,3	- 1,4	- 1,6	- 1,8	- 2,0
20	- 2,2	- 2,5	- 2,7	- 3,0	- 3,2	- 3,5	- 3,8	- 4,1		
$(T_{90} - T_{68})/K$										
T_{90}/K	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10					- 0,006	- 0,003	- 0,004	- 0,006	- 0,008	- 0,009
20	- 0,009	- 0,008	- 0,007	- 0,007	- 0,006	- 0,005	- 0,004	- 0,004	- 0,005	- 0,006
30	- 0,006	- 0,007	- 0,008	- 0,008	- 0,008	- 0,007	- 0,007	- 0,007	- 0,006	- 0,006
40	- 0,006	- 0,006	- 0,006	- 0,006	- 0,006	- 0,007	- 0,007	- 0,007	- 0,006	- 0,006
50	- 0,006	- 0,005	- 0,005	- 0,004	- 0,003	- 0,002	- 0,001	0,000	0,001	0,002
60	0,003	0,003	0,004	0,004	0,005	0,005	0,006	0,006	0,007	0,007
70	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008
80	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008
90	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,009	0,009	0,009
T_{90}/K	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
100	0,009	0,011	0,013	0,014	0,014	0,014	0,014	0,013	0,012	0,012
200	0,011	0,010	0,009	0,008	0,007	0,005	0,003	0,001		

$(t_{90} - t_{68})/^{\circ}\text{C}$										
$t_{90}/^{\circ}\text{C}$	0	- 10	- 20	- 30	- 40	- 50	- 60	- 70	- 80	- 90
- 100	0,013	0,013	0,014	0,014	0,014	0,013	0,012	0,010	0,008	0,008
0	0,000	0,002	0,004	0,006	0,008	0,009	0,010	0,011	0,012	0,012
$t_{90}/^{\circ}\text{C}$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0,000	- 0,002	- 0,005	- 0,007	- 0,010	- 0,013	- 0,016	- 0,018	- 0,0021	- 0,024
100	- 0,026	- 0,028	- 0,030	- 0,032	- 0,034	- 0,036	- 0,037	- 0,038	- 0,039	- 0,039
200	- 0,040	- 0,040	- 0,040	- 0,040	- 0,040	- 0,040	- 0,040	- 0,039	- 0,039	- 0,039
300	- 0,039	- 0,039	- 0,039	- 0,040	- 0,040	- 0,041	- 0,042	- 0,043	- 0,045	- 0,046
400	- 0,048	- 0,051	- 0,053	- 0,056	- 0,059	- 0,062	- 0,065	- 0,068	- 0,072	- 0,075
500	- 0,079	- 0,083	- 0,087	- 0,090	- 0,094	- 0,098	- 0,101	- 0,105	- 0,108	- 0,112
600	- 0,115	- 0,118	- 0,122	- 0,125 *	- 0,08	- 0,03	0,02	0,06	0,11	0,16
700	0,20	0,24	0,28	0,31	0,33	0,35	0,36	0,36	0,36	0,35
800	0,34	0,32	0,29	0,25	0,22	0,18	0,14	0,10	0,06	0,03
900	- 0,01	- 0,03	- 0,06	- 0,08	- 0,10	- 0,12	- 0,14	- 0,16	- 0,17	- 0,18
1 000	- 0,19	- 0,20	- 0,21	- 0,22	- 0,23	- 0,24	- 0,25	- 0,25	- 0,26	- 0,26
$t_{90}/^{\circ}\text{C}$	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
1 000		- 0,26	- 0,30	- 0,35	- 0,39	- 0,44	- 0,49	- 0,54	- 0,60	- 0,66
2 000	- 0,72	- 0,79	- 0,85	- 0,93	- 1,00	- 1,07	- 1,15	- 1,24	- 1,32	- 1,41
3 000	- 1,50	- 1,59	- 1,69	- 1,78	- 1,89	- 1,99	- 2,10	- 2,21	- 2,32	- 2,43

* A $t_{90} = 630,6^{\circ}\text{C}$, la dérivée première de $(t_{90} - t_{68})$ présente une discontinuité et $(t_{90} - t_{68}) = - 0,125^{\circ}\text{C}$.

Ces deux documents ont été établis par le Comité consultatif de thermométrie et sont publiés par le Bureau international des poids et mesures (BIPM); ils seront révisés et remis à jour périodiquement.

Les différences $T_{90} - T_{68}$ sont indiquées à la figure 1 et dans le tableau VI. Le nombre des chiffres significatifs donnés dans le tableau permet de lisser les interpolations; toutefois, la reproductibilité de l'EIPT-68 est, dans beaucoup de domaines, nettement moins bonne que ne le laisserait supposer ce nombre.

ANNEXE

Échelle internationale de température de 1927 (EIT-27)

L'Échelle internationale de température de 1927 a été adoptée par la 7^e Conférence générale des poids et mesures, pour surmonter les difficultés pratiques de la détermination directe des températures thermodynamiques à l'aide du thermomètre à gaz et pour remplacer sous une forme qui soit universellement acceptable les différentes échelles nationales de température existantes. L'EIT-27 a été établie afin de permettre des mesures de température précises et reproductibles, aussi proches que possible de la température thermodynamique telle qu'on pouvait la déterminer à l'époque. Entre le point d'ébullition de l'oxygène et le point de congélation de l'or, elle s'appuyait sur un certain nombre de températures reproductibles (points fixes), auxquelles on avait assigné des valeurs numériques, et sur deux instruments d'interpolation normalisés. Chacun de ces instruments était étalonné à un ou plusieurs des points fixes, ce qui fournissait les valeurs des constantes des formules d'interpolation dans le domaine de température considéré. Le thermomètre à résistance de platine était utilisé dans le domaine inférieur et le thermocouple platine/platine rhodié au-dessus de 660 °C. Dans le domaine au-dessus du point de congélation de l'or, la température était définie suivant la loi du rayonnement de Wien; en pratique, cela conduisait invariablement à choisir un pyromètre optique comme instrument de travail.

Échelle internationale de température de 1948 (EIT-48)

L'Échelle internationale de température de 1948 a été adoptée par la 9^e Conférence générale. Par rapport à l'EIT-27, elle présentait les changements suivants: la limite inférieure du domaine du thermomètre à résistance de platine était ramenée de - 190 °C à la température du

point d'ébullition de l'oxygène ($-182,97\text{ }^{\circ}\text{C}$) et la jonction du domaine du thermomètre à résistance de platine à celui du thermocouple s'effectuait à la température de congélation de l'antimoine ($630\text{ }^{\circ}\text{C}$ environ) au lieu de $660\text{ }^{\circ}\text{C}$; la valeur de la température du point de congélation de l'argent passait de $960,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $960,8\text{ }^{\circ}\text{C}$; pour l'or, le point de congélation remplaçait le point de fusion ($1\,063\text{ }^{\circ}\text{C}$); la loi du rayonnement de Planck était substituée à la loi de Wien; la valeur assignée à la seconde constante du rayonnement devenait $0,01438\text{ m}\cdot\text{K}$ au lieu de $0,01432\text{ m}\cdot\text{K}$; les marges de tolérance pour les constantes des formules d'interpolation utilisées avec le thermomètre à résistance normalisé et avec le thermocouple normalisé étaient modifiées; la limitation concernant λT pour la pyrométrie optique ($\lambda T \leq 3 \cdot 10^{-3}\text{ m}\cdot\text{K}$) était remplacée par l'obligation d'utiliser un rayonnement « visible ».

Échelle internationale pratique de température de 1948 (E IPT-48), édition amendée de 1960

L'Échelle internationale pratique de température de 1948, édition amendée de 1960, a été adoptée par la 11^e Conférence générale; la 10^e Conférence générale avait, auparavant, adopté le point triple de l'eau comme point unique définissant le kelvin, unité de température thermodynamique. En plus de l'introduction de l'adjectif « pratique », les modifications apportées à l'EIT-48 étaient les suivantes: le point triple de l'eau, défini comme étant $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$, remplaçait le point de fusion de la glace comme point d'étalonnage; le point de congélation du zinc (valeur assignée: $419,505\text{ }^{\circ}\text{C}$) pouvait avantageusement remplacer le point d'ébullition du soufre ($444,6\text{ }^{\circ}\text{C}$) comme point d'étalonnage; les marges de tolérance pour les constantes des formules d'interpolation utilisées avec le thermomètre à résistance normalisé et le thermocouple normalisé étaient à nouveau modifiées; la restriction au rayonnement « visible » pour la pyrométrie optique était supprimée.

Les valeurs numériques des températures étant les mêmes dans l'EIT-48 et l'E IPT-48, cette dernière n'était pas une révision de l'échelle de 1948 mais seulement une forme amendée.

Échelle internationale pratique de température de 1968 (E IPT-68)

En 1968, le Comité international des poids et mesures a promulgué l'Échelle internationale pratique de température de 1968, les pouvoirs nécessaires lui ayant été donnés par la 13^e Conférence générale en 1967-1968. L'E IPT-68 comportait, par rapport à l'E IPT-48, de nombreuses et importantes modifications, en particulier des changements de valeurs numériques pour rendre T_{68} plus proche de la température thermodynamique; dans l'E IPT-48, on s'en écartait en effet de façon suffisamment

importante pour que cela soit sensible à de nombreux utilisateurs. Les autres changements étaient les suivants : la limite inférieure de l'échelle était abaissée à 13,81 K ; à des températures plus basses encore (de 0,5 K à 5,2 K), on recommandait l'emploi de deux échelles utilisant la pression de vapeur saturante de l'hélium ; six nouveaux points fixes de définition étaient introduits : le point triple de l'hydrogène en équilibre (13,81 K), un point d'ébullition sous pression réduite de l'hydrogène en équilibre (17,042 K), le point d'ébullition normale de l'hydrogène en équilibre (20,28 K), le point d'ébullition du néon (27,102 K), le point triple de l'oxygène (54,361 K) et le point de congélation de l'étain (231,9681 °C) qui était admis comme pouvant remplacer le point d'ébullition de l'eau ; le point d'ébullition du soufre était supprimé ; les valeurs assignées à quatre points fixes étaient modifiées : point d'ébullition de l'oxygène (90,188 K), point de congélation du zinc (419,58 °C), point de congélation de l'argent (961,93 °C) et point de congélation de l'or (1 064,43 °C) ; les formules d'interpolation dans le domaine du thermomètre à résistance devenaient beaucoup plus complexes ; la valeur assignée à la seconde constante du rayonnement devenait 0,014388 m · K ; les marges de tolérance pour les constantes des formules d'interpolation utilisées avec le thermomètre à résistance normalisé et le thermocouple normalisé étaient à nouveau modifiées.

Échelle internationale pratique de température de 1968 (E IPT-68), édition amendée de 1975

L'Échelle internationale pratique de température de 1968, édition amendée de 1975, a été adoptée par la 15^e Conférence générale en 1975. Comme dans le cas de l'E IPT-48 vis-à-vis de l'E IT-48, l'édition de 1975 n'introduisait pas de changements numériques ; la plupart des modifications rédactionnelles avaient seulement pour but de clarifier et de simplifier son utilisation. Les changements les plus importants étaient les suivants : le point de l'oxygène était défini comme point de rosée et non plus comme point d'ébullition ; le point triple de l'argon (83,798 K) était introduit et pouvait valablement se substituer au point de rosée de l'oxygène ; de nouvelles valeurs de la composition isotopique du néon normal étaient adoptées ; la recommandation d'utiliser les valeurs de T données par les échelles de 1958 et de 1962 utilisant la pression de vapeur saturante, respectivement de ^4He et de ^3He , était annulée.

Échelle provisoire de température de 1976 entre 0,5 K et 30 K (E PT-76)

L'Échelle provisoire de température de 1976 entre 0,5 K et 30 K a été mise en application pour remplir deux conditions importantes :

fournir les moyens de réduire substantiellement les erreurs (par rapport aux températures thermodynamiques correspondantes) au-dessous de 27 K qui étaient apparues dans l'EIPT-68 et dans tout le domaine de température des échelles de 1958 et de 1962 utilisant la pression de vapeur saturante de ^4He et de ^3He ; combler la lacune entre 5,2 K et 13,81 K, où il n'existait aucune échelle internationale. Les autres objectifs qui avaient présidé à l'élaboration de l'EPT-76 étaient « que les différences entre les températures T_{76} et T soient lisses, qu'elle se raccorde sans discontinuité à l'EIPT-68 à 27,1 K et qu'elle soit en accord avec la température thermodynamique T aussi étroitement que le permettent ces deux conditions ». À l'inverse de l'EIPT-68 et pour assurer sa rapide adoption, plusieurs méthodes de réalisation de l'EPT-76 étaient approuvées : utilisation d'un instrument thermodynamique d'interpolation étalonné à un ou plusieurs des onze points fixes de définition spécifiés ; au-dessus de 13,81 K, utilisation de l'EIPT-68 avec les différences publiées ; au-dessous de 5 K, utilisation des échelles reposant sur la pression de vapeur saturante de l'hélium avec les différences publiées ; utilisation des échelles bien établies de certains laboratoires avec les différences publiées. Par suite d'un « manque de cohérence interne », il était admis que « de légères ambiguïtés entre les réalisations » pouvaient être introduites. Cependant, on estimait que les avantages obtenus par l'adoption de l'EPT-76 comme échelle de travail, en attendant la révision et l'extension de l'EIPT-68, compensaient largement les inconvénients.

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
REPORT OF THE MEETING

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 Metre. 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 and two new buildings were constructed in 1963-1964 for the ionizing radiation laboratories.

* As of 31 December 1989 forty-seven States were members of this Convention: Argentina (Rep. of), Australia, Austria, Belgium, Brazil, Bulgaria, Cameroon, Canada, Chile, China (People's Rep. of), Czechoslovakia, Denmark, Dominican Republic, Egypt, Finland, France, German Democratic Rep., Germany (Federal Rep. of), Hungary, India, Indonesia, Iran, Ireland, 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. BIPM's annual appropriation is of the order of 17 960 000 gold francs, approximately 32 600 000 French francs (in 1989).

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*.

MEMBERS
OF THE
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
on 26 September 1989

President

1. D. KIND, President, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 3300 Braunschweig, Federal Republic of Germany.

Secretary

2. J. DE BOER, Institute of Physics, University of Amsterdam, Valckenierstraat 65, Amsterdam-C, Netherlands.

Members

3. E. AMBLER, Director, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899, USA.
4. W. R. BLEVIN, Associate Director, Division of Applied Physics, CSIRO, P.O. Box 218, Bradfield Road, Lindfield NSW 2070, Australia.
5. A. BRAY, Director, Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Strada delle Cacce 73, 10135 Turin, Italy.
6. P. DEAN, Director, National Physical Laboratory, Teddington, TW11 OLW, United Kingdom.
7. K. IZUKA, Vice-President, Japan Society for the Promotion of Machine Industry, 3-5-8, Shibakowen, Minato-ku, Tokyo, Japan.
8. H. H. JENSEN, Professor, H. C. Oersted Institutet, Universitetets Fysiske Laboratorium, Universitetsparken 5, 2100 København ϕ , Denmark. *Associate-Secretary*.
9. J. KOVALEVSKY, Astronomer, Centre d'études et de recherches géodynamiques et astronomiques, avenue N. Copernic, 06130 Grasse, France.
10. A. I. MEKHANNIKOV, Vice-Chairman, USSR State Committee for Standards, Leninski prosp. 9b, 117049 Moscow, USSR.

11. A. P. MITRA, National Physical Laboratory of India, Hillside Road, New Delhi 110012, India.
12. T. PLEBANSKI, Director, Centre for Research and Development of Reference Materials « WZORMAT », Ul. Elektoralna 2, Warsaw, Poland.
13. H. PRESTON-THOMAS, Deputy-Director, Division of Physics, National Research Council of Canada, Ottawa K1A 0S1, Canada. *Vice-President.*
14. O. SALA, Professor, Department of Nuclear Physics, Universitaria Armando Salles de Oliveria, Caixa Postal 20516, 05508 São Paulo, Brazil.
15. K. SIEGBAHN, Director, Institute of Physics, University of Uppsala, Box 530, 75121 Uppsala 1, Sweden.
16. J. SKÁKALA, Professor, Technical University of Slovakia, Gottwaldovo nám. c.17, 812 31 Bratislava, Czechoslovakia. *Vice-President.*
17. R. STEINBERG, Head, Department of Physics and Metrology, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, 1101 Buenos Aires, Argentina.
18. WANG DAHENG, Professor, Director of the Division of Technical Sciences, Academia Sinica, Member of the State Council for Metrology, BP 2112, Beijing, Popular Republic of China.

Honorary members

1. L. BRANSCOMB, Box 309, Concord, Massachusetts 01742.
 2. J. V. DUNWORTH, The Warbuck, Kirk Michael, Isle of Man.
 3. L. E. HOWLETT, 1702-71 Somerset Street W, Ottawa, Ontario K2P 2G2.
 4. M. KERSTEN, Am Hohen Tore 4A, D-3300 Braunschweig.
 5. F. J. LEHANY, 5 Gladstone Avenue, Hunters Hill, NSW 2110.
 6. J. STULLA-GÖTZ, Gentzgasse 3, A-1180 Vienna.
-

PERSONNEL
OF THE
BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
on 1st January 1990

Director : Dr. T.J. Quinn

Length : Mr. J.-M. Chartier

Mr. R. Felder, Dr. S. Picard, Dr. L. Robertsson
Mrs. A. Chartier, Mr. J. Labot

Mass and related quantities : Mr. G. Girard, Mr. A. Sakuma

Mr. A. Picard
Mrs. J. Coarasa, Mr. J. Hostache

Times scales : Dr. B. Guinot ⁽¹⁾

Mr. J. Azoubib, Dr. W. Lewandowski, Dr. C. Thomas
Miss H. Konaté, Mrs. M. Thomas

Electricity : Dr. T.J. Witt

Mr. F. Delahaye, Dr. D. Reymann
Mr. D. Avrons, Mr. D. Bournaud
Mr. P. Benoit

Radiometry and photometry : Mr. J. Bonhoure

Dr. R. Köhler
Mr. C. Garreau, Mr. R. Goebel, Mr. F. Lesueur, Mr. R. Pello,
Mr. F. Perez
Mr. J. Dias

Ionizing radiations : Dr. J.W. Müller

Mrs. M. Boutillon, Mr. P. Bréonce, Dr. V.D. Huynh, Dr. G. Ratel
Mr. D. Carnet, Mr. C. Colas, Mr. L. Lafaye, Mr. C. Veyradier

Secrétariat : Miss J. Monprofit

Mrs. D. Le Coz, Mrs. D. Müller ⁽²⁾
Mrs. L. Delfour, Mrs. M. Petit

Metrologia : Dr. D.A. Blackburn

⁽¹⁾ Research Fellow.

⁽²⁾ On attachment to the Ionizing Radiation/Section.

Finance, administration : Miss B. Perent

Mrs. M.-J. Martin

Caretakers : Mr. and Mrs. Dominguez, Mr. and Mrs. Neves

Domestic help : Mrs. A. Perez, Mrs. R. Prieto, Mrs. R. Vara

Gardeners : Mr. C. Angot, Mr. C. Dias-Nunes

Workshop : Mr. J. Sanjaime

Mr. B. Bodson, Mr. M. de Carvalho, Mr. J.-B. Caucheteux,
Mr. J.-P. Dewa, Mr. A. Gama, Mr. J. Leroux, Mr. A. Montbrun,
Mr. D. Rotrou, Mr. E. Dominguez ⁽³⁾, Mr. C. Neves ⁽³⁾

Directors emeritus : Mr. Ch. Volet, Dr. J. Terrien, Prof. P. Giacomo

Principal Metrologist Emeritus : Mr. G. Leclerc

Metrologist Emeritus : Mr. H. Moreau

⁽³⁾ Also caretakers

AGENDA

1. Opening of the meeting by the President, quorum, approval of the agenda.
 2. Report of the Secretary.
 3. Report on the activity of the bureau of the Comité.
 4. Consultative Committees :
 - Report of the CCDS ;
 - Report of the CCT - draft of ITS-90 for adoption by the CIPM ;
 - Report of the CCEMRI ;
 - Future meetings.
 5. Work of the BIPM, Director's Report.
 6. Third verification of national prototypes of the kilogram.
 7. Proposal for renovation of the Caveau des Prototypes.
 8. Financial and administrative affairs :
 - « Rapport aux Gouvernements » for 1988 ;
 - Quitus for 1988 ;
 - Progress report on the 1989 exercise ;
 - Draft budget for 1990 ;
 - Proposal for minor modifications of BIPM Pension Fund Rules.
 9. Metrologia.
 10. Other business.
-

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

78th Meeting (September 1989)

PROCEEDINGS OF THE SESSIONS

HELD AT SÈVRES

D. Kind, President

The Comité International des Poids et Mesures (CIPM) held its 78th meeting at the Bureau International des Poids et Mesures at Sèvres on Tuesday 26th, Wednesday 27th and Thursday 28th of September 1989. It held four sessions in all.

Present : MM. AMBLER, BLEVIN, BRAY, DE BOER, DEAN, IIZUKA, JENSEN, KIND, KOVALEVSKY, MEKHANNIKOV (absent 28th September), PLEBANSKI, PRESTON-THOMAS, SALA, SIEGBAHN, SKÁKALA, WANG Daheng, QUINN (Director of the BIPM).

Also attending the meeting : Mr. GIACOMO (Director Emeritus of the BIPM); interpreter : Mr. OBOUKHOV; Secretariat : Miss MONPROFIT, Mrs LE COZ.

Apologies for absence were received from : MM. STEINBERG, TERRIEN (Director Emeritus of the BIPM).

Absent : Mr. MITRA.

1. Opening of the meeting ; quorum ; agenda

The President opened the 78th meeting of the Comité International des Poids et Mesures (CIPM) and welcomed the members, and Prof. Giacomo and Dr. Oboukhov as guests. No change in membership had occurred since last year.

The President noted that attendance was very high and that the quorum had been satisfied, as required by Article 12 of the Convention du Mètre.

In his introductory remarks the President reminded members that 1989 was a year in which a number of important events and anniversaries were taking place. The bicentenary of the French Revolution also marked the bicentenary of events that led up to the foundation of the metric system. In this respect members of the Comité were invited to visit an exhibition « L'Aventure du Mètre » at the Musée des Techniques du Conservatoire National des Arts et Métiers and then to be present at a ceremony in front of the Ministry of Justice, in the Place Vendôme, during which a symbolic recalibration using lasers would be made of a stone metre scale set in the wall of the Ministry. This would be followed by a reception given by Mr. Pierre Arpaillange, « Garde des Sceaux » and « Ministre de la Justice » and Mr. Roger Fauroux, « Ministre de l'Industrie et de l'Aménagement du Territoire ». A special anniversary, which fell on 26 September (the first day of the 1989 CIPM meeting), was the centenary of the date during the first Conférence Générale des Poids et Mesures in 1889 on which (probably in the Grande Salle at the Pavillon de Breteuil) the international prototypes of the metre and the kilogram were officially sanctioned and deposited at the BIPM. The President drew the attention of members to a bronze medal, struck by the French « Monnaies et Médailles » to mark the anniversary, an example of which was presented to each member.

The President also said that this would be the last meeting of the Comité at which Prof. de Boer would be serving as Secretary.

The agenda was adopted, with minor modifications.

The President, having fixed a time schedule for the meeting, asked the Secretary, Prof. de Boer, to present his report.

2. Report of the Secretary of the CIPM (October 1988 - September 1989)

The Secretary presented his report. The reports of the Comités Consultatifs and Working Groups were presented in detail later in the meeting.

1. Member States of the Convention du Mètre. — The number of member States of the Convention du Mètre remains unchanged at forty-seven.

2. Membership of CIPM. — There have been no changes in the composition of the Comité International during the year. All seats on the Comité are occupied. However, Dr. E. Ambler and Dr. P. Dean have given notice that they intend to resign from the Comité consequent upon their retirement from their posts at the National Institute of Standards and Technology and the National Physical Laboratory.

3. Meetings of the Comités Consultatifs and Working Groups

— The CCDS held its 11th meeting on the 19th and 20th of April 1989 under the Presidency of Professor J. Kovalevsky. The meeting was preceded by a meeting on 17th and 18th of April of representatives of 26 laboratories contributing to International Atomic Time.

— Section II of CCEMRI (Mesure des radionucléides) met from 29th to 31st May 1989.

— The CCT met from the 12th to 14th of September 1989 under the Presidency of Dr. H. Preston-Thomas to discuss and adopt the International Temperature Scale of 1990 (ITS-90). The meeting was preceded by meetings of the four Working Groups on Monday 11th of September 1989.

All meetings took place at the Pavillon de Breteuil.

4. Financial Report

The Table below shows the situation of the assets of the BIPM, in francs-or, on the 1st January of the year given at the head of each column.

Accounts	1986	1987	1988	1989
I. — Ordinary funds	15 439 533,68	15 550 507,07	13 743 538,35	11 685 088,87
II. — Pension fund	10 043 819,07	11 843 142,42	13 160 434,56	14 369 021,18
III. — Special fund for the improvement of scientific equipment	573 810,31	523 857,79	214 847,73	78 764,20
IV. — Staff loan fund	187 788,99	204 771,34	230 719,45	260 806,64
V. — Building reserve fund.	821 291,74	1 816 600,45	1 359 042,99	83 232,12
Totals	27 066 243,79	29 938 879,07	28 708 583,08	26 476 913,01

3. Report on the activity of the bureau of the CIPM

The Secretary presented next the report on the activity of the bureau of the CIPM.

The bureau of the Comité has met a number of times since the last meeting of the CIPM in October 1988 : one of the meetings took place in Copenhagen. In addition, various matters were dealt with by correspondence and by telephone. As well as the usual examination of the Annual Report to Governments and the financial affairs of the BIPM, other matters dealt with this year have concerned the future of our journal « *Metrologia* » and plans for the renovation of the « Caveau des prototypes ».

Annual Report to Governments

The bureau noted with satisfaction that the improvement in payment of national contributions, which had occurred last year, has been maintained. By the end of July 1989 we had received 80 % of the total amounts due.

Among the small number of member nations seriously in arrears with their contributions is Roumania. No payment was received in 1986, 1987, 1988 or, so far, in 1989. The Roumanian contribution will, therefore, be distributed among other member nations in 1990 along with those of Chile, of the Dominican Republic and Iran. Article 6 (1921) of the Règlement annexé of the Convention du Mètre reads in paragraph 7: « Les avantages et prérogatives conférés par l'adhésion à la Convention du Mètre sont suspendus à l'égard des États déficitaires de trois années. » The implications of Article 6 will be the subject of a detailed study with the French authorities.

Financial situation of the BIPM

Over the past ten years a great deal of modernization and refurbishment of facilities at the BIPM have taken place and two new buildings have been completed. All of this has been carried out by careful management of the BIPM funds and through the support of our member nations.

Looking at the reserves, however, we see that our reserves have fallen from 1,1 times the annual dotation (1-1-80) to 0,67 of the dotation (1-1-89). The bureau is of the opinion that a prudent level at which we should try to maintain our reserves is 0,75 of annual dotation. It is now planned to reach this level within a small number of years.

As far as the pension fund is concerned, it had become clear by the end of the 1970's that a substantial reinforcement of the fund would be necessary. In 1984 we again carried out a careful evaluation of the BIPM pension fund. One of the results has been that the level of the BIPM contributions has since been maintained somewhat above the 16 % of salaries, which at the time was estimated to be correct for the long term (the same as in the Coordinated Organizations). This was to build up the pension fund to meet the increased number of retirements foreseen for the years 1987-1989, and it was agreed that the pension fund should be looked at again in about five years time. It was already noted at that time that, by comparison with the Coordinated Organizations and French civil service, the BIPM staff contribution (5 % of salary) was low : the Coordinated Organizations staff contribution was then 7 % and in the French civil service it was 6 %. The latter has now increased from 6 % to 8,9 % of salary. The Director of the BIPM has updated his review of the Pension fund and one of the conclusions is that the BIPM staff contribution should be increased from 5 % to 9 % of salary.

The Caveau des prototypes

The International Prototype of the kilogram was removed last year from the lower Caveau des prototypes for the third verification of national prototypes. The absence of the International Prototype gave us the opportunity to carry out a detailed survey of the Caveau. As was already evident, from the annual visits to inspect the Prototype, the lower Caveau in which the Prototype was kept had become seriously affected by water infiltration through the walls and floor. After careful examination, with our architect, it was concluded that there was no reasonable alternative but to abandon the lower Caveau.

The Director of the BIPM has, therefore, prepared a plan for the refurbishment of the upper Caveau so that on completion of the third verification of national prototypes the International Prototype of the Kilogram can be safely stored there. This proposal will now be presented for the approval of the Comité. Work could begin early in 1990 with a view to completion in time for the 1990 meeting of the CIPM.

Third verification of national prototypes of the kilogram

The bureau discussed the progress of preliminary work related to the forthcoming verification of national prototypes of the kilogram. This will be the first time that such a verification has been carried out using a balance (NBS-2) having a standard deviation of $1\ \mu\text{g}$. On the previous occasion, forty years ago, the standard deviation of the balance (the Rueprecht) was closer to $10\ \mu\text{g}$.

It has been found that Pt-Ir prototypes appear to increase in mass in the weeks and months following washing and steam-cleaning by about $1\ \mu\text{g}$ per month. The international prototype itself, \mathbb{K} , we now know behaves in this way. Long-term experience with the large number of national prototypes has shown that over periods of many years the observed increase in mass is only about $1\ \mu\text{g}$ per year. What we have now observed is, therefore, a shorter term phenomenon and that over a period of a year or two the rate of increase will fall from $1\ \mu\text{g}$ per month to $1\ \mu\text{g}$ per year. This relatively rapid change in mass in the months following cleaning poses a problem in the interpretation of the 1889 definition of the kilogram. Another problem is the question of whether or not the national prototypes should now be cleaned as part of the third verification. The bureau agreed that before a decision on this is taken the BIPM should consult the experts in national laboratories.

A preliminary discussion on the refurbishment of the Caveau des Prototypes and the procedure to be adopted for the third verification of national prototypes of the kilogram began after the presentation of this part of the report, but it was agreed that these questions should be examined in detail in the presence of Mr. Girard.

Metrologia

At the 1988 meeting of the CIPM a discussion took place on the future of *Metrologia*. This discussion was in part stimulated by the forthcoming retirement of the present editor, due in October 1989, but partly also, because it was strongly felt that efforts should be made to obtain more insight into the long-term future of the journal, for which the editor is wholly paid by the BIPM. It was agreed that the possibility should be explored of widening the readership of *Metrologia* by increasing its scope so that it would also attract readers interested in calibration, laboratory accreditation and perhaps legal metrology, but of course without damaging the reputation of *Metrologia* as the journal of scientific metrology. The Comité had welcomed the suggestion made by Dr. Dean that he should raise the possibility of some collaboration with the International Laboratory Accreditation Conference (ILAC), which received a positive response. Similar contacts were made with the Western European Calibration Cooperation (WECC).

There seems to exist a need for publication of articles and news on a wide range of metrological topics. These include not only laboratory accreditation but calibration and testing as well.

In addition, the bureau was also strongly of the view that we should take over the whole publishing operation from Springer-Verlag. The extent of the financial support already given is such that the income from the exploitation of the journal would cover any additional secretarial help that may turn out to be necessary. The bureau proposes that the director be asked to consult with Dr. Blackburn and Dr. Hudson and to initiate discussions with Springer-Verlag for possibly taking over the journal *Metrologia* by our organization.

Other BIPM matters

The Rules for the BIPM staff pension scheme do not at present provide for the case of pensions for dependents of deceased, divorced BIPM staff. After discussion with the staff representatives, modifications to the staff pension scheme are now proposed for approval by the Comité. These modifications are non-controversial, have negligible financial consequences and are fully supported by the bureau of the Comité.

The Time Section has now been at the BIPM for more than four years and the transfer from the Paris Observatory was formally approved by the 18th Conférence Générale in 1987. The CCDS, at its meeting which took place in April, made a number of Recommendations concerning the future work of the BIPM Time Section. Rapid changes have taken place in the technology of time transfer since the GPS system came into operation. The use of this and other satellite systems offer great advantages over previous techniques, not the least of which

is the possibility of much greater precision. Demands on the quality of time-transfer data have greatly increased and the CCDS has given some new tasks to the BIPM. Among these are the coordination of time comparisons, further analysis of time-comparison data, arranging of time comparisons using commercial satellites, harmonization of laboratory UTC scales and the establishment of improved relative coordinates of laboratory antennas.

In addition, one of the Recommendations asks national laboratories to study the possibility of providing, on loan, to the BIPM clocks that can be used to participate in time comparisons. This is desirable so that we can maintain our expertise in the analysis of time-comparison data. There was no suggestion that a primary clock be installed at the BIPM nor should data from any of the clocks at the BIPM be included in the establishment of TAI. In this respect the bureau noted that, while this was clearly understood by the CCDS, neither of these points was explicitly mentioned in CCDS Recommendation S5 (1989) and the CIPM should consider amending it to make this clear.

The BIPM is taking an increasingly important role in the field of time comparison and time scales. For the foreseeable future the work of the Time Section will be one of the most important activities of the BIPM. In consequence it will probably be necessary to increase the proportion of the BIPM resources devoted to Time. In the absence of any likely overall increase in resources a choice will once again have to be made on priorities.

4. Consultative Committees

Since the last CIPM meeting, the Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde (CCDS) had held its 11th meeting, and the Comité Consultatif de Thermométrie (CCT) its 17th. In addition there has been a meeting of Section II of the Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CCEMRI).

4.1. Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde

Prof. Kovalevsky, President of the CCDS, presented the report of the meeting that took place on 19th and 20th April, 1989. The CCDS meeting was preceded, on 17th and 18th April, by a meeting of time-laboratory representatives organized by the CCDS Working Group on TAI. This meeting, which also included representatives of the scientific unions, was chaired by Dr. Winkler of the US Naval Observatory. Six draft recommendations and two draft declarations were submitted to

CCDS as a result of discussions at these preliminary meetings. These drafts were used as the basis of the recommendations and declarations subsequently submitted by the CCDS to the CIPM.

The main topics of discussion by the CCDS were a review of the results of the transfer of TAI to the BIPM, the developments in primary frequency standards and the very wide subject of time transfer by GPS and other satellite systems. The meeting began with progress reports by various laboratories on frequency standards and clocks. The number of active caesium standards has not increased since the last meeting of the CCDS and some are out of service. The PTB clocks are the leading primary clocks because of their stability, and the accuracy of TAI depends very largely upon them; this is not a satisfactory situation. The CCDS welcomed the efforts made in France, the German Democratic Republic, the USA (NIST) and China in this domain. These efforts should be supported and enhanced and this was the reason for Recommendation S3 (1989) on the «Improvement of the frequency accuracy of primary standards».

A number of studies have been reported on hydrogen masers. Their number is increasing, but some of them are not suitable for use as the basis of time scales because of their insufficient long-term stability. At present, work is underway on mercury Hg^+ , magnesium Mg^+ and barium Ba^+ standards, but at present they are still experimental. Recommendation S2 (1989) and Declaration 1989/2 drew attention to the need for improved long-term stability of all frequency standards.

The other essential step required to achieve the best possible TAI time scale is the improvement of time-transfer techniques. The simplest and most efficient method at present is through the use of GPS. World-wide use of this technique is now organized by the BIPM, which coordinates a large network of laboratories. Soviet Union time is, however, only connected via LORAN-C. This is very unfortunate, since the USSR caesium standards provide a very good scale but are not accurately linked to those of the West, whose data are used at the BIPM. A Soviet equivalent of GPS, named GLONASS, will soon be in operation and the wish was expressed that this be made widely available. This was the reason for Recommendation S6 (1989) and Declaration 1989/1 on time links.

Even if we can have good links, however, there remains a number of systematic errors due to the use of incorrect antenna coordinates. BIPM has now shown that these should be improved to obtain better consistency of the data. This was the reason for Recommendation S4 (1989).

As regards the construction of TAI by the BIPM, the CCDS agreed that practical experience in time comparisons is necessary. Although active cooperation exists between the BIPM and the Laboratoire Primaire du Temps et des Fréquences at the Paris Observatory, this is not satisfactory for the long term because we shall be carrying out work

that will require our frequent and sometimes continuous attention. Recommendation S5 (1989) was made concerning the installation of clocks at the BIPM. It was suggested that while clocks on loan from national laboratories would be a very good short-term solution, in the end the BIPM would have to provide the necessary financial resources itself. This is a question that would have to be considered in preparing the Convocation for the 19th Conférence Générale.

Another problem considered by the CCDS was the synchronization between the national UTC(k) scales built for local use and broadcasting. Differences between these time scales, of up to 100 μ s, were of concern to the CCIR Study Group 7, which had issued a draft recommendation to be submitted to the CCDS, endorsed with Recommendation S1 (1989).

The readjustment of national time scales, statistical methods applied to time and relationship between atomic time and pulsars were also discussed by the CCDS.

The CCDS Recommendations S1 (1989), S3 (1989), S4 (1989) and S5 (1989) were adopted as Recommendations 1 (CI-1989), 2 (CI-1989), 3 (CI-1989) and 4 (CI-1989). The CIPM also took note of the CCDS Recommendations S2 (1989) and S6 (1989).

4.2. Comité Consultatif de Thermométrie

Dr. Preston-Thomas, President of the Comité Consultatif de Thermométrie, presented the report of the meeting of the CCT, which had taken place on the 12th, 13th and 14th September 1989.

The principal item on the agenda had been 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 they had all met again on the days just preceding the CCT meeting in September. Dr. Preston-Thomas presented the ITS-90 with the following comments:

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, while in addition other, temporary scales, for temperatures outside the ranges of the international scales, have been generated and recommended from time to time. These three international scales were very similarly constructed, all having the same two interpolating instruments and using radiation laws for temperatures above the gold freezing point. While the proposed ITS-90 retains a recognizable resemblance to these international predecessors, readily apparent changes are 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 and
- has overlapping ranges and sub-ranges and offers a choice of reference temperatures in some ranges.

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

The new material that contributed to its construction includes : the result of a large number of thermodynamic measurements using gas thermometry, total and monochromatic radiation thermometry, and magnetic thermometry on which was based the helium vapour pressure equations ; notable improvements in platinum resistance thermometers that has 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 measurement and control systems that make feasible rapid and accurate temperature measurements and the 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 660 °C to 962 °C range. That range will require the use of the extremely expensive high temperature PRT instead of the current cheap Pt-Rh/Pt thermocouple. The objection, though apparently 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, low cost, much better measurement 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 1990. The first has some sections still unwritten ; and its publication date is expected to be some six months behind that of its companion.

The CCT Recommendation T1 (1989) on the International Temperature Scale of 1990 was then adopted by the CIPM as Recommendation 5 (CI-1989). The CIPM also took notice of the CCT Recommendations T2 (1989) on Reference Tables for thermocouples and industrial platinum resistance thermometers and T3 (1989), on the uncertainty inherent in the realization of the International Temperature Scale of 1990.

4.3. Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants

Dr Dean, President of the CCEMRI, presented the report of Section II of the CCEMRI (Mesure des radionucléides) that met from 29 to 31 May 1989.

The report on the 1988 full-scale comparison of ^{125}I was presented and discussed by Section II. The results were considered satisfactory although the range of reported values was larger than for recent comparisons and possible reasons for this were discussed. The report on the earlier full-scale ^{109}Cd comparison will be prepared for publication in condensed form. A full-scale ^{75}Se comparison may be scheduled after the trial comparison is completed in late 1989. The International Reference System (SIR) and its proven stability were described, and options for the extension of the system to include gases and β -emitters were discussed. Possible devices to be used include an ionization chamber sensitive at low energy, and a liquid scintillation system both of which will be investigated further. Reports from the working groups were presented and recent BIPM activities described.

Future CCEMRI meetings were then discussed by the CIPM, Dr. Dean considered that they should have a wider scope than just the consideration of the reports of the three section meetings. He was of the opinion that a wider membership than simply the chairmen of the three sections was necessary and he proposed to invite three additional members to the next 1991 meeting. Presidents of the three sections had agreed to broaden the scope of CCEMRI and had found his proposal attractive.

It was proposed by the President of CIPM, and agreed, that the three section meetings should take place in parallel, just before the CCEMRI meeting. All meetings should take place during one week, probably in May 1991, on a date to be arranged in consultation with the chairmen of the sections and the Director of the BIPM.

The President of the CIPM remarked that these changes would strengthen the position of CCEMRI.

Dr. Iizuka said that, also from the point of view of distant countries, it would be very useful to have the three section meetings and CCEMRI close together.

4.4. Future meetings of the Consultative Committees

The President reminded the Presidents of the Consultative Committees that dates should be agreed for future meetings. The following were agreed :

CCE	June 1991
CCPR	17-19 September 1990*
CCT	no date
CCDM	1991
CCDS	no date
CCEMRI	May 1991
CCU	July 1990
CCM	May-June 1991

5. Work of the BIPM : Report of the Director

Dr. Quinn introduced the presentation by the staff of the scientific work of the BIPM.

As usual, the presentation began with the Length section. Mr. Chartier, head of the section, summarized the work of his section by saying that line scales represented about 10 % of the work and stabilized lasers about 90 %. The working programme for 1989 consisted of international comparisons of He/NeCH₄ lasers (presented by Dr. L. Robertsson) and iodine lasers, assistance to national laboratories and rebuilding of 612 nm and 515 nm laser systems, work on iodine cells (Dr. S. Picard) and the measurement of line scale N° 12924 (Dr. L. Robertsson). He informed members of the CIPM that Mr. Felder is at JILA (Boulder USA) for a year to study stabilized lasers.

Mr. Girard, head of the Mass section, presented the progress of the third periodic verification of national prototypes of the kilogram, and the technique employed : preliminary studies on \mathfrak{K} , the « témoins » and new prototypes N° 67 and 73, the effect of cleaning and washing on the prototypes, the evolution of the mass of the prototypes after cleaning during the first four months, the comparison between \mathfrak{K} , its official copies and the working standards of the BIPM, and a decision to be taken on the procedure to adopt for the rest of the verification.

A discussion followed on the apparent increase in the value of the mass of prototypes in the months after cleaning, and the conditions of operation (atmospheric conditions, possibility of automation of the washing, problems of pollution, the effect of alcohol and water on the surface, of heating...). This discussion was taken up again at a later point in the meeting.

* The dates for the CCPR meeting were decided later.

Prof. Guinot, head of the Time section, presented the activities of his section. The production of TAI and UTC was regularly pursued, without important changes in the number and quality of the participating clocks, although three new laboratories have joined the «TAI club», in South Africa, Brazil and New Zealand. Much of the research work has been devoted to the GPS. The improvement brought about by measured ionospheric delays, precise ephemerides for the satellites, and coordinate corrections for the antennas was shown. This has led to a reorganization of the GPS time links, with essentially a primary belt around the Earth completed by regional links. A new, more flexible, method of GPS data processing has been developed, which is adapted to local processing by the cooperating laboratories. We now publish the difference UTC-GPS time and the synchronization offset of individual satellites. The first volume of the series of the Annual report of the BIPM Time Section was issued in June 1989.

Dr. Witt, head of the Electricity section, introduced the activities of his section: the improved Josephson effect standard with a 1 volt array (presented by Dr. D. Reymann), the new voltage comparator for transfer from 1,018 V to 10 V, improved use of the quantum Hall effect with a SQUID voltmeter and cryogenic current comparator (presented by Mr. F. Delahaye), the new automatic bridge for the 1990 international comparison of 1 Ω and 10 Ω resistance standards, and the change of the values of the BIPM reference standards of electromotive force and resistance. He also presented the, very satisfactory, results of a questionnaire on the intentions of the national laboratories to apply the changes in representations of the electrical units and the ITS-90.

Dr. R. Köhler presented the progress of the work, started in 1988 in the Photometry-Radiometry section, on the study of silicon photodiodes for optical radiometry (study of the reflectivity and quantum efficiency of the photodiodes and uniformity of the sensitivity of the detectors for example...), and described the experimental arrangement.

Dr. Müller, head of the Ionizing Radiation section, introduced the different topics presented by the physicists of his section: X- and γ -ray dosimetry, in particular international comparisons of air kerma and measurement of absorbed dose to water (Mrs. Boutillon); explanation of discrepancies observed with Mg chambers in the recent neutron dosimetry comparison as due (by the Jesse effect) to the gas tubes used (Dr. Huynh); present status of the comparison of the activity of ^{75}Se and the planned extension of the SIR (Dr. Ratel) as well as a new method of determining the count rate of true coincidences without actually measuring them (Dr. Müller).

The President, in the name of the CIPM, thanked Dr. Quinn and the members of the BIPM for the interesting presentation of their work. He remarked that if there was little discussion, this did not mean that the CIPM was not interested, but that there already existed close contacts with specialists of the field. He thanked Prof. Allisy, in his

absence, for the work he had done in the ionizing radiation section, and noted that the CIPM missed him much and hoped to have an opportunity to see him and have appropriate word with him in the future.

6. Third verification of national prototypes of the kilogram

A discussion took place (in the presence of Mr. Girard) on the consequences of the fact we now know that the international prototype of the kilogram, K , increases in mass at the rate of about $1 \mu\text{g}$ per month in the months just following cleaning and washing. Dr. Quinn explained that there were two decisions that must be made before the third verification could continue. The first concerned the international prototype itself and the second the national prototypes.

As regards the international prototype, the 1889 definition does not specify the state of cleanliness of the prototype (although it was washed in 1889, see below) and in any case it does not take account of the possibility that the prototype might have a changing mass after cleaning. Dr. Quinn proposed that we agree to interpret the 1889 definition as referring to the mass of the international prototype just after cleaning and washing using the BIPM procedure and that this mass be deduced by extrapolation. After considerable discussion the Comité adopted this interpretation for the purposes of the third verification but made it clear that this did not in any way constitute a redefinition of the kilogram.

As regards the national prototypes the problem is different. In view of the relatively rapid change in mass of the Pt-Ir prototypes that occurs in the months after cleaning and washing one might argue that it would be better not to clean and wash those national prototypes that are to be sent to the BIPM to take part in the third verification. Dr. Quinn, however, argued that we could not know how stable an uncleaned mass would be, particularly if many years had passed since it had last been washed. Furthermore, he said that this would be the first time that national prototypes would be measured using a balance having a standard deviation of about $1 \mu\text{g}$ and that a reference mass assigned with this accuracy to each national prototype would be very desirable.

This provoked considerable discussion, not only on the problem of whether or not to clean national prototypes, but also on the wider problem of our lack of understanding of the processes involved in these small changes in mass that are observed. Dr. Quinn finally proposed that in the present state of our knowledge it would be better to continue the existing procedure of cleaning and washing prototypes — at least for the purpose of the third verification — until we have had time to study the question further. Although this proposal found general

agreement among members of CIPM it was felt that before any decision was taken a meeting of the CCM Working Group on Mass Standards should be consulted. Dr. Quinn was asked to convene a meeting as soon as possible*. It was agreed that after the advice of the Working Group had been obtained a decision on how to proceed would be taken by Prof. Bray, President of the CCM and Dr. Quinn.

Prof. Giacomo reminded the Comité that the procedure for the washing of the kilogram prototypes was already systematically used in the 1880s when calibrating the national prototypes and described by Max Thiesen in « Kilogrammes prototypes — Première partie — Comparaisons des prototypes nationaux du kilogramme entre eux » in *Travaux et Mémoires du BIPM*, Vol. VIII, 1893, pp. 6 and 7, and in « Kilogrammes prototypes — Troisième partie — Compensation des comparaisons et discussion des résultats ; Recherches sur la constance des prototypes du kilogramme » in *Travaux et Mémoires du BIPM*, Vol. IX, 1898, p. 36.

As regards more long-term work, the Comité agreed that at the BIPM, and at national laboratories where possible, new work should begin to improve our knowledge of the behaviour of Pt-Ir prototypes using all modern techniques that were appropriate.

7. Proposal for redecoration of the Caveau des prototypes

Water infiltration over many years has degraded the walls and floor of the lower Caveau to such an extent that it is now no longer a proper place to store the international prototype of the kilogram. After consultation with our architect we have come to the conclusion that a wholly unreasonable amount of work would be required to put things right. We are, therefore, proposing to abandon the lower Caveau and to refurbish the upper Caveau to receive the international prototype and its copies on completion of the third verification. In view of the disturbance likely to be caused by the work which needs to be carried out in the upper Caveau, Dr. Quinn said that if the Comité agreed with what is proposed, he would prefer to delay the beginning of the work (which might last some six months in all) until after the completion of the third verification. The Comité agreed that the work should be carried out as proposed and that the date at which it should begin should be left to Dr. Quinn to decide. The Comité noted that the three keys specified in the Convention du Mètre would become the three keys of the new safe to be placed in the upper Caveau, that the new door of the upper Caveau would be of bank-vault type and that the

* Note added 14 November 1989: The meeting took place on 2 and 3 November, the conclusion being that the existing procedure of cleaning and washing should be applied to national prototypes participating in the third verification.

Director would have access in the presence of a member of the Comité. The old international prototype of the metre and certain of our working standards of the kilogram would be kept in the re-furbished upper Caveau in the existing safe which is at the back of the Caveau and which will not be modified.

8. Financial and Administrative Affairs

The President welcomed Miss Perent, the new administrator of the BIPM, and presented the « Rapport annuel aux Gouvernements des hautes parties contractantes sur la situation administrative et financière du Bureau International des Poids et Mesures en 1988 », and the report of the accountant for 1988. The reports were approved unanimously and the required formal discharge was given to the Director and the administrator of the BIPM.

The President then introduced the interim report for the 1989 exercise and two draft budgets for 1990.

Dr. Quinn drew the attention of members to the projected shortfall in income from member nations for 1989 which he estimated will be 6 % below that voted by the 18th Conférence Générale. Although this will result in a budget deficit in 1989, he had every expectation that the unpaid contributions would be made up in 1990. On average since 1980, 98 % of contributions had been paid although in individual years fluctuations of up to 6 % have occurred. As agreed in 1988, he was attempting to underspend the budget voted for 1989 by about 500 000 gold francs. This was the amount the Comité had authorized in 1988 to be taken from reserves, in the form of an advance on the 1989 budget, to help pay for the completion of the Nouveau Pavillon in 1988.

Commenting on the details of the projected expenditure for 1989 he mentioned the higher spending on furniture which was linked to the occupation of the Nouveau Pavillon. Tight control had been maintained on laboratory spending and less would be spent this year than had been foreseen. For the year 1990 it was the intention to try and achieve a balance between income and expenditure but this would be difficult if contributions from member States were once again low. One of the important and large items of expenditure envisaged for 1990 was a numerically-controlled lathe for the workshop. The purchase in 1988 of a numerically-controlled milling machine had been a great success and the numerically-controlled lathe would complement it.

The CIPM then discussed the question of an increase in the contribution of the personnel to the pension fund, from 5 % to 9 % of salary as proposed in the Report on the activities of the bureau of the CIPM under item 3 of the Agenda. It was proposed that this be linked to a uniform 4,5 % increase in the salaries, so that the effective change in real income would be very small. As was pointed out by an

actuary some years ago, an increase of the pension fund contribution seems to be inevitable. It is also the case that the salaries in the Coordinated Organizations have increased a little more than those of the BIPM over the past two years, and it is reasonable that our salaries be kept at the same level so as to allow us to recruit first class staff.

Some members asked, if this proposal were to be adopted, what would be the incidence on the overall budget. Dr. Quinn replied that alternative draft budgets for 1990 had been put before the Comité. In the first no increase in salaries was foreseen while, in the second, the proposed 4,5 % increase in salaries had been included. In the latter the money had been found by modest reductions in expenditure elsewhere. He remarked, however, that the proposed increase would take our expenditure on salaries (49 %), allowances, insurance and pension (21 %) to a total of 70 % of our budget, which is about the maximum it should reach. The complete financing of the pension fund is however a heavy charge and this will inevitably increase in the future. In reply to a question, the Secretary said that it is not the intention that this proposed increase in salaries be reflected in an increase in the dotation requested from the 19th Conférence Générale.

The proposed increase from 5 to 9 % of salary of the staff to the pension fund was accepted, as was the offsetting increase of 4,5 % increase of the salaries. The general view of members was that since in this particular situation there would be practically no increase in net revenue of active staff members, an increase in net revenue of pensioners was not justified. Dr. Quinn said that although he accepted this argument he wished to draw the attention of members to the strong feelings of the staff salary commission that the 4,5 % increase should be given to pensioners according to the staff Statutes. Prof. de Boer replied that such an automatic increase was not the intention of the relevant article of the Statutes and that members should remember that pensioners receive automatically the regular cost-of-living increases following the BIPM index. It was decided by the Comité that in the present circumstances the BIPM pensioners should not receive the 4,5 % increase accorded to active members of staff.

Some minor changes in the pension rules (incidence of death of a divorced staff member) proposed by the bureau of the Comité and agreed by the staff Statutes Commission were accepted.

The draft budget for 1990 was approved with the 4,5 % increase in salaries included.

BUDGET FOR 1990

INCOME

	gold francs
Budgetary income :	
1. Contributions from member States	18 858 000
2. Interest on capital	<u>828 000</u>
 Total	 <u><u>19 686 000</u></u>

EXPENDITURE

A. Staff expenses :			
1. Salaries	9 605 000	}	13 863 000
2. Family and social allowances	1 642 000		
3. Social Security	983 000		
4. Industrial injuries insurance	96 000		
5. Pension fund	1 537 000		
B. Operating expenses :			
1. Furniture	50 000	}	2 697 000
2. Laboratories and workshops	930 000		
3. Heating, water, electrical energy	450 000		
4. Insurance	50 000		
5. Printing and publications	155 000		
6. Office expenses	340 000		
7. Travel expenses and freight charges ...	340 000		
8. General maintenance	310 000		
9. Bureau du Comité	72 000		
C. Capital expenditure :			
1. Laboratories	1 800 000	}	2 212 000
2. Mechanical workshop	212 000		
3. Library	200 000		
D. Buildings (major maintenance and renovation) ...	740 000		
E. Miscellaneous and unforeseen expenses	<u>174 000</u>		
 Total			 <u><u>19 686 000</u></u>

The budget for 1990 is adopted by the CIPM.

9. Metrologia

The President informed the members of the CIPM that Dr. D.A. Blackburn will replace Dr. R.P. Hudson as editor of *Metrologia* in October 1989, after the retirement of Dr. Hudson. The Comité confirmed the appointment of Dr. Blackburn in Grade 11.

On the basis of the information given in the Report of the bureau du Comité (item 3 of the Agenda), the CIPM discussed the future of *Metrologia* and suggestions were made for increasing its readership, such as publishing articles of general interest on high-level calibration services, legal metrology and laboratory accreditation. Of particular importance was the proposal to take preliminary steps with Springer-Verlag for a change in the long-term future of *Metrologia*, i.e., the possibility of taking over *Metrologia* and acquiring the copyright for the BIPM.

A possibility of collaboration with the OIML and the ILAC had been envisaged, but apparently the OIML is only interested in a 50 % share and the bureau was not in favour of going this far. The Comité as a whole agreed with this view. It seems that ILAC, on the other hand, would accept participation in *Metrologia* on a more modest basis.

Dr. Plebanski was strongly of the view that we should protect the real sense of metrology as a scientific discipline, as distinct from testing and accreditation, and he was opposed to an association with an institution such as the ILAC. He thought it was better to be careful in inviting other organizations to participate in our journal. Dr. Blevin favoured a slow move towards broadening *Metrologia*.

Dr. Dean said that the world is changing, and that dealing with problems of testing or accreditation would lead to an increase in the circulation of *Metrologia*, which would be of great benefit to all concerned. The ILAC is interested in contributing to *Metrologia* — publishing articles of broad interest, or even participating in the editorial board — and would like to have the point of view of the CIPM at an early stage.

The Secretary proposed that we should first take over *Metrologia* and obtain the copyright from Springer-Verlag, then, as suggested Dr. Blevin, continue the journal as it is now, but slowly increase the number of articles dealing with the broader range of subjects, always taking care to maintain the high scientific level of the journal as a whole. This policy was agreed by the Comité. After further discussion it was concluded that, if the negotiations with Springer-Verlag are successful, the journal should have the title :

« Metrologia, the international journal
of pure and applied metrology »
published by the BIPM.

The journal would continue to be published four times a year. It should, at an early stage, include a small but increasing number of

articles, appearing at the end of each issue, under the general heading « applied metrology » and, dealing with calibration, laboratory accreditation, and news from organizations concerned with these subjects. Additional members of the editorial board could be envisaged who would ensure high quality articles in these new fields.

10. Other business

10.1. Changes in membership of the CIPM

The President informed members that Dr. Mitra had submitted his resignation to take effect at the end of this CIPM meeting. His successor at NPL New Delhi is Dr. K. Joshi, a specialist in solid state physics.

Dr. Ambler ceased to be Director of NIST in March 1989. He had not resigned immediately from the CIPM, however, as he had been requested to stay on by the bureau of the CIPM.

Dr. Dean will retire from the Directorship of NPL at the end of March 1990, and had written to the President of the CIPM offering his resignation from that time. However, at the request of the bureau of the CIPM he had agreed to stay on until after the 1990 CIPM meeting.

10.2. New Secretary for the CIPM

Prof. de Boer informed members that he had decided to offer his resignation as Secretary of the CIPM. He said that he felt that he had been Secretary for a very long time, from 1962 until 1989, and that he would prefer to hand over to someone younger. Now was a good time as it was between Conférences Générales. He would like to remain a member of CIPM and to continue as President of CCU.

The President, in accepting his resignation, thanked Prof. de Boer for the outstanding contribution he had made while Secretary, both to the CIPM and to the BIPM. These remarks were warmly supported by all members of CIPM. The President went on to say that life must go on and he would like to propose that Prof. Jean Kovalevsky be elected Secretary of the CIPM to take over from Prof. de Boer on 1 January 1990. In Prof. Kovalevsky's absence, his candidature was discussed and received the unanimous support of all members. Prof. Kovalevsky was then invited to return and said he would accept nomination. A secret ballot followed and he was elected with no votes against and one abstention. Prof. Kovalevsky thanked the members of CIPM for the confidence they had placed in him.

At a reception in the evening Prof. de Boer was presented with an inscribed Sèvres vase by Dr. Quinn on behalf of the CIPM and BIPM in recognition of his outstanding contribution over many years to the life of our organization.

10.3. Preparation of 19th Conférence Générale

The dates for the 19th Conférence Générale proposed by the bureau of the CIPM now have the agreement of the French authorities. They are Monday, 30 September until Friday, 4 October 1991.

The Convocation for the 19th Conférence Générale must be sent to member Governments by the end of December 1990. The text therefore, must be agreed by the Comité at its meeting in September 1990. A draft will be prepared early in 1990 by the bureau of the Comité. A discussion then followed on the content of the Convocation. It was agreed that, in addition to an annual increase of 2 % or 3 % above expected inflation, a one time increase of a further 3 % or so be requested to support the additional work demanded of the Time Section. It was, however, the opinion of many members that delegations would have strict instructions from their Governments to keep spending to as low a level as possible.

10.4. Next CIPM meetings

The CIPM decided that the dates of the next CIPM meetings will be as follows :

September 25 to September 27, 1990,
September 25 to September 27, 1991.

The President of the CIPM closed the 78th meeting of the CIPM thanking everyone present for having contributed to a successful meeting.

**Recommendations
adopted
by the Comité International des Poids et Mesures ***

Synchronization of UTC(k) and UTC

RECOMMENDATION 1 (CI-1989)

The Comité International des Poids et Mesures,
considering

— that some laboratories report values of UTC(k) to the Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) that show significant departures from UTC,

— that the close agreement of timing centres with UTC facilitates the operation of a number of systems in astronomy, geodesy, navigation and telecommunications,

recommends

— that laboratories, in consultation with the BIPM, use appropriate means to reduce existing offsets between UTC(k) and UTC to a few microseconds without making any adjustment in frequency to clocks contributing to TAI.

Improvement of the frequency accuracy of primary standards

RECOMMENDATION 2 (CI-1989)

The Comité International des Poids et Mesures,
considering

— the need to improve accuracy in the scale unitary interval of International Atomic Time (TAI),

— the small number of primary caesium standards contributing effectively to TAI,

recommends

— the construction of new primary caesium standards,

— the improvement of the frequency accuracy of existing primary standards,

— the study of the systematic differences in frequency between them.

* Please note that the official version of these Recommendations is the French one.

Reference coordinates of antennas

RECOMMENDATION 3 (CI-1989)

The Comité International des Poids et Mesures (CIPM),

considering that the use of inconsistent coordinates of the antennas is an important source of error in time transfer by one-way satellite techniques,

recommends that, in any site, for such operations in support of International Atomic Time (TAI) :

— the reference coordinates of the antenna should correspond to its real position in the terrestrial reference frame of the International Earth Rotation Service (IERS),

— the reference coordinates and the operational coordinates used within the receiver should be reported to the Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) and collaborating laboratories,

— neither the operational coordinates nor the location of the antenna should be subject to change without pressing cause,

— if such a change is, however, found to be necessary, data sufficient to maintain the accuracy of the time comparisons should be passed without delay to the BIPM and the collaborating laboratories.

The CIPM *also recommends* that methods of relative positioning be employed to link the antenna to the IERS stations, in consultation with the BIPM.

Installation of clocks at the BIPM

RECOMMENDATION 4 (CI-1989)

The Comité International des Poids et Mesures,

considering

— that it is important to maintain at the Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) a high level of competence in the coordination of the time comparisons which provide the basis of TAI,

— that practical experience at the BIPM in such time comparisons is already desirable and in the future will become essential,

— that the present experience has been gained thanks to the facilities generously provided by the Paris Observatory,

decides that the BIPM should study the steps which would have to be taken for one or more clocks together with the necessary time-comparison equipment to be available on site, and

invites member laboratories of Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde (CCDS), in view of the high cost of such installations, to examine the possibility of providing equipment on loan to the BIPM.

The International Temperature Scale of 1990

RECOMMENDATION 5 (CI-1989)

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

- The CIPM *notes* that, by comparison with the IPTS-68, the ITS-90
- extends to lower temperatures, down to 0,65 K, and hence also supersedes the 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 CIPM 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 Bureau International des Poids et Mesures and periodically updated.

The CIPM *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.
-

DIRECTOR'S REPORT
ON THE ACTIVITY AND MANAGEMENT
OF THE BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
(October 1988 - September 1989)

I. — STAFF

Promotions and changes of grade

J.-M. CHARTIER, « métrologiste principal », was promoted to the grade of « physicien chercheur principal ».

M. BOUTILLON, « physicien », was promoted to the grade of « physicien principal » (« adjoint »).

D. REYMANN, « physicien », was promoted to the grade of « physicien principal » (« adjoint »).

B. BODSON, « mécanicien principal », was promoted to the grade of « technicien principal ».

A. MONTBRUN, previously « gardien », was transferred to the grade of « mécanicien ».

These changes took effect from 1 January 1989; the promotions of the two new « adjoints » resulted from a vote of the CIPM during its session of October 1988.

Appointments

Brigitte PERENT, born 23 August 1955 in Paris, previously financial director in a private firm, was appointed « administrateur » from 1 October 1988.

Angela and Enrique DOMINGUEZ, born respectively 29 June 1963 in Braya (Portugal) and 8 March 1962 in Vigo (Spain), were appointed « gardiens » from 26 October 1988.

Isabel and Cesar NEVES DOS SANTOS, born respectively 10 December 1957 in Penacova (Portugal) and 19 December 1954 in Penacova (Portugal), were appointed « gardiens » from 14 November 1988.

Jacques LABOT, born 3 July 1949 in Corbeil-Essonnes (Essonne), previously electronic specialist in a private firm, was appointed « technicien principal » from 1 January 1989 in the laser section.

Carlos DIAS NUNES, born 23 October 1956 in Borgas de Baixo (Portugal), was appointed contractual « aide-jardinier » from 1 March 1989.

Roland GOEBEL, born 20 December 1951 in Le Creusot (Saône-et-Loire), previously electronics physicist at INM in Paris, was appointed « technicien principal » in the Radiometry section from 1 May 1989.

Departures

M. MONTBRUN, « gardienne » since 1 December 1967, retired on 1 November 1988.

M. DE CARVALHO, « gardienne » since 1 January 1987, resigned her post at the BIPM on 10 November 1988.

J. GAILLARD, « administrateur », retired on 31 January 1989 after 15 years of devoted and effective service.

B. PICAUD, contractual « aide-jardinier » since 1 July 1987, left the BIPM on 16 March 1989.

A. ALLISY, head of the Ionizing Radiation section retired on 1 April 1989 after 28 years of devoted and distinguished service that added much to the reputation of the BIPM.

C.C. SPEAKE « physicien » in the Mass section, resigned on 30 September 1989 after five years service to take up a post in the School of Physics and Space Science at the University of Birmingham (U.K.).

Research fellow

A. SATRAPINSKI, Research fellow in the Electricity section since 11 June 1986, left the BIPM on 31 December 1988 at the end of his contract.

II. — BUILDINGS

Observatory

Rewiring of the gravimetry laboratory and of the computer-room in the Time section.

Redecoration of an office on the first floor.

Continuation of the repairs on the roof.

Installation of a small workshop in the basement for maintenance of the air-conditioning equipment.

Grand Pavillon

Redecoration of four offices on the ground floor.

Extension of the staff-canteen and kitchen in the basement.

Installation of a changing-room for the cleaners.

Nouveau Pavillon

Final part of the installation and decoration of the building.

Ionizing radiation building

Redecoration of an office.

Outbuildings and park

Replacement of the last of the 98 trees along the Allée du Mail, begun in 1988.

Landscaping of the surroundings to the Nouveau Pavillon.

Replacement of two gateways.

Construction of a small outbuilding for garden equipment including a changing-room for gardeners.

III. — SCIENTIFIC WORK

Introduction

On 28 September 1889 the 1st CGPM formally deposited the new international prototypes of the metre and the kilogram in the « Caveau » at the Pavillon de Breteuil. Since then, the prototypes have lain undisturbed except for the rare occasions upon which they have been used for the verification of national prototypes. The international prototype of the kilogram, designated \mathfrak{K} , was taken out in 1939 and then again in 1946 for the second verification and is now once more in use for the third verification. As a preliminary, comparisons are now under way between \mathfrak{K} , its six official copies « témoins » and a small group of the BIPM working standards. The measurements are being made using the NBS-2 balance. This is the first time that \mathfrak{K} and its copies have been used with a balance that has a reproducibility of $1 \mu\text{g}$ or better and, as one might expect, the interpretation of the results is not as simple as it was in the old days. The international prototype, along with other Pt-Ir kilograms that we have examined, increases in mass in the months following cleaning and washing, by just over $1 \mu\text{g}$ per month. The definition of the kilogram adopted in 1889 does not tell us how to deal with this.

The results we have so far are preliminary ones, but by the time of the meeting of the CIPM in September we shall be in a better position to describe what we have observed and make a proposal regarding the interpretation of the 1889 definition of the kilogram.

Work in the Length section this year has been much concerned with international comparisons of laser wavelengths or frequencies, particularly those of the methane-stabilized laser near $3,39 \mu\text{m}$. This transition is

taking an increasingly important position in the chain between the microwave and the visible wavelength and frequency domain. In addition, an important step has been taken towards the possible extension of the list of recommended wavelengths for the definition of the metre. For the first time, accurate realizations have been made of the 543 nm, green transition of iodine using a pair of He-Ne lasers having external cells.

In the Time section, TAI and UTC have continued to be established and distributed worldwide. Good results have been obtained using a new 2-frequency GPS receiver, built at the BIPM by a Japanese Guest Worker, which overcomes many of the problems related to ionospheric delays. The GPS seems to be assuming an increasingly important role in time transfer. During the first few months of this year, nearly 90 % of the time comparisons that were used in the establishment of TAI were made via GPS. The work carried out at the BIPM making use of the more precise ephemerides of the GPS satellites, obtained from the U.S. National Geodetic Survey, has shown that even more accurate time transfer is possible.

The Electricity section, in addition to carrying out a considerable amount of follow-up work related to the important decisions taken last year by the CCE and the CIPM on the representation of electric units, has made further progress in the BIPM realizations of the Josephson and quantum Hall effects. Using 1-volt Josephson arrays, very precise comparisons have been made with our single-junction Josephson device and, using a new cryogenic current comparator with SQUID detector, new measurements have been made of the quantum Hall resistance. In both these fields the accuracy with which we can now make measurements is at the frontier of what is at present possible. Work has continued on the comparison of the Josephson effect observed in junctions made from a high-temperature superconducting material with that observed in metallic junctions.

The establishment of our capability in radiometry, begun two years ago, continues to progress well. We have been studying the behaviour of silicon photodiodes and are confident that we have a good understanding of most of the problems related to their self-calibration and use. Comparisons have begun to be made between our own self-calibrated diodes and radiometric scales of the INM and the NPL. The problem of the future supply of photometric (and pyrometric) standard lamps has been worrying us, as it has those responsible for these fields in national laboratories.

In the field of ionizing radiations, the dosimetry group has performed various studies for establishing the characteristics of the beam of the new ^{60}Co source. Measurements of absorbed dose to water have begun with this source. The evaluation of some additional corrections in the determination of the absorbed dose to graphite has led to a revision of the results of previous comparisons. For neutron kerma the

international comparison organized by the BIPM is going on. As regards radioactivity measurements, a considerable effort has been devoted to the preparation of the final report on the successful ^{125}I comparison carried out among 19 laboratories. Preparations are under way for the ^{75}Se trial comparison due to begin in June 1989. The SIR system continues to operate well, and various options for its extension are under discussion. With respect to counting statistics, several problems have been solved. Long-term work on series arrangements of two dead times of the generalized type continues. Useful practical results can be expected from the solution of this problem.

In the field of thermometry, the intense activity in Working Groups of the CCT for the preparation of the final text of the ITS-90 has included a significant participation by some members of the BIPM staff.

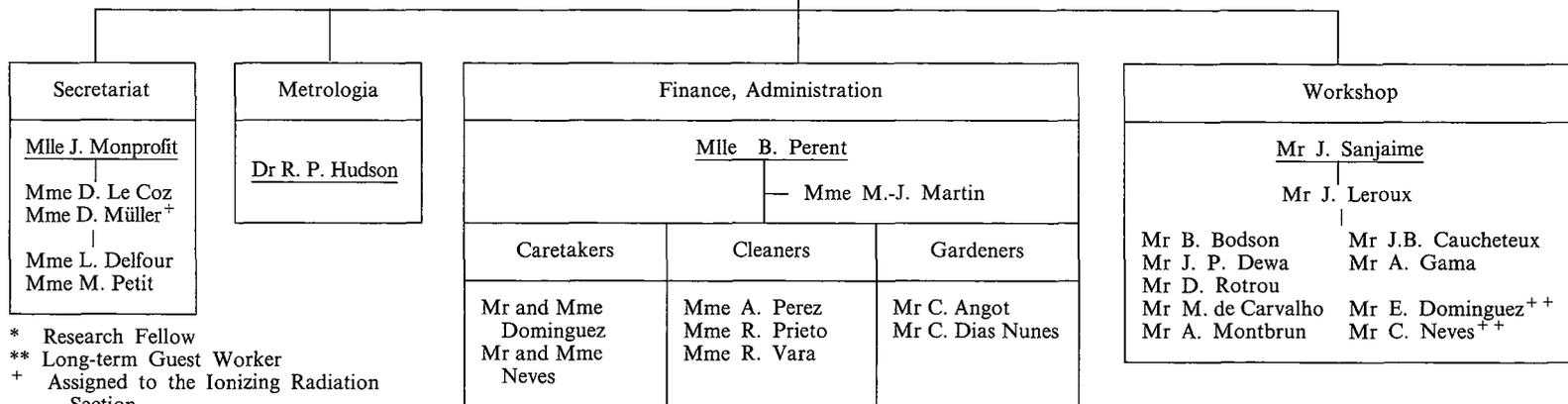
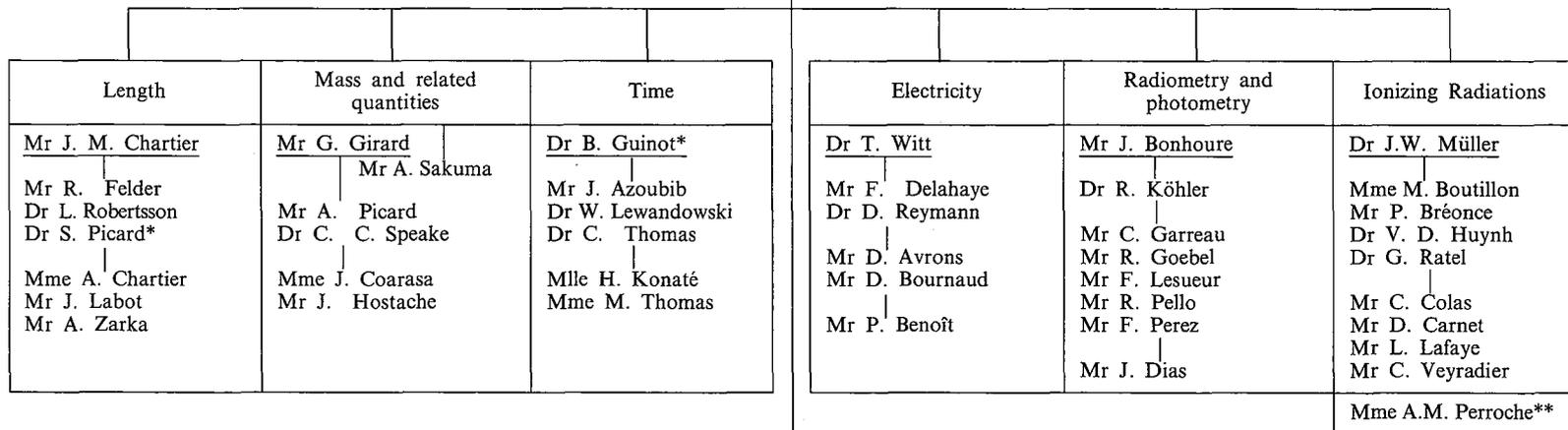
The Nouveau Pavillon and its surroundings have now been completed. The building was occupied shortly after its inauguration at last year's meeting of the CIPM and it now gives complete satisfaction. A decision is shortly to be made on the replacement of our word-processing system for the secretariat. A number of systems have been examined, none of which is wholly satisfactory, but I expect to be able to have a system that meets reasonably well our requirements for efficiency and ease of use for the secretariat, accessibility for diskettes produced on laboratory micro-computers and price.

This Report has been written in a modified style in conformity with the decision of the CIPM, made at its meeting in October 1988, that the Director's Report should be shorter and less detailed while containing full references to published work. Following the general introduction you will find that the report on the activity of each section is nearly self-contained and includes the text of the report, list of publications, lectures and visits made by staff of the section. For information of members of the CIPM I include (p. 122) an organization chart of the BIPM, up to date on 1 June 1989, showing the six scientific sections, plus administration and finance, secretariat and workshop, with their lines of responsibility to the Director.

ORGANIZATION OF THE BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

1 June 1989

Director
Dr T. J. Quinn



* Research Fellow

** Long-term Guest Worker

+ Assigned to the Ionizing Radiation Section

++ Also caretakers

Publications, lectures and travel not directly related to a particular BIPM section

Publications

- QUINN, T.J. News from the BIPM. *Metrologia*, **26**, 1989, pp. 69-74.
- QUINN, T.J. Precision Measurement and Advanced Technology. *Proc. IEEE*, **IM-38**, 1989, pp. 156-160.
- QUINN, T.J. The continuing Importance of Measurement Standards. *The Australian Physicist*, Vol. 26, n° 4, April 1989, pp. 89-93.
- QUINN, T.J. L'évolution des mesures scientifiques et la recherche d'unités « naturelles ». *Science et Vie*, Hors série n° 166, March 1989, pp. 268-273.
- QUINN, T.J. The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90). *Physica Scripta*, **41**, 1990, pp. 730-732.
- HUDSON, R.P. Thermometry. *Encyclopedia of Physics* (VCH Publishers, Inc., New York (in press).

Lectures

T.J. Quinn :

- The Continuing Importance of Measurement Standards. CSIRO National Measurement Laboratory, 50th Anniversary Meeting, Sydney, 2 November 1988.
- The International Temperature Scale of 1990, an Improved Temperature Scale. PTB Berlin, 9 February 1989.
- The Development of the NPL Cryogenic Radiometer. American Physical Society Spring Meeting, St. Louis, 21 March 1989.
- A Radiometric Measurement of the Stefan-Boltzmann Constant and Thermodynamic Temperature. University of Colorado, Boulder, 2 March 1989.
- The International Temperature Scale of 1990 in Highlights in Metrology, Borås, Sweden, 19 May 1989.

Congresses, Committee meetings, etc. attended, laboratory visits, with no lecture given

T.J. Quinn :

- OIML General Conference, Sydney, (Australia), 24-28 October 1988.
- IMGC, Turin (Italy), Scientific Council, 29 November 1988, 29 May 1989.
- ASMW, Berlin (DDR), 10 February 1989.
- NIST Boulder and Gaithersburg (USA), 23-27 March 1989.
- NPL, Teddington (UK), 3 April 1989.
- Borås (Sweden), EUROMET/WEMC, 17-19 May 1989.

— Madrid (Spain), opening of Spanish Metrology Centre, 22 May 1989.

— Moscow, Leningrad (USSR), visits to VNIIFTRI, VNIIM, 16-24 June 1989.

R.P. Hudson :

— APS Spring Meeting, St. Louis, 20-22 March 1989 ; visit to NIST, Gaithersburg, 1 April 1989.

1. Length (J.-M. Chartier)

1.1. Classical length measurement (L. Robertsson)

Interferometric length measurement activity has been at a low level this year. No request for length measurements by external laboratories has been made and we have taken advantage of this to carry out a major overhaul of the air-conditioning system in order to maintain our instruments in good condition. The vacuum system of the Michelson interferometer has been demounted, cleaned and reassembled to assure a good vacuum in the interferometer vessel for the wavelength measurements planned for the autumn 1989.

Shape deviations from a plane for a line scale can cause errors in the measurement of its length. These deviations are expected to be in the range 10-50 μm . An easy technique for monitoring the shape, if it had a resolution of about 1 μm , would be a valuable way of maintaining good control over shape instabilities. An interferometric arrangement for the determination of such deviations has been developed and tested on a 300 mm long line scale [1.6] *. By using a projection of the surface to be measured, instead of the usual normal incidence of the laser light, a number of advantages are obtained.

1.2. Lasers

1.2.1. Iodine-stabilized He-Ne lasers using internal cells at $\lambda = 633 \text{ nm}$ (J.-M. Chartier)

Two of our travelling lasers (Nos 4 and 10) have been checked twice against our two stationary lasers (Nos 2 and 3). All the frequency differences were within $\pm 5 \text{ kHz}$ which corresponds to a relative uncertainty of ± 1 part in 10^{11} .

* Here and elsewhere in this Report, numbered references in the text refer to the list of publications given at the end of each section.

In April 1988, laser comparisons between the BIPM and two French laboratories, the INM and the ETCA, showed significant frequency differences [1.3]. A careful investigation of the French laboratories' lasers allowed us to identify the origins of this discrepancy: a poor definition of the cold-finger temperature of the iodine cell and a dc offset on one of the integrators in their electronics system. After these were corrected a new comparison of these lasers against the BIPM lasers was made and showed frequency differences within ± 5 kHz.

In the realization of the definition of the metre, 14 tables of frequency intervals are given*. In respect of the He-Ne lasers at $\lambda = 633$ nm, we confirmed the adopted values of the frequency intervals:

$$[f(a_{28}, {}^{129}\text{I}_2) - f(a_{13}, {}^{127}\text{I}_2)]$$

and

$$[f(e_2, {}^{129}\text{I}_2) - f(a_{13}, {}^{127}\text{I}_2)],$$

and the values in the tables 10, 11 and 14 have been remeasured with an estimated uncertainty improved mostly by a factor 10 or more.

During the year, we have collaborated with national laboratories in Belgium, Bulgaria, South Africa, Switzerland and Turkey in the realization of their laser reference frequencies. In addition, we have filled and checked thirty iodine cells. We also continue, once or twice a year, to organize an international order of laser tubes from a company in Japan. Fifty laboratories were contacted for the last order.

1.2.2. Iodine-stabilized He-Ne lasers using internal or external cells at $\lambda = 612$ nm (L. Robertsson)

Reconstruction of the existing 612 nm system is in progress and hyperfine spectra for two of the four systems have been recorded. No frequency comparisons have yet been made.

1.2.3. Argon lasers: Ar^+ at $\lambda = 502$ nm and at $\lambda = 515$ nm (S. Fredin-Picard, L. Robertsson)

A permanent experimental arrangement has been set up with the aim of studying the impurity content in iodine cells using a technique complementary to that of saturated-absorption beat frequencies. By comparing the slope of a curve which represents the inverse intensity of the laser-induced fluorescence as a function of the inverse iodine pressure, one can quantitatively determine the concentration of foreign atoms and molecules [1.4, 1.7].

* Documents concerning the New Definition of the Metre, *Metrologia*, 19, 1984, pp. 163-178.

The argon-ion laser system (PTB) has, during 1988, been restored and tested. The stability of the system cannot yet be determined since only one 515 nm laser is available. The working principles and basic design of a second system were completed during the spring of this year. The main feature of this new system is that an intra-cavity electro-optic modulator is used for fast stabilization and modulation of the laser frequency.

1.2.4. Methane-stabilized He-Ne lasers using internal cells at $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$ (R. Felder)

A comparison at NRC (Ottawa, Canada) was carried out in December 1988. Relative frequency measurements made between the VNIIFTRI laser (M101) and the BIPM lasers (B3 and VB) exhibited differences within 1 kHz, 1 part in 10^{11} of their value. This demonstrates that the frequency of these standards would be very repeatable if some practical rules could be established concerning their operating conditions. It is worth mentioning that the BIPM has kept the frequency of its transportable laser systems during more than five years to within 1 kHz (1 part in 10^{11} of its value). An absolute frequency measurement made using the NRC frequency chain gave for the laser VB a value in very good agreement with a determination using the relative measurement between VB and M101 and the absolute value of M101 carried out at the VNIIFTRI.

1.2.5. Iodine-stabilized He-Ne lasers using external cells at $\lambda = 543 \text{ nm}$ (J.-M. Chartier)

Much effort has been devoted during the year to the 543 nm green line. This line is an interesting candidate for a new recommended wavelength for the mise-en-pratique for the definition of the metre. Two systems, comprising thermally stabilized laser sources, piezoceramic actuators for modulation, stabilization and sweeping of laser frequency, and external iodine cells, have been developed, tested and locked to hyperfine components of this line. An example of the observed spectrum is showed in fig. 1.1. The frequency intervals between 15 components of the two lines R(12) 26-9 and R(106) 28-0 have been determined with an estimated uncertainty, for the strongest components, of 10 kHz (2 parts in 10^{11}). Using six components (a_{10} , b_1 , a_{11} , a_{12} , a_{13} and a_{14}) four matrix measurements gave a frequency difference between the two lasers at $\Delta f = [14 \pm 5] \text{ kHz}$. A relative frequency stability of $2,5 \times 10^{-12}$ for 50 s sample time was obtained [1.2]. A study of amplitude modulation and iodine pressure effects is in progress.

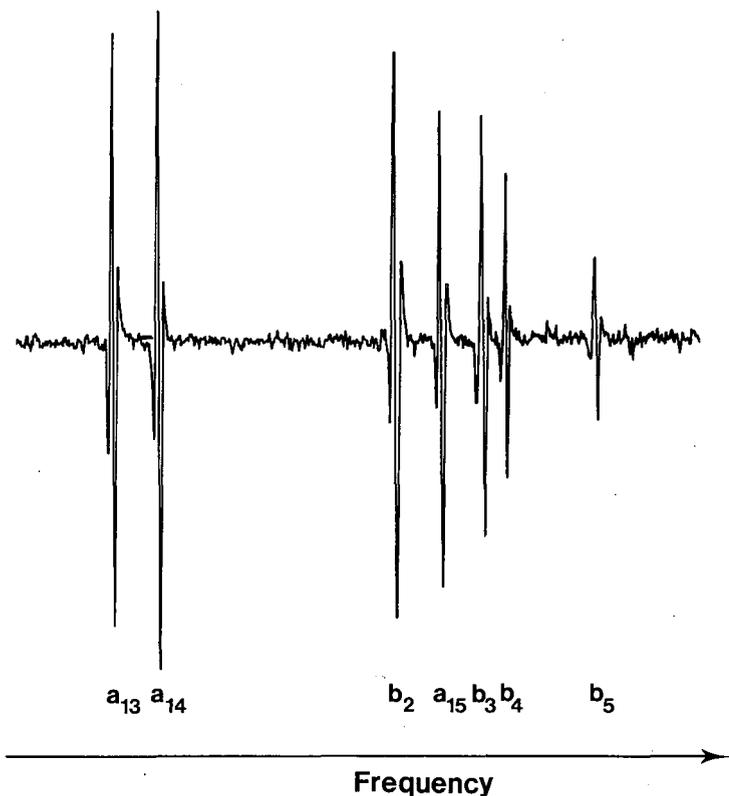


Fig. 1.1. — Saturated absorption spectrum of the hyperfine components of the two rotation vibration transitions of I_2 at $\lambda = 543$ nm, recorded as rectified third harmonics of the modulation frequency.

Publications, lectures and travel : Length section

Publications

- 1.1 IWASAKI, S. and CHARTIER, J.-M. Comparison of the $^{127}I_2$ stabilized He-Ne lasers at 633 nm wavelength of the National Research Laboratory of Metrology of Japan and the BIPM. *Metrologia*, **26**, 1989, pp. 257-261.
- 1.2 CHARTIER, J.-M., FREDIN-PICARD, S. and ROBERTSSON, L. On frequency stabilization of iodine 543 nm He-Ne laser systems. *Optics Communications*, **74**, 1989, pp. 87-92.
- 1.3 HALL, J.L., HILS, D., SALOMON, C. and CHARTIER, J.-M. Towards the Ultimate Laser Resolution, *In Laser Spectroscopy VIII* (Springer-Verlag, Berlin, 1987), pp. 376-380.
- 1.4 FREDIN-PICARD, S. A study of $^{127}I_2$ cells contamination using laser-induced fluorescence, *Metrologia*, **26**, 1989, pp. 235-244.

BIPM Reports

- 1.5 ROBERTSSON, L. Shape measurements of standard length scales using interferometry with small angles of incidence. *Rapport BIPM-89/1*, September 1989, 25 pages.
- 1.6 FREDIN-PICARD, S. Sur la molécule diatomique. *Rapport BIPM-89/5*, July 1989, 40 pages.
- 1.7 FREDIN-PICARD, S. A study of $^{127}\text{I}_2$ cells using laser-induced fluorescence technique. *Rapport BIPM-89/6*, July 1989, 20 pages.

Lectures

R. Felder :

— Systematic offsets in the frequency of methane-stabilized He-Ne lasers due to gas-lens effects and diffraction. Invited paper, American Physical Society, St. Louis (USA), March 1989.

S. Fredin-Picard and J.-M. Chartier :

— Laser-induced fluorescence technique used to study $^{127}\text{I}_2$ cells. Poster, European Conference on Atomic and Molecular Physics, Bordeaux (France), April 1989.

Congresses, Committee meetings, etc. attended, laboratory visits, with no lecture given

R. Felder and L. Robertsson :

— Intercomparison of the He-Ne 3,39 μm lasers at the NRC (Canada), December 1988.

— Intercomparison of the He-Ne 3,39 μm lasers, at the PTB (FRG), May 1989.

J.-M. Chartier and S. Fredin-Picard :

— NPL (UK), tour of the laboratories, participation in « Stabilized lasers and optical frequency standards », 16/17 May 1989.

L. Robertsson and S. Fredin-Picard :

— International School of Physics « Enrico Fermi », Lerici (Italy), 27 June - 7 July, 1989.

2. Mass and related quantities (G. Girard)

2.1. The third periodic verification of national prototypes of the kilogram (G. Girard)

The third periodic verification of national prototypes of the kilogram, foreseen in Resolution 1 of the 18th CGPM, began in September 1988. The preliminary measurements were designed to study the effects of

cleaning and washing on the Pt-Ir prototypes that had remained practically untouched for many years conserved in the «Caveau des prototypes». These are \mathfrak{K} , the international prototype of the kilogram and its six official copies designated K1, 7, 8(41), 32, 43 and 47. To this group we added No 25 known as the prototype «d'usage exceptionnel». Our two regular working standards Nos 9 and 31 are being used as reference standards during the measurements and are not being cleaned or washed (last cleaning and washing in 1978). The work is being done using the balance NBS-2 which now regularly gives a standard deviation below $1\ \mu\text{g}$ in the comparison of 1 kg mass standards.

We began by comparing the whole group, before cleaning and washing, with 9 and 31. The group was then cleaned using a chamois leather soaked in a mixture of equal parts of ethyl alcohol and ether. This was followed by steam cleaning using a jet of steam from doubly distilled water. After waiting for a few weeks, the eight standards of the group were once again compared with 9 and 31. The cleaning and washing procedure was then repeated and further comparisons made with 9 and 31. The changes observed after the two cleaning and washing procedures are shown in Fig. 2.1. The change of about $60\ \mu\text{g}$ shown by \mathfrak{K} is a little more than would be expected after some forty years but the changes shown by the others lie well within the expected values [2.1].

Figure 2.2 shows how these new results compare with the large amount of data already obtained from many other Pt-Ir prototypes. In Fig. 2.2 the values from Fig. 2.1 (after 2nd cleaning-washing) are shown by the symbol +. We can deduce from Fig. 2.2 that over periods extending from about five to ninety five years Pt-Ir prototypes increase in mass on average by about $1\ \mu\text{g}$ per year, but that over the first few years the increase is more rapid and reaches, on average, about $10\ \mu\text{g}$ after the first five years.

After these preliminary measurements, whose aim was to find out the effects of cleaning and washing, had been made, the careful comparison of these standards with the international prototype began. Very quickly, however, we realized that in order to do this correctly we needed to know how the international prototype itself changed in the weeks and months following cleaning/washing.

This was found out in the following way: \mathfrak{K} and Nos. 7, 67 and 73 (the prototypes 67 and 73 were machined and adjusted with a diamond tool) were once again cleaned and washed and placed in the balance together with Nos. 9 and 31 which were not washed but were used as reference. They were then compared among themselves, starting a few days after cleaning and washing, over a period of six months from March until the beginning of September 1989. The results are shown in Fig. 2.3. During much of this period all the cleaned and washed standards increased with time by about $1\ \mu\text{g}$ per month with respect to 9 and 31. For the international prototype of the kilogram

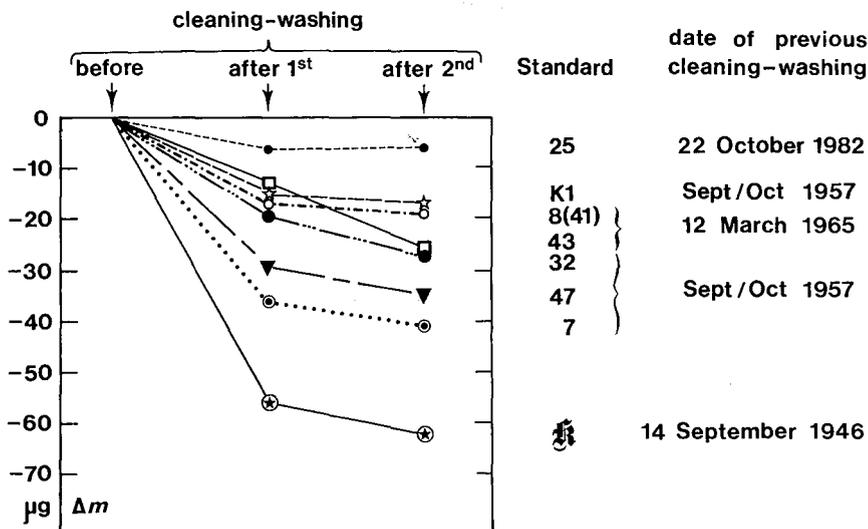


Fig. 2.1. — Change in mass, Δm , of 鍍, its six copies and No. 25 on cleaning and washing.

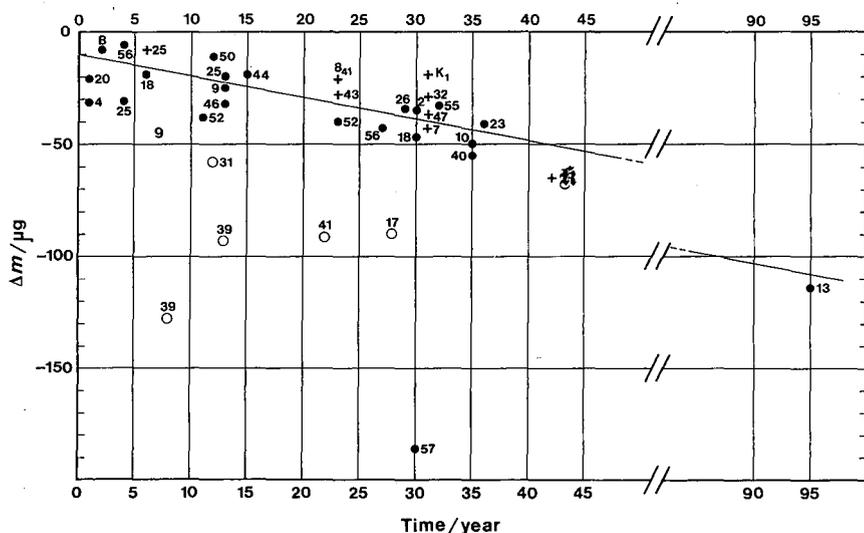


Fig. 2.2. — The change in mass (Δm) found on cleaning and washing Pt-Ir prototypes of the kilogram plotted as a function of the number of years since the last cleaning and washing. Open circles represent prototypes having very poor surface states.

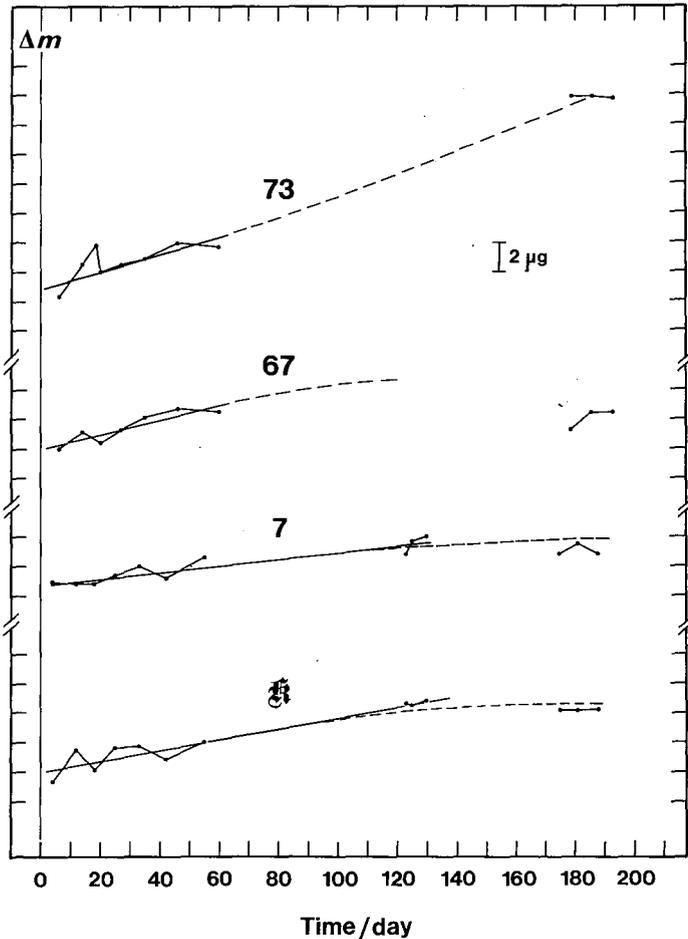


Fig. 2.3. — The increase in mass in the months following cleaning/washing observed for the international prototype \mathfrak{K} , one of its official copies (No. 7) and two prototypes made by the new diamond machining process, No. 67 made in 1982 and No. 73 made in 1988.

its reference mass, 1 kg exactly, could be that immediately after cleaning and washing. It would then be possible to attribute to it a well-defined value in the following weeks and months simply on the basis of a linear increase of about $1 \mu\text{g}$ per month.

Following these investigations, the international prototype was then compared with ten standards in two groups of five, (7, 31, 32, 43, 67) and (K1, 8(41), 9, 25, 47). These two groups of five were then compared among themselves. The calculations were carried out on the basis of a fixed value of 1 kg exactly for the international prototype at the time it was used. Thus, leaving aside the consequent fixed error of 2 or $3 \mu\text{g}$, we were able to calculate the masses of the ten standards and

found a standard deviation of $0,6 \mu\text{g}$ in the value obtained for each mass.

Figure 2.4 shows the evolution of the mass of the original four official copies (K1, 7, 8(41), 32) since 1889 and the two others added to the group in 1946 (43, 47) as well as that of No. 25. Numbers 9 and 31 are not shown in this figure to avoid undue complication. The work continues.

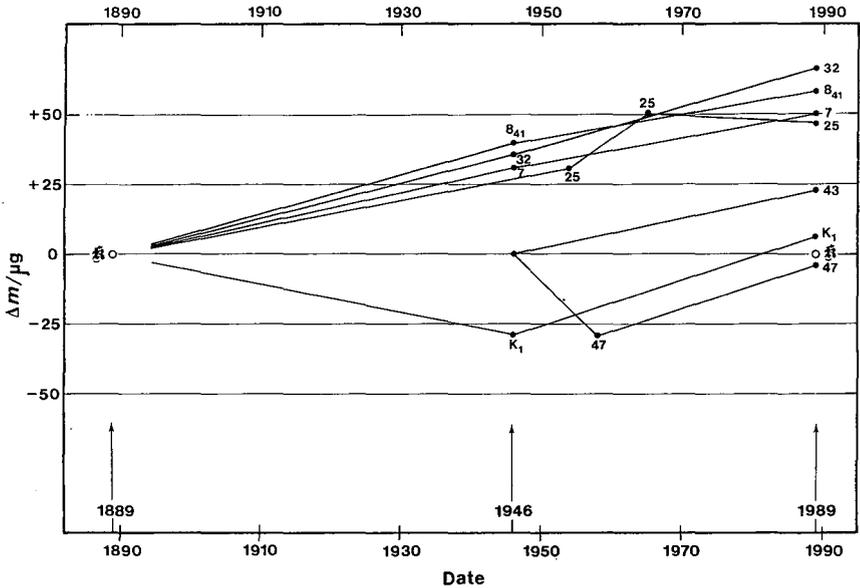


Fig. 2.4. — The evolution of the mass of the official copies of the international kilogram and No. 25.

2.2. The flexure-strip balance (T.J. Quinn, C.C. Speake, A. Picard)

The flexure-strip balance has been under development at the BIPM for a number of years with the aim of producing an instrument that approaches as closely as possible the ideal performance of a beam balance. Our own theoretical studies, as well as those of others carried out in the past, have indicated that the ultimate limits to the precision of weighing which are set, for example, by thermal and seismic noise should be significantly below those encountered in practice. By optimizing the design on the basis of our theoretical studies we hoped to identify those other factors that, in fact, limit the performance of the balance. The use of the flexure-strip balance in the experiment to search for the so-called 'fifth-force' [2.2] had led to the unequivocal conclusion that the reproducibility of the weighings in the experiment was limited not by the performance of the balance but by variations in the real weight of the masses due to temperature changes in the masses themselves. These temperature changes resulted in adsorption or desorption of

surface layers of gas thus changing the weights of the masses. Under the best conditions we had obtained series of weighings lasting two days or so that exhibited standard deviations of as little as 6 ng or 4 parts in 10^{12} of the mass. The good conditions of temperature that allowed such results to be obtained were, however, extremely difficult to establish and maintain as we did not know which were the critical temperature parameters. This year has been spent in studying the problem of temperature control inside the balance. Had we known at the outset that the temperature stability of the masses being weighed was of such critical importance, the balance would have been designed differently! As it is, we have been able to bring the temperature changes under much better control by the addition of thermal insulation in carefully chosen places. The masses now reach the same temperature to within about 1 mK and do not change significantly when placed on the pan of the balance.

Unfortunately, cyclic changes in room temperature are still very troublesome and the problem is still not fully resolved. In addition to the thermal modifications, various improvements have been made to the electronic control of the balance. These have reduced still further the already small movements of the beam during mass exchange and have also improved the efficiency of data collection. A new pumping system is being installed so that weighings can be carried out at pressures below the present lower limit of about 300 Pa. A delicate, mechanical, pan-damping device has been made that appears to work well and removes the need for air-dampers or magnetic dampers to stop pan swing. This will allow weighings to be carried out at the much lower pressures now available.

C.C. Speake, with the generous support of the NIST, has spent a year (May 1988 - June 1989) at JILA in Boulder with J. Faller. His work there has included a further experiment designed to search for a fifth force, this time by the measurement of g up a 300 m tower. Great care was taken to carry out good measurements and to evaluate carefully external sources of perturbation. No evidence of a non-Newtonian force has been found. In addition, he has continued the work begun at the BIPM on the use of a single-crystal silicon flexure element. Preliminary measurements indicate that a very high Q can be obtained, much higher than that found for the Cu-Be flexures at present used in the flexure-strip balance. The problem of how to load the silicon flexure without breaking it seems to have been solved.

2.3. Calibration and other work

Owing to the third verification of national prototypes occupying most of our effort, very little additional calibration work is being undertaken for the time being. This year only a stainless-steel standard for Hungary has been calibrated.

The Mettler 1 kg balance, HK1000MC, mentioned in 1987 and 1988 has now been equipped by Mettler (Switzerland) with a new, modified, mass exchanger. Tests are now under way.

Various members of the BIPM's set of stainless-steel 1 kg standards made of Nicral D and other alloys have been compared using the Rueprecht balance.

2.4. Gravimetry : absolute determination of the vertical gradient of gravity (A. Sakuma)

Using our BIPM type absolute gravimeter, we are now capable of measuring the vertical gradient of gravity, γ , with an accuracy approaching that obtained by calibrated relative spring gravimeters. The latest preliminary result for γ at SEVRES POINT 'A' is : $(3\,106 \pm 31) \times 10^{-9} \text{ s}^{-2}$ or $(310,6 \pm 3,1) \mu\text{Gal/m}$ where the numbers represent the mean value and the standard deviation of the mean of approximately 200 measurements throughout the trajectory of about 0,4 m. This value is in good agreement with the accepted value at this point, $(3\,118 \pm 6) \times 10^{-9} \text{ s}^{-2}$, which was obtained as the mean of a large number of relative measurements using 14 spring gravimeters on the occasion of the second international comparison of gravimeters at Sèvres in 1985. This increase in accuracy in the measurement of γ is due to a recent improvement in the catapult and the anti-vibration devices which now make it possible to extract γ (involving a t^4 term) with low noise level from the free-rise-and-fall motion (t^2 term). It is worth noting here that in a series of g measurements where each γ value is well determined, the scatter of each g value decreases to the ± 2 to $\pm 4 \text{ nm.s}^{-2}$ level (near the present resolution limit) and these g values are very close to the mean of all. Thus we can consider that the g value obtained together with a well measured γ value has a high probability of being very near to the real value. A full report of this work is now in preparation.

Publications, lectures and travel : Mass section

Publications

- 2.1 QUINN, T.J. Nouvelles techniques de fabrication des étalons de masse en platine iridié et remarques sur le comportement de ces étalons, *Bulletin du BNM*, 76-77, 1989, pp. 19-26.
- 2.2 SPEAKE, C.C. and QUINN, T.J. A search for a fifth force using a beam balance, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, IM-38, 1989, pp. 189-195 ; see also : *Phys. Rev. Lett.* 61, 1988, pp. 1340-1343.
- 2.3 PICARD, A. Les comparateurs d'étalons de masse, principes et réalisations, *Bulletin du BNM*, 76-77, 1989, pp. 49-62

Lectures

T.J. Quinn :

— Nouvelles techniques de fabrication des étalons de masse en platine iridié et remarques sur le comportement de ces étalons. Journées du BNM, November 1988.

— Advances in mass standards and weighing. International School of Physics 'Enrico Fermi', Lerici, June 1989.

C.C. Speake :

— A beam-balance search for a fifth force. American Physical Society, St. Louis, March 1989.

— Precision mass comparisons to test fundamental physical theories. American Physical Society, Baltimore, April 1989.

— The present status of the fifth force. International School of Physics 'Enrico Fermi', Lerici, June 1989.

A. Picard :

— Les comparateurs d'étalons de masse, principes et réalisation. Journées du BNM, November 1988.

Congresses, Committee meetings, etc. attended, laboratory visits with no lecture given

A. Picard :

— NPL (U.K.), visit to the mass laboratories, 25 May 1989.

3. Time (B. Guinot)

3.1. Establishment of TAI and UTC (B. Guinot, C. Thomas, W. Lewandowski, J. Azoubib) *

The time scales TAI and UTC have been regularly established and made available by Circular T, issued monthly, and by computer networks. Detailed results and other information are also published in an 'Annual Report of the BIPM Time section'. The issue covering the year 1988, first volume of this new series, was published in June 1989. It comprises

* All members of the section participate in all aspects of the work described in paragraphs 3.1 to 3.4.

a full description of the method of computation of TAI and UTC. Following a recent revision of the mailing lists, Circular T and the Annual Report are sent to about 500 addresses.

The number of laboratories and clocks participating in TAI remained almost constant: 38 laboratories or national centres, about 170 clocks.

The stability of TAI for an averaging time of up to 3 years is mainly ensured by commercial caesium clocks, but a few hydrogen masers and primary caesium clocks make an important contribution. The stability over larger averaging times and the accuracy are provided by primary frequency standards, through the 'steering procedure'. However, no steering has been applied since February 1984, the frequency of TAI remaining in agreement with that of PTB-CS1 to less than 2×10^{-14} , on yearly averages. Since February 1984, the relative frequency instability of TAI with respect to PTB-CS1, these being practically independent, is $0,8 \times 10^{-14}$ on a one-year sample time.

With the new weight system in use since 1988, half the total weight is furnished by 12 to 15 % of the best clocks, which receive the maximum weight. An interesting feature is that these clocks usually keep the maximum weight, which demonstrates that the high quality is real and that their weight is justified.

3.2. Time-scale studies

Following the declaration 1989/2 of the 11th meeting of the CCDS, held on 19/20 April 1989, some activity is now devoted to the study of the correlations among the frequency changes between the clocks contributing to TAI. It appears that such correlations do exist and degrade the long-term stability and accuracy of TAI. It appears also that the correlation intensity largely varies from a given two-month interval to the following one. Further investigations are necessary to find an objective and efficient means for evaluating those correlations in order to act with the concerned laboratories.

Till now, TAI has come from a long-term stability algorithm, with each contributing clock being weighted according to its long-term stability. We have examined the possibility of introducing a second weights set for improving TAI short-term stability [3.1]. Numerical experiments on real data are now necessary before adopting this modification in current computation.

3.3. Time links

Most time links are now ensured by the GPS. With the latter, it is relatively easy to reach an accuracy of the order of 10 ns, even over intercontinental distances. But we are convinced that a much better accuracy can be obtained, at least as long as the 'selected availability' is not in operation. A large part of our activity was devoted to the improvement of the GPS time comparisons, in order to reduce the

uncertainties in the nanosecond region. Following are a few of the subjects we considered.

(a) Ionospheric refraction. Mr. M. Imae (CRL), in a stay at the BIPM (October 1987 - October 1988), built a dual-frequency codeless GPS receiver which measures the ionospheric refraction along the line-of-sight of the satellites to about ± 1 ns, every 4 minutes [3.2]. This instrument remains at the BIPM and functions quite satisfactorily. As it is the only instrument of this type in current operation in time laboratories, we cannot yet take full advantage of its data. Nevertheless, we use them in the USNO-OP link and for the publication of UTC-GPS time. Experiments between USNO and OP, with measurements of the ionospheric delay at both sites, showed an interesting reduction of the uncertainties [3.3].

(b) Researches on antenna coordinates have been pursued [3.4], in particular in North America [3.5]. Anomalies discovered in co-location observations are probably due to receiver software and are being studied.

(c) Samples of precise ephemerides have been obtained from the National Geodetic Survey (USA). A preliminary study has shown the improvement they bring in the USNO-OP time link [3.6]. This study is pursued in cooperation with the NIST.

For the GPS time comparisons over short distance (over a few hundreds of kilometres), the refinements in the refraction and ephemerides are not crucial, but the use of good antenna coordinates remains critical. Therefore, we oriented our work in the following directions :

— homogenization of the coordinates in the Terrestrial Reference Frame of the IERS global system with a 10 cm accuracy on which the reference system WGS84 of GPS is already aligned,

— reorganization of the GPS links with a small number of long-distance links, with sophisticated processing, completed by local links.

Another initiative on the GPS was the publication of daily values of UTC-GPS time, derived from the measures made at the OP, but corrected for the measured ionospheric delay and our best estimate of the coordinates. 'GPS time' is here defined as a time scale close to the mean of the time broadcast by the 6 satellites of Block I used in time comparisons. The deviations of individual satellites as they appear in the OP are also given ; as they have a standard deviation, normally below 10 ns, they can be neglected by most users.

Some activity was devoted to other time-comparison techniques, but at a rather modest level : participation in meetings on the LASSO, experiment of the European Space Agency (ESA), in an INMARSAT/ESA project of developing a multi-user satellite navigation capability.

3.4. Other activities

The subject of 'time' requires frequent participation in activities ranging from the presentation of invited papers to teaching and popularization. References [3.7 to 3.11] sufficiently describe these activities. In addition, the BIPM participates in the preparation of a Handbook of the CCIR on Satellite Time and Frequency Dissemination (chapter on the Definition of Time Scales and annexes on Geodesy and Relativity).

Publications, lectures and travel : Time section

Publications

- 3.1 GUINOT, B. and THOMAS, C. Establishment of International Atomic Time. *Annual Report of BIPM Time Section, Vol. 1*, 1988, pp. D-3 to D-22.
- 3.2 IMAE, M., LEWANDOWSKI, W., THOMAS, C. and NIKI, C. A dual frequency GPS receiver measuring ionospheric effects without code demodulation and its application to time comparisons, *Proc. 20th PTTI*, Washington D. C., Nov.-Dec. 1988, pp. 77-85.
- 3.3 IMAE, M., MIRANIAN, M., LEWANDOWSKI, W. and THOMAS, C. Codeless dual frequency GPS receiver measuring ionospheric effects and its application to time comparisons between Europe and USA, *Proc. 3rd European Frequency and Time Forum*, Besançon, France, 21-23 March 1989, pp. 89-93.
- 3.4 GUINOT, B. and LEWANDOWSKI, W. Improvement of the GPS time comparisons by simultaneous relative positioning of the receiver antennas, *Bull. Géodésique*, **63**, 1989, pp. 371-386.
- 3.5 LEWANDOWSKI, W., DOUGLAS, R. J., KLEPCZYNSKI, W. J., STRANGE, W., SUTER, J. and WEISS, M. The Positioning of GPS Antennae in Time-Keeping Laboratories of North America, *Proc. 43rd Annual Symposium on Frequency Control*, Denver, U.S.A., May-June 1989, pp. 218-224.
- 3.6 LEWANDOWSKI, W. and GUINOT, B. GPS time comparisons, test on the use of precise ephemerides. *BIPM Com. Cons. Déf. Seconde*, **11**, 1989, document CCDS/89-10.
- 3.7 GUINOT, B. Le temps coordonné. *Journées relativistes*, Genève, 1988, Université de Genève, pp. 72-93.
- 3.8 GUINOT, B. General principles of the measure of time : astronomical time, atomic time. In : *Reference Frames* B. Kolaczek, J. Kovalevsky, I. I. Mueller (eds.), 1989, Kluwer, pp. 351-415.
- 3.9 GUINOT, B. Temps atomique et relativité, *Bulletin du BNM*, **75**, 1989, pp. 7-14.
- 3.10 GUINOT, B. and AZOUBIB, J. Comparison of Primary Frequency Standards, *Proc. 4th Symposium on Frequency Standards and Metrology*, Ancona, 1989 (Springer-Verlag 1989), pp. 37-42.

- 3.11 GUINOT, B. Time and Frequency in Geosciences, *Proc. 3rd European Frequency and Time Forum*, Besançon, France, 21-23 March 1989, pp. 1-4.
- 3.12 FEISSEL, M. and GUINOT, B. A homogeneous series of the earth rotation parameters based on all observing techniques, 1962-1987. In *BIH Annual Report for 1987*, 1988, pp. D-79 to D-84.
- 3.13 GRANVEAUD, M., LEWANDOWSKI, W., UHRICH, P. and TOURDE R. Comparison of GPS time receivers : a user's point of view, *Proc. 3rd European Frequency and Time Forum*, Besançon, France, 21-23 March 1989, pp. 104-120.
- 3.14 CLAIRON, A., DE CLERCQ, E., DAHMANI, B., GERARD, A., THOMAS, C. Light pressure effects on an optically pumped cesium beam frequency standard, *Proc. 2nd European Frequency and Time Forum*, 1988, pp. 499-511.
- 3.15 GUINOT, B. Définition et réalisation du temps terrestre. In : *Journées sur les systèmes de référence spatio-temporels*, 1988, Observatoire de Paris, pp. 111-117.

Lectures

B. Guinot :

— Time and Frequency in Geosciences, 3rd European Frequency and Time Forum, Besançon (France), March 1989.

C. Thomas :

— A dual frequency GPS receiver measuring ionospheric effects without code demodulation and its application to time comparison, 20th Annual Precise Time and Time Interval Meeting (PTTI), Washington D. C. (USA), December 1988.

— A codeless dual frequency GPS receiver measuring ionospheric effects and its application to time comparisons between Europe and USA, 3rd European Frequency and Time Forum, Besançon (France), March 1989.

W. Lewandowski :

— The positioning of GPS antennae in time-keeping laboratories of North America, 43rd Annual Symposium on Frequency Control, Denver (USA), June 1989.

Congresses, Committee meetings, etc. attended, laboratory visits, with no lecture given

B. Guinot :

— Scientific Council of the European Frequency and Time Forum, Neuchâtel (Switzerland), 6 December 1988.

— Informal meeting of experts on development of a multi-user international civil satellite navigation capability, hosted by INMARSAT and ESA Paris (France), 24/25 April 1989.

W. Lewandowski :

— Visit to the Time and Frequency Division of NIST, Boulder (USA), from 14 November 1988 to 3 June 1989.

— Civil GPS Service Steering Committee, Boston (USA), 15/16 November 1988.

— 20th PTTI Meeting, Washington D.C. (USA), 29 November - 1 December 1988.

— LASSO Operations Coordinating Group, Washington D.C. (USA), 1 December 1988.

— Visits to the USNO and the NGS (National Geodetic Survey), Washington D.C. (USA), 28 November 1988 and also 31 March 1989.

— LASSO Operations Coordinating Group, Herstmonceux (UK), 3 April 1989.

— Civil GPS Service Steering Committee, Washington D.C. (USA), 1/2 May 1989.

— GPS Workshop organized by the USNO, Washington D.C. (USA), 11 May 1989.

C. Thomas :

— Journées sur les systèmes de référence spatio-temporels, hosted by Paris Observatory, Paris (France), 24/25 April 1989.

— Cours de relativité générale et cosmologie by T. Damour, Paris (France), 8 lectures from March 1989 to May 1989.

— Visit to the Time and Frequency Division of NIST, Boulder (USA), 30 May 1989.

— 43rd Annual Symposium on Frequency Control, Denver (USA), 31 May - 2 June 1989.

4. Electricity (T. J. Witt)

4.1. Maintenance of V_{76-BI} (D. Reymann)

The BIPM now possesses two independent reference standards based on the Josephson effect, an older one in which the 10 mV output from two Josephson junctions is compared to the electromotive force (emf) of a standard cell using a series-parallel comparator (SPC), and a new system using an array of junctions (donated to the BIPM by the NIST) able to produce an output voltage of 1,018 V directly. For the array system, we have developed a new measuring technique in which the emf of a cell is compared with the array voltage by a substitution method which uses an intermediate transfer standard. Presently, the transfer standard is the SPC but work is under way on the construction of an instrument specifically designed for the task. The present estimated

total uncertainty in the measurement of the emf of a reference cell with the array system is 1,7 nV, an improvement in accuracy of more than one order of magnitude compared with our old Josephson-effect reference standard.

The two Josephson reference standards have been compared both directly and, by comparisons of results of cell measurements, indirectly. The emf of a cell determined from measurements with the array system is $(17,1 \pm 1,5)$ nV (type A uncertainty) smaller than that deduced from measurements with the old system, a result in excellent agreement with the estimated total (type A and B combined) uncertainty of the two reference standards [4.1].

4.2. Comparator for transfer from 1,018 V to 10 V (F. Delahaye)

To satisfy the increasing number of requests by national standards laboratories to provide calibrations of 10 V dc electronic reference standards based on Zener diodes, an instrument was designed and constructed to carry out accurate 1,018 V (standard cell) to 10 V comparisons. The circuit is made up of two nearly identical series-parallel resistive dividers, each composed of three resistors of 30 k Ω connected to each end of a fixed 202 Ω resistor.

The first calibrations of 10 V reference standards were carried out in April 1989. The total relative uncertainty is tentatively estimated to be about 4 parts in 10^8 .

4.3. Quantum Hall effect (F. Delahaye)

Measurements relating Ω_{69-BI} to the quantized Hall resistance, R_H , are now being carried out on a routine basis with a cryogenic current comparator (CCC) resistance bridge. (See Rapport 1987, pp. 53-55.) This year a significant improvement has been made to our apparatus with the development of a nanovoltmeter, having super-conducting elements, that serves as a null detector in the bridge replacing a conventional commercial nanovoltmeter. The new device consists of an 8 000 turn input coil coupled via a superconducting flux transformer to a commercial SQUID. The circuit's response is made linear by a feedback loop which also provides a high input impedance (greater than 1 M Ω). The peak-to-peak input current noise, measured for ten minutes over a continuous frequency band from 0 to 0,1 Hz, is of the order of 10^{-13} A. For a source resistance of the order of 10 k Ω , such as that of the quantized Hall resistance, the corresponding voltage noise is of the order of 1 nV, a value about ten times less than that obtained with a conventional nanovoltmeter.

With our new SQUID nanovoltmeter we have already successfully carried out measurements of the ratio of R_H to the resistance of a

100 Ω standard. This requires simultaneous operation of two SQUIDs since the CCC itself also uses a SQUID. Although the presently observed peak-to-peak noise level is already very low (about 8 nV), we should be able to reduce it even further and we hope to achieve a peak-to-peak noise level corresponding to 3 parts in 10^9 of the measured signal by the use of a new low-noise CCC at present under construction.

4.4. Preparations for the 1990 international comparison of 1 Ω and 10 k Ω resistance standards

At the 18th meeting of the CCE in September 1988 this comparison was proposed by EUROMET. It is scheduled to start on about 1 October 1990. Because of the unusually large scope of this comparison, it is necessary to automate completely the precise measurements of 10 k Ω resistors. A prototype Warshawsky bridge (a sort of generalized Thomson double bridge) has been successfully assembled and tested. Preparations are under way to automate its operation.

Convocations for the comparison have been sent to the member laboratories of the CCE and to the EUROMET contact persons for electricity.

4.5. Activities related to the work of the Comité Consultatif d'Électricité

In view of the importance of the decisions of the CCE concerning new reference standards of electromotive force (or electrical potential difference) and of electrical resistance based on a new value of the Josephson constant and a conventional value of the von Klitzing constant, a particular effort was made to prepare rapidly the final version of the report on the 18th meeting of the CCE. The combined report of the Working Groups on the Josephson effect and the quantum Hall effect [4.5], and the guidelines for reliable quantum Hall effect measurements [4.2] was then published in *Metrologia*.

So that users of national calibration services may be informed of the changes in the national reference standards of emf and resistance taking place in other countries a questionnaire requesting this information was circulated to the national standardizing laboratory of each member state of the Convention du Mètre. A table of replies will shortly be prepared and distributed to laboratories.

4.6. Changes in the BIPM reference standards of emf and resistance

On 1 January 1990, the BIPM will apply CIPM Recommendations 1 (CI-1988) and 2 (CI-1988) to maintain its electrical reference standards by means of the Josephson effect and the quantum Hall effect. This

implies discontinuous changes in the BIPM reference standards given by the following equations :

$$V_{76-BI} = 1 \text{ V} - 8,06 \mu\text{V}$$

and on 1 January 1990,

$$\Omega_{69-BI} = 1 \Omega - 1,90 \mu\Omega.$$

4.7. Study of the Josephson effect in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$

In order to improve the accuracy of the comparison of the results of measurements of $2e/h$ in this high-transition-temperature material with those in metallic superconductors, Josephson junctions of the two types of material were fitted in the same microwave enclosure. In trial measurements, we have been limited in accuracy by 'rounding' (variation of output voltage as a function of bias current) of the induced voltage steps in the $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ sample. In the most favourable case, a relative precision of about 5 parts in 10^6 was achieved. This is very nearly the accuracy of the results reported last year* for measurements in which the output voltages of the $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ samples were measured with an accurate potentiometer.

4.8. Routine calibrations

This year we have noted a marked decrease in the demand for calibrations of standard cells and an increasing trend towards the use of electronic reference standards based on Zener diodes. Four cells, from Poland, have been under calibration since September 1988. Electronic reference standards from Switzerland, the Republic of South Africa, Ireland and Belgium have been calibrated at 1,018 V and, in the latter two cases, at 10 V.

The following resistance standards have been calibrated : one at 1Ω for the Republic of South Africa ; two at 1Ω , one at 100Ω and one at $10 \text{ k}\Omega$ for Sweden ; one at 1Ω and one at $10 \text{ k}\Omega$ for Ireland and two at 1Ω for Belgium.

Publications, lectures and travel : Electricity section

Publications

- 4.1 REYMANN, D. and WITT, T. J. The new BIPM one-volt reference standard based on an array of Josephson junctions. *IEEE. Trans. Instrum. Meas.*, **IM-38**, 1989, pp. 1030-1035.

* WITT, T. J., *Phys. Rev. Lett.*, **61**, 1988, pp. 1423-1426.

- 4.2 DELAHAYE, F. Technical guidelines for reliable measurements of the quantized Hall resistance. *Metrologia*, **26**, 1989, pp. 63-68.
- 4.3 DELAHAYE, F., SATRAPINSKY, A. and WITT, T. J. Recent determinations of R_H in terms of Ω_{69-BI} . *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, **IM-38**, 1989, pp. 256-259.
- 4.4 WITT, T. J., DELAHAYE, F. and BOURNAUD, D. The 1987 international comparison of 1- Ω resistance standards at the BIPM and the resulting agreement among determinations of R_H . *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, **IM-38**, 1989, pp. 279-283.
- 4.5 TAYLOR, B. N. and WITT, T. J. New international electrical reference standards based on the Josephson and quantum Hall effects. *Metrologia*, **26**, 1989, pp. 47-62.

BIPM Report

- 4.6 WITT, T. J. Projected changes in national reference standards of electromotive force and resistance. *Rapport BIPM-89/7*, July 1989, 9 pages.

Congresses, Committee meetings, etc., attended, laboratory visits, with no lecture given

T. J. Witt and F. Delahaye :

— EUROMET, Meeting of experts on the quantum-Hall effect, LCIE Paris, 29/30 May 1989.

F. Delahaye :

— 12-14 December 1988, meeting of the IEC Working Group on the Vocabulary of General Concepts in Electrotechnology, Frankfurt.

— NPL, 3 April 1989, for discussions in the NPL Electricity Division.

5. Radiometry, photometry (J. Bonhoure)

5.1. Radiometry (R. Köhler)

Work has continued on studies of silicon photodiodes for optical radiometry. Self-calibrated photodiodes have been compared with the NPL scale and the INM scale with good agreement for the absolute spectral responsivity to absolute spectral responsivity comparisons. The calibration of two thermopiles, however, shows a small but significant disagreement with the NPL.

A total of 17 photodiodes was calibrated in November 1988 against the thermopiles at five different wavelengths covering the range 350,7 nm to 647,1 nm. The same calibration was repeated after six months under the same conditions in order to investigate ageing effects. Depending on the type of photodiode and wavelength, some significant changes in absolute spectral responsivity were observed. These changes can originate either from changes in the reflectivity of the photodiode surface or from changes inside the photodiodes. Reflectivity measurements were performed for the same photodiodes at different wavelengths. For 8 of the 17 photodiodes the same measurements had already been done in July 1988 for one of the wavelengths. Comparison of the results shows a change of reflectivity but one not strong enough to account for the total change of absolute responsivity. The measurements of reflectivity and absolute spectral response are scheduled to be repeated regularly to monitor any ageing effects.

A series of measurements of the diffuse reflectance of photodiodes has been performed. A small reflectometer consisting of commercially available photodiodes was assembled in the form of a cube with the sensitive sides of the diodes oriented to the inside. The responsivity of the reflectometer was calibrated with a laser beam. A number of photodiodes used at the BIPM in the radiometry section was measured. The results show that the diffuse reflectance can be as high as 0,3 %, thus it is not negligible for photodiode self-calibration. Furthermore the instrument enabled us to perform some measurements on the surface quality of diodes before and after cleaning.

An absolute radiometer based on silicon photodiodes (quantum efficiency detector, QED) has been purchased and studies of its behaviour are under way. In particular, a strong temperature dependency of the sensitivity was observed [5.1]. The effect is linked in a complicated way to the absolute power level and to the reverse bias voltage required for the operation of this type of detector.

Some work has been done on computer modelling of photodiodes. It shows that it is possible to model many effects like the oxide bias experiment, with a very high accuracy.

A theoretical derivation of the self-calibration formula was derived from simple assumptions on the photodiode physics. It was shown that a similar published formula is not correct.

For future comparisons of lamps as standards of spectral irradiance or radiance, work is under way to automate a double monochromator so that it can be controlled by an IBM-PC compatible microcomputer.

5.2. Photometry

Work has continued on studies concerning the stability of standard lamps of luminous intensity (*see* Rapport 1988, p. 82). We hope that,

in the future, a company manufacturing these lamps will improve them in two respects: quality of the observation window and constancy of the thermal flow through the cap-socket connection.

5.3. Routine work

Standard lamps of luminous intensity and of luminous flux were calibrated for the national laboratories of Bulgaria, Poland, Roumania and Sweden.

Publications, lectures and travel: Radiometry, photometry section

Publication

5.1 KÖHLER, R., PELLO, R. and BONHOURE, J. Temperature dependent non linearity effects of a QED-200 detector in the visible. *Applied Optics*, **29**, 1990, pp. 4212-4215.

Lectures

R. Köhler :

— Optical radiometry at the BIPM, University of British Columbia, Vancouver, Canada, 6 April 1989.

Congresses, Committee meetings, etc., attended, laboratory visits, with no lecture given

R. Köhler :

— NPL, Teddington (England), 24-26 October 1988, for the calibration of two thermopiles and four photodiodes and discussions with N. Fox and D. Nettleton.

— IEN, Torino (Italy), 13-16 November 1988 (with R. Pello), for discussions with M.L. Rastello and see the absolute radiometer constructed originally by F. Hengstberger (South Africa).

— INM, Paris (France), 20 and 23 December 1988 (with R. Pello), for discussions and detector comparisons.

— to USA and Canada, 24 March to 21 April 1989 :

— to attend the conference on Optical Radiation Measurements, in Orlando

— to visit JILA, Boulder

— NIST, Gaithersburg, for discussions and visit to the laboratories

— NRC, Ottawa, for discussions and visit to the laboratories

— Cargese (France), 26 June - 8 July 1989, for a summer school on Opto-electronics.

6. Ionizing Radiations (A. Allisy * and J.W. Müller **)

6.1. Dosimetry (A. Allisy and M. Boutillon)

6.1.1. X Rays (A.-M. Perroche)

A direct comparison between the air kerma and exposure standards of the BIPM and the OMH has been performed in the low-energy X-ray range (10 to 50 kV). These standards had already been compared in 1979 and the results had shown that the diaphragm of the OMH standard was not suitable. A new one has been built and the agreement between the two standards is now better: the ratio of the air kerma rates determined with the two standards varies with the radiation quality from 0,997 to 1,002. Part of this variation can be explained by that observed in the ionometric comparison of the BIPM and the new OMH diaphragms.

The secondary standard of air kerma and exposure of the IRD has been calibrated in the medium-energy X-ray range (100 to 250 kV).

6.1.2. ^{60}Co gamma rays (M. Boutillon, A.-M. Perroche, V.D. Huynh)

i) *Absorbed dose to graphite*

The radial non-uniformity of the BIPM ^{60}Co beam has been evaluated, both theoretically and experimentally, in air and in a water or graphite phantom. The correction for this effect pertinent to detectors used for the measurement of absorbed dose has been deduced. This correction, which was neglected in the past, has been used for the re-adjustment of the international comparisons of absorbed dose in graphite made at the BIPM in the last decade, together with the correction for the gap effect pertinent to the calorimeters (*see* Rapport 1988, p. 85). Before this re-adjustment the correction factor k_p for the perturbation pertinent to the ionometric standard used at the BIPM had been revised (change of less than 0,1 % on k_p). When this is taken into account, the experimental value of W derived from these comparisons is increased by about 0,2 %. This leads to a minor change of 0,05 % for the mean W value compiled from the results of various authors and published in 1987.

As noted previously (Rapport 1988, p. 84), the new ^{60}Co source is smaller than the previous one, so the beam can show some difference in spectrum. To check the influence of this change on the depth-dose curve, measurements of absorbed dose were made in the new beam, at depths in graphite from 1 to 18 g/cm², and a comparison was made

* Until 31.12.88.

** From 1.1.89.

with the corresponding previous curve. The decrease with depth is shown to be more rapid with the new source. As an example, the ratio of the absorbed doses at 17 and 5 g/cm² is lowered by 0,35 %.

ii) *Absorbed dose to water*

The experiments performed in 1986 by M.-T. Niatel have been repeated with the new source. They concern mainly the determination of the cavity volume V of the standard of absorbed dose in water, by ionometric comparison in air and in graphite with the known cavity volume of the standards for exposure and for absorbed dose in graphite. The results are compatible with the first ones (deviations of not more than 0,05 %).

The stability of the standard of absorbed dose in water has been checked at a depth of 5 g/cm². To avoid a long-term variation due to possible humidity damage, the phantom is filled up and drained every day. Attention has been paid to the correct positioning of the chamber : when the phantom is filled with water its front face suffers from a non-negligible distortion and the position of the chamber should be modified accordingly. Measurements of the ionization current performed during one month show a good stability ($\sigma = 0,02$ %).

An irradiation of thermoluminescent dosimeters has been performed for the IAEA in the BIPM water phantom. The dosimeters received an absorbed dose equal to 2 Gy. The results of the IAEA are in agreement to within 1 % with the BIPM values.

iii) *Air kerma*

Two transfer ionization chambers belonging to the IRD have been calibrated in terms of air kerma and exposure. The stability of one of them has been studied during one month. These chambers are used as transfer instruments for periodic checks at the BIPM.

Three TE (tissue equivalent) ionization chambers and one Mg chamber, used in the neutron dosimetry intercomparison, have been recalibrated in the ⁶⁰Co γ -ray beam. Their stability was found to be compatible with the fluctuations observed during the comparison. In addition, two new TE chambers have been calibrated.

6.1.3. Neutron measurements (V.D. Huynh)

i) *The BIPM neutron dosimetry international comparison*

The final report on the neutron-dosimetry international comparison organized by the BIPM has been published as Rapport BIPM-88/5. At the request of the ETL a bilateral comparison between this laboratory and the BIPM has been carried out (August to October 1988) in order

to clarify the reason for which the ETL results deviated from the mean values of those of all the other participating laboratories by 4 to 5 % for the neutron kerma values. The new comparison showed that the results of the ETL are now in good agreement (only 1 % difference) with those of the BIPM. The difference between the ETL measurements performed in 1988 and in 1986 comes from the photon calibration factors of the tissue-equivalent ionization chambers.

ii) *Study of the Mg chambers*

By using different types of gas tubes on the one hand, and by doubling the length of some tubes on the other, the responses of the Mg chambers (Exradin MG2 type), in a ^{60}Co photon field, in terms of the Ar gas flow rates, were measured. The results showed that the responses with Voltalef-type tubes, which are employed usually at the BIPM, were lower than those obtained by all the other types of tubes having the same length ($2 \times 2,30$ m). For example, differences of 0,2 % (teflon), 0,8 % (PVC), 1,3 % (tygon) and 1,4 % (sheet rubber) for a gas flow rate of about $25 \text{ cm}^3 \text{ min}^{-1}$ have been observed and differences of 2,0 % (tygon) and 2,1 % (sheet rubber) were obtained if the tubes were twice as long ($2 \times 4,60$ m). These observations could probably explain the results of the BIPM neutron-dosimetry comparison in which the responses of the BIPM Mg chamber measured at the BIPM were on an average about 2 % lower than those obtained at the participating laboratories.

iii) *Calibration of the NE 213 liquid scintillation detectors*

At the request of the Service Conception Expérimentale des Mesures, CEB-III (Bruyères-le-Châtel), three NE 213 liquid scintillation detectors were calibrated at the BIPM with the 14,65 MeV neutrons. On the occasion of this calibration, a new Fortran program for evaluating the neutron fluence rates during the measurements was established. It uses the IBM-PC computer for registering the input data and for calculating the results.

6.2. Radionuclides (J.W. Müller)

6.2.1. Activity measurements (G. Ratel, J.W. Müller)

i) *International comparisons of activity measurements*

a) ^{125}I (full-scale comparison). After receipt of the results of all laboratories concerning the international comparison of a solution of ^{125}I , a draft version of the final report was prepared and sent for comments to the participants. This report will also be presented at the next meeting of CCEMRI Section II as a basis for a discussion on the

methods used and the results obtained. The conclusions will be included in a revised version of the report.

The following main features of the comparison may be noted. Nineteen laboratories have taken part and six different methods were used with a variety of detection systems. Most of the laboratories applied one or two methods, but two of them used four. The final results and their uncertainties are presented in Fig. 6.1. Two of the methods most commonly used have been described in the Rapport du Directeur of 1988 (p. 93).

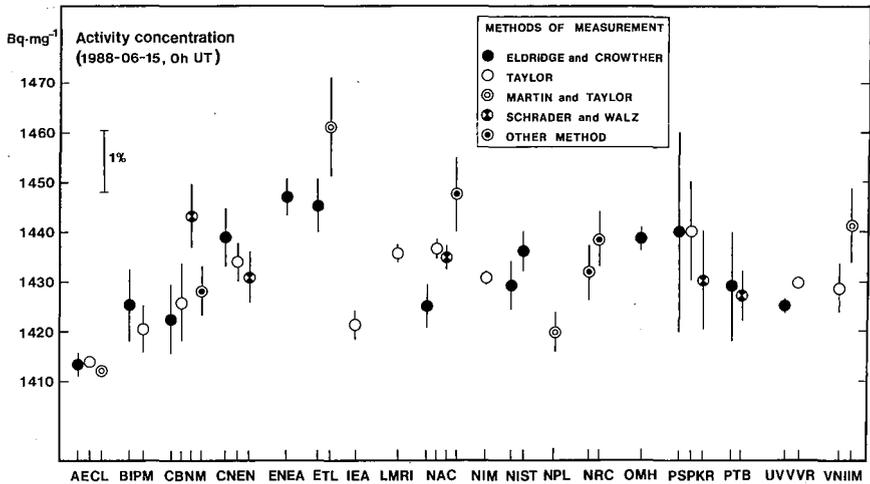


Fig. 6.1. — Graphical representation of the results of the ^{125}I full-scale comparison (without one outlier).

The total range of the results, excluding one outlier, is 3,5 %. The mean value, based on the 38 communicated results, is evaluated as $(1\,425,3 \pm 1,4)$ Bq/mg (using statistical weights) at the reference date (1988-06-15). Obviously, the uncertainty attainable by a single laboratory would be larger. In the present case, an uncertainty of about 0,6 % might be typical. Five laboratories determined the half-life of ^{125}I and reported values between 59,29 d and 59,90 d. Three of them obtained a value of 59,39 d.

b) ^{75}Se (trial comparison). At the request of CCEMRI Section II a preliminary comparison of ^{75}Se had been planned for spring 1989. Five laboratories, all members of the Working group on future comparisons, namely AECL, BIPM, LMRI, OMH and PTB, agreed to participate in this measurement in order to establish the best conditions for the measurements and, in particular, the chemical preparation of the sources. This radionuclide has a metastable level at 304 keV of half-life about 17 ms, which is rather long and renders the application of the coincidence method difficult. A correction depending on the nuclear decay data has

to be applied in order to obtain an unbiased value of the activity. We shall try to find a way of determining this correction experimentally. An accurate determination of the half-life of the level at 304 keV is under way. Originally, the measurements were planned for the period March-April 1989, thus allowing us to discuss the results at the next meeting of CCEMRI Section II before embarking on a full-scale comparison of this radionuclide. Unfortunately, problems in the supply of the solution by the manufacturer have resulted in a delay of about two months.

ii) *International reference system for measuring the activity of gamma-ray emitting radionuclides (SIR)*

This year five laboratories (ASMW, IER, LMRI, NIST and PTB) submitted 13 ampoules to the BIPM for measurement. These ampoules were filled with nine different radionuclides, namely, ^{54}Mn , ^{59}Fe , ^{75}Se , ^{88}Y , ^{113}Sn , ^{139}Ce , ^{144}Ce , ^{152}Eu and ^{169}Yb . Thereby the number of ampoules received since the creation of SIR amounts to 516.

6.2.2. Counting statistics (J.W. Müller)

Our long-term efforts concerning the series arrangement of two dead times have been continued. This is justified by the practical uses we can expect from a general solution, which will not only permit an improved evaluation of the original count rate, but should also allow us to formally reduce the problem to one involving a single (generalized) dead time, eliminating thereby all the major difficulties met. It is practical to express the relation between output (R) and input (ρ) count rates (Fig. 6.2) by means of two transmission factors T in the form $R = \rho T_2 T_1$, where T_2 describes the counting losses caused by the second dead time alone, whereas T_1 accounts for the additional effect due to the presence of the first dead time. We recall that T_1 can be smaller or larger than unity. The parameter θ describes the 'type', where $\theta = 0$ corresponds to the non-extended type (N) and $\theta = 1$ to the extended (E) type. Expansion of T_1 in a power series gives

$$T_1(\theta_1, \theta_2) = \sum_{j=0}^{\infty} a_j(\theta_1, \theta_2) x^j, \text{ with } x = \rho\tau.$$



Fig. 6.2. — Schematic arrangement of two generalized dead times (τ, θ) and the relevant count rates. The input is assumed to be Poissonian.

Since $a_0 = 1$ and $a_1 = 0$, we essentially look for a_2 , a_3 and a_4 . By determining these coefficients for the known limiting cases (with $\theta = 0$ or 1), one finds that a_j not only depends on the value but also on the 'range' of α . In addition, for the case $T_1(\text{N}, \text{N})$ a more general description

had first to be found before the required coefficients could be determined. An important step towards the general solution was achieved by the successful treatment of the case $T_1(\theta, E)$. For full technical details the reports listed below should be consulted. The work continues.

Correlation techniques are hardly used today in the field of radioactivity. This may be surprising in view of their ability to cope with the case where the intermediate nuclear state involved in a two-step decay has a non-negligible lifetime. In this context we found it worthwhile to study in a rigorous way the distortion produced by a dead time on the correlation function R based on a simple function $y(t)$ admitting only the values $+1$ and -1 , the changes occurring whenever a count is registered. If $P(k)$ is the probability for observing k events within an interval t , it is easy to show that the correlation is given by the mathematical expectation

$$\begin{aligned} R(t) &= E\{y(t') y(t' + t)\} \\ &= P(k \text{ even}) - P(k \text{ odd}) = 1 - 2 P(k \text{ odd}). \end{aligned}$$

By substituting the known (but complicated) exact expressions of $P(k)$ for a Poisson process deformed by a dead time (both types), the correlation function can be evaluated rigorously. On the other hand, $R(t)$ can also be directly measured by a modulo 2 counter which is only sensitive to the parity of the pulses registered in t (at present under construction by P. Bréonce). A comparison of experiment with theory will then allow us to determine the dead time involved and its type. This is one of the rare methods known for measuring the otherwise inaccessible 'first dead time' which is caused by the detection and amplification of the nuclear events. A detailed description of this new approach is under way.

Publications, lectures and travel : Ionizing Radiations section

Publications

- 6.1 ALLISY, A. and MÜLLER, J.W. Evaluation of uncertainties. In : *Absorbed Dose Determination in Photon and Electron Beams, An International Code of Practice* (IAEA, Vienna, 1987), pp. 73-77.
- 6.2 BOUTILLON, M. Gap correction for the calorimetric measurement of absorbed dose in graphite with a ^{60}Co beam. *Phys. Med. and Biology*, **34**, 1989, pp. 1809-1821.
- 6.3 DE ALMEIDA, C.E., PERROCHE-ROUX, A.-M. and BOUTILLON, M. Perturbation correction of a cylindrical thimble-type chamber in a graphite phantom for ^{60}Co gamma rays. *Phys. Med. and Biology*, **34**, 1989, pp. 1443-1449.

- 6.4 MÜLLER, J.W. Messunsicherheiten - ein persönlicher Rück- und Ausblick. *PTB-Bericht* PTB-FMRB-118 (Braunschweig, 1988), pp. 19-34.
- 6.5 PERROCHE, A.-M. and BOUTILLON, M. Measurement of ambient dose equivalent and directional dose equivalent in a ^{60}Co beam. *Rad. Prot. Dosimetry*, **27**, 1989, pp. 139-148.
- 6.6 SMITH, D. and MÜLLER, J.W. Accidental-coincidence corrections, *Rev. Sci. Instr.*, **60**, 1989, pp. 143-147.

BIPM Reports

- 6.7 BOUTILLON, M. and PERROCHE, A.-M. Radial non-uniformity of the BIPM ^{60}Co beam. *Rapport BIPM-89/2*, January 1989, 9 pages.
- 6.8 HUYNH, V.D. Participation du BIPM à la comparaison internationale de mesures de débit de fluence de neutrons utilisant deux chambres à fission. *Rapport BIPM-88/10*, September 1988, 5 pages.
- 6.9 MÜLLER, J.W. Statistiques de comptage. *Rapport BIPM-88/11*, October 1988, 4 pages.
- 6.10 MÜLLER, J.W. The transmission factor $T_1(N, N)$ revisited. *Rapport BIPM-88/12*, October 1988, 20 pages.
- 6.11 MÜLLER, J.W. Some series expansions of T_1 . *Rapport BIPM-88/13*, November 1988, 8 pages.
- 6.12 MÜLLER, J.W. Explicit evaluation of the transmission factor $T_1(\theta, E)$, part II. *Rapport BIPM-88/14*, December 1988, 10 pages.
- 6.13 PERROCHE, A.-M. and JAKAB, A. Comparison of the air kerma and exposure standards of the OMH and BIPM for X rays (10 to 50 kV). *Rapport BIPM-89/3*, May 1989, 9 pages.
- 6.14 RATEL, G. International comparison of activity measurements of a solution of ^{125}I (May 1988), document CCEMRI(II)/89-2, 87 pages.

Lectures

M. Boutillon :

— Comparaisons internationales de mesures de dose absorbée dans le graphite, dans un faisceau de ^{60}Co , Annual Congress of the Société Française des Physiciens d'Hôpital, Lyon (France), July 1989.

Congresses, Committee meetings, etc. attended, laboratory visits, with no lecture given

M. Boutillon :

— NPL on 7/8 November 1988, discussions on the problem of the gap corrections in the calorimetric determination of absorbed dose to graphite and visit to the dosimetry facilities.

— Participation, with A.-M. Perroche, at the Tenth Symposium on Microdosimetry, Rome, 21-26 May 1989.

J.W. Müller :

— 25/26 May 1989 at BIPM, Sèvres. ICRU Committee on Fundamentals of Particle Counting applied to Radioactivity Measurements, as Chairman.

— 5/9 June 1989, meeting of the International Committee for Radionuclide Metrology at PTB, Braunschweig.

— 22/23 June 1989, meeting of ISO/TAG4 Working Group on the Expression of Uncertainties, Geneva.

G. Ratel :

— Visit to the radionuclide section of NRC, Ottawa, 31 July/1 August 1989, with a talk on the work performed on radionuclides at the BIPM.

— Visit to AECL, Chalk River, 2 to 4 August 1989, with discussions on recent international comparisons.

— Stay in the radionuclide section of NIST, Gaithersburg, from 14 August to 1 September 1989 for discussion of the planned extension of the SIR system and the advantages offered by liquid-scintillation counting for this purpose.

J.W. Müller, G. Ratel, P. Bréonce, V.D. Huynh and M. Boutillon took part in a meeting of Section II du CCEMRI, 29-31 May 1989.

7. Publications

7.1. BIPM Publications

Since October 1988, the following have been published :

Procès-Verbaux des séances du Comité International des Poids et Mesures, 56, 77th meeting, October 1988, 148 pages.

Comité Consultatif d'Électricité, 18th meeting (1988), 168 pages.

Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées, 3rd meeting (1988), 70 pages.

Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants, Sections I, II, III (1988), 136 pages.

Recueil de travaux du BIPM, vol. 11 (1987-1988).

Annual Report of the Time Section of the BIPM, vol. 1, 1988, 136 pages.

Circular T (monthly), 4 pages.

7.2. Metrologia (R.P. Hudson)

During the calendar year 1988, 17 of the manuscripts received since 1 January 1988 were published ; 35 other manuscripts were received by 31 December 1988 and, of these, 23 MSS were accepted for publication in 1989, 4 were rejected and 8 remained 'in process' as of 31 May

1989. Of the 52 MSS mentioned above, the two most numerous categories were Thermometry (14) and Electricity (9). Between 1 January and 30 September 1989, 30 MSS were received. The above figures for MSS received and processed are, within the normal fluctuations, comparable with those of recent years.

Review articles published in *Metrologia* are now being listed in *Reviews of Modern Physics* in that journal's section on review articles appearing in other journals; this should furnish a small but useful amount of additional publicity. The plan to broaden the scope of our articles by procuring from national standards laboratories and elsewhere review articles on established and recommended measurement techniques has not, unfortunately, borne fruit, with the exception of one paper on the subject of measurements utilizing the quantum Hall effect.

In the first issue of 1989, too, a publication of primary importance and, hence, of very wide interest treated the subject of new international electrical reference standards based on the Josephson and quantum Hall effects.

Extensive discussions were held (as in prior, recent years) with the Director on the future of *Metrologia*, also on a replacement for the present Editor who is to retire on 31 October 1989; assistance was rendered on reviewing and assessing applications for this post and in conversing with some of the applicants.

7.3. External Publications

A detailed list of external publications is given in the entry for each section.

8. Certificates and Notes of Study

In the period from 1 October 1988 to 30 September 1989, 32 Certificates and 4 Notes of Study were delivered.

For a list of Certificates and Notes see page 68.

IV. — ACTIVITIES RELATED TO EXTERNAL ORGANIZATIONS

1. Work in association with national and international organizations

T.J. Quinn attends regular meetings of the Scientific Council of the IMGc (Turin), continues to act as Chairman of the CODATA Task Group on Fundamental Constants, is a member of the IUPAC Interdivisional Committee on Nomenclature and Standards, the Associate Committee on Standards of Physical Measurement of the NRC (Ottawa) and the Comité Scientifique of the Laboratoire de l'Horloge Atomique (Orsay). He is Co-Director (with L. Crovini of IEN) of the 1989 International School of Physics 'E. Fermi' Metrology at the Frontiers of Physics and Technology.

J. Bonhoure has been appointed to act as the expert for French language of the technical committee 7.06 'Lighting terminology' of International Commission on Illumination.

B. Guinot participates in the work of IAU, IUGG and CCIR. He is a member of the scientific councils of the BNM and the Groupe de Recherches de Géodésie Spatiale (France) and Chairman of the French scientific council of the Central Bureau of the IERS. He is member of the Bureau des Longitudes, a corresponding member of the Académie des Sciences (Paris) and a member of the Academia Europea.

J.W. Müller has been appointed to the Board of Editors of *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*. He is also Chairman of the ICRU Report Committee 'Fundamentals of Particle Counting applied to Radioactivity Measurements' and a member of the ISO Working Group of TAG4 on the Expression of Uncertainties.

P. Giacomo (directeur honoraire) has kindly agreed to continue to represent the BIPM in the preparation of the 2nd Edition of the International Vocabulary of Metrology.

2. Meetings at the BIPM

ISO/TC 12 Advisory Panel, 17-18 February 1989

Time laboratory representatives meeting, 17-18 April 1989

CCDS, 19-20 April 1989

ICRU, Working Group, 25-26 May 1989

CCEMRI Section II, 29-31 May 1989

ICRU, 26-30 June 1989

CCT Working Group I (ITS-90), 22-23 February and 12 July 1989

CCT, 12-14 September 1989.

3. Visitors to the BIPM

3.1. Guest workers

Mrs. A.-M. Perroche (SCPRI, Le Vésinet) continues her participation in the work of the Ionizing Radiations Section (X and γ rays, electrons) as she has since 1961.

Dr. C.E. de Almeida (IRD, Rio de Janeiro) stayed at BIPM 17/21 October 1988 and discussed the calibration of the ionization chambers of his laboratory and the publication of an article on the perturbation of a thimble-type chamber in graphite.

During her stay at the BIPM, from 10 October 1988 to 12 December 1989, Mrs. M.H. Maréchal (IRD, Rio de Janeiro) improved and checked the functioning of the pressurized proportional counter which she had constructed during her earlier stay at the BIPM in 1987.

Dr. O. Cramer (CSIR, Pretoria) from 21 November to 2 December 1988, to acquire knowledge on the He-Ne lasers stabilized on the saturated absorption of iodine.

MM. X. Lecat, J. Gonin and C. Rubbelynk (Centre d'Études de Bruyères-le-Châtel (CEB-III) of Commissariat à l'Énergie Atomique) spent the week 20/24 February 1989 at the BIPM. They calibrated their liquid scintillators type NE 213 in the BIPM 14,65 MeV neutron field.

Dr. Carneiro and Mr. Larson (DFM, Copenhagen) for the study of Pt-Ir surfaces using a scanning tunnelling microscope, 10/14 April 1989.

Ms. C. Ramus (École Nationale Supérieure de Sciences Appliquées et de Technologies, Lannion, France) from 1 May to 31 July 1989, to build a He-Ne laser at $\lambda = 633$ nm stabilized on the Lamb-dip.

Dr. K.R. Shortt (NRC, Ottawa), performed from 17 to 21 July 1989 at BIPM comparisons of air kerma and of absorbed dose to water, in ^{60}Co gamma radiation.

Dr. J. Geist (NIST, Gaithersburg), stayed from 25 July to 8 August 1989 in the Radiometry section.

Dr. R.E. Elmquist (NIST, Gaithersburg) spent from 5 to 29 September 1989 in the Electricity section to study details of the construction of cryogenic current comparators and ancillary equipment and the application of these devices to the measurement of conventional resistors and the quantized Hall resistance.

3.2. Visitors

— Mrs. M.L. du Préez (CSIR Division of Production Technology, Pretoria, 3 October 1988 (X and γ rays).

— Dr. D. von Gegerfelt, (Melles Griot Europe), 21 October 1988 (Lasers).

— Dr. O. Tengblad (Chalmers University of Technology, Sweden), 27 October 1988 (Lasers).

- Prof. P. Connes (Service d'Aéronomie du CNRS, Verrières-le-Buisson), 18 November 1988 (Lasers).
- MM. G. Elkin and N. Koshelyevskii (Gosstandart, Moscow), 18 November 1988 (Lasers).
- Mr. E. Funck (PTB, Braunschweig), 21 November 1988 (Ionizing Radiations, particularly problems of counting statistics).
- MM. Barbe and Vander (Faculté de Reims), 7 December 1988 (Lasers).
- Mr. A. Michel (ETCA, Arcueil), 13 December 1988 (Lasers).
- Dr. R.S. Davis (Mass section NIST, Gaithersburg), 6 February 1989.
- Mr. Bernage (Université de Lille), 8 February 1989 (Lasers).
- Mr. Y. Millerieux (INM, Paris), 9 February 1989 (Lasers).
- Dr. L. Kasturi Rangan (Lockeed, USA), 20 February 1989 (Lasers).
- Mr. F. Bertinetto (IMGC, Turin), 7 March 1989 (Lasers).
- Dr. G.D. Chapman (Mass Section NRC, Ottawa), 13 March 1989.
- Mr. Varbanov (Bulgaria), 16 March 1989 (Lasers).
- 20 students from École des Mines de Douai, Section « Métrologie, qualité », 22 March 1989 (Lasers, Mass).
- Mr. J. Nicolas (Inspection Générale de la Métrologie, Bruxelles), 4 April 1989 (Electricity).
- Mr. Dao-Phan Phuc (South Korea), 6 April 1989 (Lasers).
- Dr. J.O. Liljenzin and 35 students from the Chalmers University of Technology (Göteborg, Sweden), 11 April 1989 (Sections of Ionizing Radiations, Mass, Gravity and Lasers).
- Mr. D. Dominguez (PTB/Max Planck Institute), 14 April 1989 (Electricity).
- Mr. I.K. Harvey (CSIRO, Lindfield), 17 April 1989 (Electricity).
- MM. Musaed, M. Al-Muhaisni and A. Loufty El Sayed (Saudi Arabian Standards Organization, Riyadi, Kingdom of Saudi Arabia), 10 May 1989 (Electricity).
- Dr. Suarez (Portugal), 24 May 1989 (Lasers).
- MM. E. Braun and P. Warnecke (PTB, Braunschweig), 29 May 1989 (Electricity).
- MM. P. de la Court and C. Peters (VSL, Delft), 29 May 1989 (Electricity).
- Mr. G. Boella (IEN, Turin), 31 May 1989 (Electricity).
- Mr. M.E. Cage (NIST, Gaithersburg), 1 June 1989 (Electricity).
- Mr. B.M. Wood (NRC, Ottawa), 1 June 1989 (Electricity).
- Dr. D. Gauyacq, Dr. M. Horani, Dr. S. Guizarel, Ms. D. Chapoulard and Mr. G. Lefevre (Laboratoire de photophysique moléculaire, CNRS, Orsay), 1 June 1989 (Lasers).
- Dr. H. Nakamura (ETL/JICA, Tsukuba/Damascus), 9 August 1989 (Electricity).

- Dr. I.M.H. Saad (NIS, Cairo), 29 August 1989 (Electricity).
- Dr. A.D. Inglis (NRC, Ottawa), 30 August 1989 (Electricity).
- Messrs. Ch. V. Koijmans and C. Oosterman (VSL, Delft), 30 August 1989 (Electricity).
- Mr. W. Marais (CSIR, Pretoria), 6 September 1989 (Electricity).

4. Presentations at the BIPM

The following presentations were given at the BIPM by visitors and members of the Bureau as part of the regular schedule of seminars.

- M. Imae (Guest worker from CRL) : Récepteur GPS double fréquence pour la mesure du contenu total en électrons de l'ionosphère : application aux comparaisons de temps, 24 October 1988.
- A. Allisy : Le programme scientifique de la Commission Internationale des Unités et Mesures de Rayonnement (ICRU), 16 November 1988.
- B. Guinot : Autour de la variance d'Allan, 14 December 1988.
- P. Carré : Présentation du langage de programmation « Turbo PASCAL », 17 January 1989.
- Ch. Salomon (École normale supérieure, Paris) : Le refroidissement d'atomes par laser, 15 February 1989.
- M. Boutillon : Principe de la méthode de Monte Carlo, 20 March 1989.
- L. Robertsson : Observations on the data from the international comparison of measurements on line scales, 16 May 1989.
- P. Riéty (Institut National de Métrologie, Paris) : Histoire du kilogramme, 12 June 1989.
- M. Himbert (Institut National de Métrologie, Paris) : L'hélium-3 polarisé gazeux, 19 September 1989.

Note : External presentations given by BIPM personnel are listed in the entries for individual sections.

V. — ACCOUNTS

Details of the accounts for 1988 may be found in the *Rapport annuel sur la situation administrative et financière du Bureau international des poids et mesures*. An abstract of Tables taken from this report may be found on pages 75-79.

The headings for the tables may be translated as follows :

Compte I — Fonds ordinaires	Account I — Ordinary funds
Compte II — Caisse de retraites	Account II — Pension fund
Compte III — Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique	Account III — Special fund for the improvement of scientific equipment
Compte IV — Caisse de prêts sociaux	Account IV — Special loans fund
Compte V — Réserve pour les bâtiments	Account V — Building reserve

Two additional tables detail the payments made against budget in 1988 and the balance of accounts at 31 December 1988. This is done under the headings :

DÉTAIL DES DÉPENSES BUDGÉTAIRES	STATEMENT OF BUDGETARY EXPENDITURE
---------------------------------	------------------------------------

Bilan

(AU 31 DÉCEMBRE 1988)

Balance

(AT 31 DECEMBER 1988)

It should be noted that in all tables the unit of currency is the gold franc (franc-or) which is defined by the equivalence 1 franc-or = 1,81452 French francs.

THE INTERNATIONAL TEMPERATURE SCALE OF 1990 (ITS-90)

It should be noted that the official version of the scale is the French one. The English version, published for convenience, has been authorized by the Comité Consultatif de Thermométrie and approved by the Comité International des Poids et Mesures.

The International Temperature Scale of 1990 was adopted by the Comité International des Poids et Mesures at its meeting in 1989, in accordance with the request embodied in Resolution 7 of the 18th Conférence Générale des Poids et Mesures of 1987. This scale supersedes the International Practical Temperature Scale of 1968 (amended edition of 1975) and the 1976 Provisional 0,5 K to 30 K Temperature Scale.

1. Units of temperature

The unit of the fundamental physical quantity known as thermodynamic temperature, symbol T , is the kelvin, symbol K, defined as the fraction $1/273,16$ of the thermodynamic temperature of the triple point of water ⁽¹⁾.

Because of the way earlier temperature scales were defined, it remains common practice to express a temperature in terms of its difference from 273,15 K, the ice point. A thermodynamic temperature, T , expressed in this way is known as a Celsius temperature, symbol t , defined by :

$$t/^{\circ}\text{C} = T/\text{K} - 273,15. \quad (1)$$

The unit of Celsius temperature is the degree Celsius, symbol $^{\circ}\text{C}$, which is by definition equal in magnitude to the kelvin. A difference of temperature may be expressed in kelvins or degrees Celsius.

⁽¹⁾ Comptes Rendus des Séances de la Treizième Conférence Générale des Poids et Mesures (1967-1968), Resolutions 3 and 4, p. 104.

The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90) defines both International Kelvin Temperatures, symbol T_{90} , and International Celsius Temperatures, symbol t_{90} . The relation between T_{90} and t_{90} is the same as that between T and t , i.e. :

$$t_{90}/^{\circ}\text{C} = T_{90}/\text{K} - 273,15. \quad (2)$$

The unit of the physical quantity T_{90} is the kelvin, symbol K, and the unit of the physical quantity t_{90} is the degree Celsius, symbol $^{\circ}\text{C}$, as is the case for the thermodynamic temperature T and the Celsius temperature t .

2. Principles of the International Temperature Scale of 1990 (ITS-90)

The ITS-90 extends upwards from 0,65 K to the highest temperature practicably measurable in terms of the Planck radiation law using monochromatic radiation. The ITS-90 comprises a number of ranges and sub-ranges throughout each of which temperatures T_{90} are defined. Several of these ranges or sub-ranges overlap, and where such overlapping occurs, differing definitions of T_{90} exist : these differing definitions have equal status. For measurements of the very highest precision there may be detectable numerical differences between measurements made at the same temperature but in accordance with differing definitions. Similarly, even using one definition, at a temperature between defining fixed points two acceptable interpolating instruments (e.g. resistance thermometers) may give detectably differing numerical values of T_{90} . In virtually all cases these differences are of negligible practical importance and are at the minimum level consistent with a scale of no more than reasonable complexity : for further information on this point, see « Supplementary Information for the ITS-90 »*.

The ITS-90 has been constructed in such a way that, throughout its range, for any given temperature the numerical value of T_{90} is a close approximation to the numerical value of T according to best estimates at the time the scale was adopted. By comparison with direct measurements of thermodynamic temperatures, measurements of T_{90} are more easily made, are more precise and are highly reproducible.

There are significant numerical differences between the values of T_{90} and the corresponding values of T_{68} measured on the International Practical Temperature Scale of 1968 (IPTS-68), see Fig. 1 and Table VI. Similarly there were differences between the IPTS-68 and the International Practical Temperature Scale of 1948 (IPTS-48), and between the

* See Monography BIPM/1990.

International Temperature Scale of 1948 (ITS-48) and the International Temperature Scale of 1927 (ITS-27). See the Appendix and, for more detailed information, « Supplementary Information for the ITS-90 ».

3. Definition of the International Temperature Scale of 1990

Between 0,65 K and 5,0 K T_{90} is defined in terms of the vapour-pressure temperature relations of ^3He and ^4He .

Between 3,0 K and the triple point of neon (24,5561 K) T_{90} is defined by means of a helium gas thermometer calibrated at three experimentally realizable temperatures having assigned numerical values (defining fixed points) and using specified interpolation procedures.

Between the triple point of equilibrium hydrogen (13,8033 K) and the freezing point of silver (961,78 °C) T_{90} is defined by means of platinum resistance thermometers calibrated at specified sets of defining fixed points and using specified interpolation procedures.

Above the freezing point of silver (961,78 °C) T_{90} is defined in terms of a defining fixed point and the Planck radiation law.

The defining fixed points of the ITS-90 are listed in Table I. The effects of pressure, arising from significant depths of immersion of the sensor or from other causes, on the temperature of most of these points are given in Table II.

3.1. From 0,65 K to 5,0 K: helium vapour-pressure temperature equations

In this range T_{90} is defined in terms of the vapour pressure p of ^3He and ^4He using equations of the form :

$$T_{90}/\text{K} = A_0 + \sum_{i=1}^9 A_i [(\ln(p/\text{Pa}) - B)/C]^i. \quad (3)$$

The values of the constants A_0 , A_i , B and C are given in Table III for ^3He in the range of 0,65 K to 3,2 K, and for ^4He in the ranges 1,25 K to 2,1768 K (the λ point) and 2,1768 K to 5,0 K.

3.2. From 3,0 K to the triple point of neon (24,5561 K): gas thermometer

In this range T_{90} is defined in terms of a ^3He or a ^4He gas thermometer of the constant-volume type that has been calibrated at three temperatures. These are the triple point of neon (24,5561 K), the

TABLE I
Defining fixed points of the ITS-90

Number	Temperature		Substance ^(a)	State ^(b)	$W_T(T_{90})$
	T_{90}/K	$t_{90}/^\circ\text{C}$			
1	3 to 5	— 270,15 to 268,15	He	V	
2	13,803 3	— 259,346 7	e-H ₂	T	0,001 190 07
3	≈ 17	≈ — 256,15	e-H ₂ (or He)	V (or G)	
4	≈ 20,3	≈ — 252,85	e-H ₂ (or He)	V (or G)	
5	24,556 1	— 248,593 9	Ne	T	0,008 449 74
6	54,358 4	— 218,791 6	O ₂	T	0,091 718 04
7	83,805 8	— 189,344 2	Ar	T	0,215 859 75
8	234,315 6	— 38,834 4	Hg	T	0,844 142 11
9	273,16	0,01	H ₂ O	T	1,000 000 00
10	302,914 6	29,764 6	Ga	M	1,118 138 89
11	429,748 5	156,598 5	In	F	1,609 801 85
12	505,078	231,928	Sn	F	1,892 797 68
13	692,677	419,527	Zn	F	2,568 917 30
14	933,473	660,323	Al	F	3,376 008 60
15	1 234,93	961,78	Ag	F	4,286 420 53
16	1 337,33	1 064,18	Au	F	
17	1 357,77	1 084,62	Cu	F	

(a):

- All substances except ³He are of natural isotopic composition;
- e-H₂ is hydrogen at the equilibrium concentration of the ortho- and para-molecular forms.

(b):

- For advice on the realization of these various states, see «Supplementary Information for the ITS-90».
- Symbols have the following meanings: V: vapour pressure point; T: triple point (temperature at which the solid, liquid and vapour phases are in equilibrium); G: gas thermometer point; M, F: melting point, freezing point (temperature, at a pressure of 101 325 Pa, at which the solid and liquid phases are in equilibrium).

TABLE II

*Effect of pressure on the temperatures of some defining fixed points **

Substance	Assigned value of equilibrium temperature T_{90}/K	Temperature variation	
		with pressure p $(dT/dp)/(10^{-8}\text{K}\cdot\text{Pa}^{-1})^{**}$	with depth h $(dT/dh)/(10^{-3}\text{K}\cdot\text{m}^{-1})^{***}$
e-Hydrogen (T)	13,803 3	34	0,25
Neon (T)	24,556 1	16	1,9
Oxygen (T)	54,358 4	12	1,5
Argon (T)	83,805 8	25	3,3
Mercury (T)	234,315 6	5,4	7,1
Water (T)	273,16	— 7,5	— 0,73
Gallium	302,914 6	— 2,0	— 1,2
Indium	429,748 5	4,9	3,3
Tin	505,078	3,3	2,2
Zinc	692,677	4,3	2,7
Aluminium	933,473	7,0	1,6
Silver	1 234,93	6,0	5,4
Gold	1 337,33	6,1	10
Copper	1 357,77	3,3	2,6

* The reference pressure for melting and freezing points is the standard atmosphere ($p_0 = 101\,325\text{ Pa}$). For triple points (T) the pressure effect is a consequence only of the hydrostatic head of liquid in the cell.

** Equivalent to millikelvins per standard atmosphere.

*** Equivalent to millikelvins per metre of liquid.

TABLE III

Values of the constants for the helium vapour pressure Eq. (3), and the temperature range for which each equation, identified by its set of constants, is valid

	^3He 0,65 K to 3,2 K	^4He 1,25 K to 2,1768 K	^4He 2,1768 K to 5,0 K
A_0	1,053 447	1,392 408	3,146 631
A_1	0,980 106	0,527 153	1,357 655
A_2	0,676 380	0,166 756	0,413 923
A_3	0,372 692	0,050 988	0,091 159
A_4	0,151 656	0,026 514	0,016 349
A_5	— 0,002 263	0,001 975	0,001 826
A_6	0,006 596	— 0,017 976	— 0,004 325
A_7	0,088 966	0,005 409	— 0,004 973
A_8	— 0,004 770	0,013 259	0
A_9	— 0,054 943	0	0
B	7,3	5,6	10,3
C	4,3	2,9	1,9

triple point of equilibrium hydrogen (13,8033 K), and a temperature between 3,0 K and 5,0 K. This last temperature is determined using a ^3He or a ^4He vapour pressure thermometer as specified in Sect. 3.1.

3.2.1. From 4,2 K to the triple point of neon (24,5561 K) with ^4He as the thermometric gas

In this range T_{90} is defined by the relation :

$$T_{90} = a + bp + cp^2, \quad (4)$$

where p is the pressure in the gas thermometer and a, b and c are coefficients the numerical values of which are obtained from measurements made at the three defining fixed points given in Sect. 3.2, but with the further restriction that the lowest one of these points lies between 4,2 K and 5,0 K.

3.2.2. From 3,0 K to the triple point of neon (24,5561 K) with ^3He or ^4He as the thermometric gas

For a ^3He gas thermometer, and for a ^4He gas thermometer used below 4,2 K, the non-ideality of the gas must be accounted for explicitly, using the appropriate second virial coefficient $B_3(T_{90})$ or $B_4(T_{90})$. In this range T_{90} is defined by the relation :

$$T_{90} = \frac{a + bp + cp^2}{1 + B_x(T_{90})N/V}, \quad (5)$$

where p is the pressure in the gas thermometer, a, b and c are coefficients the numerical values of which are obtained from measurements at three defining temperatures as given in Sect. 3.2, N/V is the gas density with N being the quantity of gas and V the volume of the bulb, x is 3 or 4 according to the isotope used, and the values of the second virial coefficients are given by the relations :

For ^3He ,

$$B_3(T_{90})/\text{m}^3 \text{ mol}^{-1} = \{16,69 - 336,98(T_{90}/\text{K})^{-1} + 91,04(T_{90}/\text{K})^{-2} - 13,82(T_{90}/\text{K})^{-3}\} 10^{-6}. \quad (6 \text{ a})$$

For ^4He ,

$$B_4(T_{90})/\text{m}^3 \text{ mol}^{-1} = \{16,708 - 374,05(T_{90}/\text{K})^{-1} - 383,53(T_{90}/\text{K})^{-2} + 1\,799,2(T_{90}/\text{K})^{-3} - 4\,033,2(T_{90}/\text{K})^{-4} + 3\,252,8(T_{90}/\text{K})^{-5}\} 10^{-6}. \quad (6 \text{ b})$$

The accuracy with which T_{90} can be realized using Eqs. (4) and (5) depends on the design of the gas thermometer and the gas density used. Design criteria and current good practice required to achieve a selected accuracy are given in « Supplementary Information for the ITS-90 ».

3.3. The triple point of equilibrium hydrogen (13,8033 K) to the freezing point of silver (961,78 °C): platinum resistance thermometer

In this range T_{90} is defined by means of a platinum resistance thermometer calibrated at specified sets of defining fixed points, and using specified reference and deviation functions for interpolation at intervening temperatures.

No single platinum resistance thermometer can provide high accuracy, or is even likely to be usable, over all of the temperature range 13,8033 K to 961,78 °C. The choice of temperature range, or ranges, from among those listed below for which a particular thermometer can be used is normally limited by its construction.

For practical details and current good practice, in particular concerning types of thermometer available, their acceptable operating ranges, probable accuracies, permissible leakage resistance, resistance values, and thermal treatment, *see* « Supplementary Information for the ITS-90 ». It is particularly important to take account of the appropriate heat treatments that should be followed each time a platinum resistance thermometer is subjected to a temperature above about 420 °C.

Temperatures are determined in terms of the ratio of the resistance $R(T_{90})$ at a temperature T_{90} and the resistance $R(273,16 \text{ K})$ at the triple point of water. This ratio, $W(T_{90})$, is ⁽²⁾:

$$W(T_{90}) = R(T_{90})/R(273,16 \text{ K}). \quad (7)$$

An acceptable platinum resistance thermometer must be made from pure, strain-free platinum, and it must satisfy at least one of the following two relations:

$$\begin{aligned} W(29,7646 \text{ °C}) &\geq 1,118 \ 07, & (8 \ a) \\ W(-38,8344 \text{ °C}) &\leq 0,844 \ 235. & (8 \ b) \end{aligned}$$

⁽²⁾ Note that this definition of $W(T_{90})$ differs from the corresponding definition used in the ITS-27, ITS-48, IPTS-48 and IPTS-68: for all of these earlier scales $W(T)$ was defined in terms of a reference temperature of 0 °C, which since 1954 has itself been defined as 273,15 K.

An acceptable platinum resistance thermometer that is to be used up to the freezing point of silver must also satisfy the relation :

$$W(961,78\text{ }^{\circ}\text{C}) \geq 4,2844. \quad (8\text{ c})$$

In each of the resistance thermometer ranges, T_{90} is obtained from $W_r(T_{90})$ as given by the appropriate reference function {Eqs. (9 b) or (10 b)}, and the deviation $W(T_{90}) - W_r(T_{90})$. At the defining fixed points this deviation is obtained directly from the calibration of the thermometer ; at intermediate temperatures it is obtained by means of the appropriate deviation function {Eqs. (12), (13) and (14)}.

(i) For the range 13,8033 K to 273,16 K the following reference function is defined :

$$\ln [W_r(T_{90})] = A_0 + \sum_{i=1}^{12} A_i \left[\frac{\ln (T_{90}/273,16\text{ K}) + 1,5}{1,5} \right]^i. \quad (9\text{ a})$$

An inverse function, equivalent to Eq. (9 a) to within 0,1 mK, is :

$$T_{90}/273,16\text{ K} = B_0 + \sum_{i=1}^{15} B_i \left[\frac{W_r(T_{90})^{1/6} - 0,65}{0,35} \right]^i. \quad (9\text{ b})$$

The values of the constants A_0 , A_i , B_0 and B_i are given in Table IV.

A thermometer may be calibrated for use throughout this range or, using progressively fewer calibration points, for ranges with low temperature limits of 24,5561 K, 54,3584 K and 83,8058 K, all having an upper limit of 273,16 K.

(ii) For the range 0 °C to 961,78 °C the following reference function is defined :

$$W_r(T_{90}) = C_0 + \sum_{i=1}^9 C_i \left[\frac{T_{90}/\text{K} - 754,15}{481} \right]^i. \quad (10\text{ a})$$

An inverse function, equivalent to equation (10 a) to within 0,13 mK, is :

$$T_{90}/\text{K} - 273,15 = D_0 + \sum_{i=1}^9 D_i \left[\frac{W_r(T_{90}) - 2,64}{1,64} \right]^i. \quad (10\text{ b})$$

The values of the constants C_0 , C_i , D_0 and D_i are given in Table IV.

A thermometer may be calibrated for use throughout this range or, using fewer calibration points, for ranges with upper limits of 660,323 °C,

TABLE IV

Platinum resistance thermometer

The constants $A_0, A_i; B_0, B_i; C_0, C_i; D_0$ and D_1 in the reference function of equations (9 a); (9 b); (10 a); and (10 b) respectively

A_0	- 2,135 347 29	B_0	0,183 324 722
A_1	3,183 247 20	B_1	0,240 975 303
A_2	- 1,801 435 97	B_2	0,209 108 771
A_3	0,717 272 04	B_3	0,190 439 972
A_4	0,503 440 27	B_4	0,142 648 498
A_5	- 0,618 993 95	B_5	0,077 993 465
A_6	- 0,053 323 22	B_6	0,012 475 611
A_7	0,280 213 62	B_7	- 0,032 267 127
A_8	0,107 152 24	B_8	- 0,075 291 522
A_9	- 0,293 028 65	B_9	- 0,056 470 670
A_{10}	0,044 598 72	B_{10}	0,076 201 285
A_{11}	0,118 686 32	B_{11}	0,123 893 204
A_{12}	- 0,052 481 34	B_{12}	- 0,029 201 193
		B_{13}	- 0,091 173 542
		B_{14}	0,001 317 696
		B_{15}	0,026 025 526
C_0	2,781 572 54	D_0	439,932 854
C_1	1,646 509 16	D_1	472,418 020
C_2	- 0,137 143 90	D_2	37,684 494
C_3	- 0,006 497 67	D_3	7,472 018
C_4	- 0,002 344 44	D_4	2,920 828
C_5	0,005 118 68	D_5	0,005 184
C_6	0,001 879 82	D_6	- 0,963 864
C_7	- 0,002 044 72	D_7	- 0,188 732
C_8	- 0,000 461 22	D_8	0,191 203
C_9	0,000 457 24	D_9	0,049 025

419,527 °C, 231,928 °C, 156,5985 °C or 29,7646 °C, all having a lower limit of 0 °C.

(iii) A thermometer may be calibrated for use in the range 234,3156 K (- 38,8344 °C) to 29,7646 °C, the calibration being made at these temperatures and at the triple point of water. Both reference functions {Eqs. (9) and (10)} are required to cover this range.

The defining fixed points and deviation functions for the various ranges are given below, and in summary form in Table V.

TABLE V
Deviation functions and calibration points for platinum resistance thermometers
in the various ranges in which they define T_{90}

(a) Ranges with an upper limit of 273,16 K			
Section	Lower limit	Deviation functions	Calibration points**
3.3.1	13,803 3 K	$a [W(T_{90}) - 1] + b [W(T_{90}) - 1]^2 + \sum_{i=1}^5 c_i [\ln W(T_{90})]^{i+n}$, $n = 2$	2 to 9
3.3.1.1	24,556 1 K	As for 3.3.1 with $c_4 = c_5 = 0$ and $n = 0$	2, 5 to 9
3.3.1.2	54,358 4 K	As for 3.3.1 with $c_2 = c_3 = c_4 = c_5 = 0$ and $n = 1$	6 to 9
3.3.1.3	83,805 8 K	$a [W(T_{90}) - 1] + b [W(T_{90}) - 1] \ln W(T_{90})$	7 to 9
(b) Ranges with a lower limit of 0 °C			
Section	Upper limit	Deviation functions	Calibration points **
3.3.2 *	961,78 °C	$a [W(T_{90}) - 1] + b [W(T_{90}) - 1]^2 + c [W(T_{90}) - 1]^3 + d [W(T_{90}) - W(660,323 \text{ °C})]^2$	9, 12 to 15
3.3.2.1	660,323 °C	As for 3.3.2 with $d = 0$	9, 12 to 14
3.3.2.2	419,527 °C	As for 3.3.2 with $c = d = 0$	9, 12, 13
3.3.2.3	231,928 °C	As for 3.3.2 with $c = d = 0$	9, 11, 12
3.3.2.4	156,598 5 °C	As for 3.3.2 with $b = c = d = 0$	9, 11
3.3.2.5	29,764 6 °C	As for 3.3.2 with $b = c = d = 0$	9, 10
(c) Range from 234,315 6 K (− 38,834 4 °C) to 29,764 6 °C			
3.3.3		As for 3.3.2 with $c = d = 0$	8 to 10

* Calibration points 9, 12 to 14 are used with $d = 0$ for $t_{90} \leq 660,323 \text{ °C}$; the values of a , b and c thus obtained are retained for $t_{90} \geq 660,323 \text{ °C}$, with d being determined from calibration point 15.

** See Table I.

3.3.1. The triple point of equilibrium hydrogen (13,8033 K) to the triple point of water (273,16 K)

The thermometer is calibrated at the triple points of equilibrium hydrogen (13,8033 K), neon (24,5561 K), oxygen (54,3584 K), argon (83,8058 K), mercury (234,3156 K), and water (273,16 K), and at two additional temperatures close to 17,0 K and 20,3 K. These last two may be determined either: by using a gas thermometer as described in Sect. 3.2, in which case the two temperatures must lie within the ranges 16,9 K to 17,1 K and 20,2 K to 20,4 K respectively; or by using the vapour pressure-temperature relation of equilibrium hydrogen, in which case the two temperatures must lie within the ranges 17,025 K to 17,045 K and 20,26 K to 20,28 K respectively, with the precise values being determined from Eqs. (11 a) and (11 b) respectively:

$$T_{90}/\text{K} - 17,035 = (p/\text{kPa} - 33,3213)/13,32, \quad (11 \text{ a})$$

$$T_{90}/\text{K} - 20,27 = (p/\text{kPa} - 101,292)/30. \quad (11 \text{ b})$$

The deviation function is (³):

$$W(T_{90}) - W_r(T_{90}) = a[W(T_{90}) - 1] + b[W(T_{90}) - 1]^2 + \sum_{i=1}^5 c_i [\ln W(T_{90})]^{i+n}, \quad (12)$$

with values for the coefficients a , b and c_i being obtained from measurements at the defining fixed points and with $n = 2$.

For this range and for the sub-ranges 3.3.1.1 to 3.3.1.3 the required values of $W_r(T_{90})$ are obtained from Eq. (9 a) or from Table I.

3.3.1.1. The triple point of neon (24,5561 K) to the triple point of water (273,16 K)

The thermometer is calibrated at the triple points of equilibrium hydrogen (13,8033 K), neon (24,5561 K), oxygen (54,3584 K), argon (83,8058 K), mercury (234,3156 K) and water (273,16 K).

The deviation function is given by Eq. (12) with values for the coefficients a , b , c_1 , c_2 and c_3 being obtained from measurements at the defining fixed points and with $c_4 = c_5 = n = 0$.

(³) This deviation function {and also those of Eqs (13) and (14)} may be expressed in terms of W_r rather than W ; for this procedure see «Supplementary Information for ITS-90».

3.3.1.2. The triple point of oxygen (54,3584 K) to the triple point of water (273,16 K)

The thermometer is calibrated at the triple points of oxygen (54,3584 K), argon (83,8058 K), mercury (234,3156 K) and water (273,16 K).

The deviation function is given by Eq. (12) with values for the coefficients a , b and c_1 being obtained from measurements at the defining fixed points, with $c_2 = c_3 = c_4 = c_5 = 0$ and with $n = 1$.

3.3.1.3. The triple point of argon (83,8058 K) to the triple point of water (273,16 K)

The thermometer is calibrated at the triple points of argon (83,8058 K), mercury (234,3156 K) and water (273,16 K).

The deviation function is :

$$W(T_{90}) - W_r(T_{90}) = a[W(T_{90}) - 1] + b[W(T_{90}) - 1] \ln W(T_{90}) \quad (13)$$

with the values of a and b being obtained from measurements at the defining fixed points.

3.3.2. From 0 °C to the freezing point of silver (961,78 °C)

The thermometer is calibrated at the triple point of water (0,01 °C), and at the freezing points of tin (231,928 °C), zinc (419,527 °C), aluminium (660,323 °C) and silver (961,78 °C).

The deviation function is :

$$W(T_{90}) - W_r(T_{90}) = a[W(T_{90}) - 1] + b[W(T_{90}) - 1]^2 + c[W(T_{90}) - 1]^3 + d[W(T_{90}) - W(660,323 \text{ °C})]^2. \quad (14)$$

For temperatures below the freezing point of aluminium $d = 0$, with the values of a , b and c being determined from the measured deviations from $W_r(T_{90})$ at the freezing points of tin, zinc and aluminium. From the freezing point of aluminium to the freezing point of silver the above values of a , b and c are retained and the value of d is determined from the measured deviation from $W_r(T_{90})$ at the freezing point of silver.

For this range and for the sub-ranges 3.3.2.1 to 3.3.2.5 the required values for $W_r(T_{90})$ are obtained from Eq. (10 a) or from Table I.

3.3.2.1. From 0 °C to the freezing point of aluminium (660,323 °C)

The thermometer is calibrated at the triple point of water (0,01 °C), and at the freezing points of tin (231,928 °C), zinc (419,527 °C) and aluminium (660,323 °C).

The deviation function is given by Eq. (14), with the values of a , b and c being determined from measurements at the defining fixed points and with $d = 0$.

3.3.2.2. From 0 °C to the freezing point of zinc (419,527 °C)

The thermometer is calibrated at the triple point of water (0,01 °C), and at the freezing points of tin (231,928 °C) and zinc (419,527 °C).

The deviation function is given by Eq. (14), with the values of a and b being obtained from measurements at the defining fixed points and with $c = d = 0$.

3.3.2.3. From 0 °C to the freezing point of tin (231,928 °C)

The thermometer is calibrated at the triple point of water (0,01 °C), and at the freezing points of indium (156,5985 °C), and tin (231,928 °C).

The deviation function is given by Eq. (14), with the values of a and b being obtained from measurements at the defining fixed points and with $c = d = 0$.

3.3.2.4. From 0 °C to the freezing point of indium (156,5985 °C)

The thermometer is calibrated at the triple point of water (0,01 °C), and at the freezing point of indium (156,5985 °C).

The deviation function is given by Eq. (14), with the value of a being obtained from measurements at the defining fixed points and with $b = c = d = 0$.

3.3.2.5. From 0 °C to the melting point of gallium (29,7646 °C)

The thermometer is calibrated at the triple point of water (0,01 °C), and at the melting point of gallium (29,7646 °C).

The deviation function is given by Eq. (14), with the value of a being obtained from measurements at the defining fixed points and with $b = c = d = 0$.

3.3.3. The triple point of mercury (− 38,8344 °C) to the melting point of gallium (29,7646 °C)

The thermometer is calibrated at the triple points of mercury (− 38,8344 °C), and water (0,01 °C), and at the melting point of gallium (29,7646 °C).

The deviation function is given by Eq. (14), with the values of a and b being obtained from measurements at the defining fixed points and with $c = d = 0$.

The required values of $W_r(T_{90})$ are obtained from Eqs. (9 a) and (10 a) for measurements below and above 273,16 K respectively, or from Table I.

3.4. The range above the freezing point of silver (961,78 °C): Planck radiation law

Above the freezing point of silver the temperature T_{90} is defined by the equation :

$$\frac{L_{\lambda}(T_{90})}{L_{\lambda}[T_{90}(X)]} = \frac{\exp(c_2[\lambda T_{90}(X)]^{-1}) - 1}{\exp(c_2[\lambda T_{90}]^{-1}) - 1}, \quad (15)$$

where $T_{90}(X)$ refers to any one of the silver $\{T_{90}(\text{Ag}) = 1\,234,93\text{ K}\}$, the gold $\{T_{90}(\text{Au}) = 1\,337,33\text{ K}\}$ or the copper $\{T_{90}(\text{Cu}) = 1\,357,77\text{ K}\}$ freezing points ⁽⁴⁾ and in which $L_{\lambda}(T_{90})$ and $L_{\lambda}[T_{90}(X)]$ are the spectral concentrations of the radiance of a blackbody at the wavelength (in vacuo) λ at T_{90} and at $T_{90}(X)$ respectively, and $c_2 = 0,014388\text{ m}\cdot\text{K}$.

For practical details and current good practice for optical pyrometry, see « Supplementary Information for the ITS-90 ».

4. Supplementary information and differences from earlier scales

The apparatus, methods and procedures that will serve to realize the ITS-90 are given in « Supplementary Information for the ITS-90 ». This document also gives an account of the earlier International Temperature Scales and the numerical differences between successive scales that include, where practicable, mathematical functions for the differences $T_{90} - T_{68}$. A number of useful approximations to the ITS-90 are given in « Techniques for Approximating the ITS-90 »*.

The two documents have been prepared by the Comité Consultatif de Thermométrie and are published by the BIPM; they are revised and updated periodically.

The differences $T_{90} - T_{68}$ are shown in Fig. 1 and Table VI. The number of significant figures given in Table VI allows smooth interpolations to be made. However, the reproducibility of the IPTS-68 is, in many areas, substantially worse than is implied by this number.

⁽⁴⁾ The T_{90} values of the freezing points of silver, gold and copper are believed to be self consistent to such a degree that the substitution of any one of them in place of one of the other two as the reference temperature $T_{90}(X)$ will not result in significant differences in the measured values of T_{90} .

* See Monography BIPM/1990.

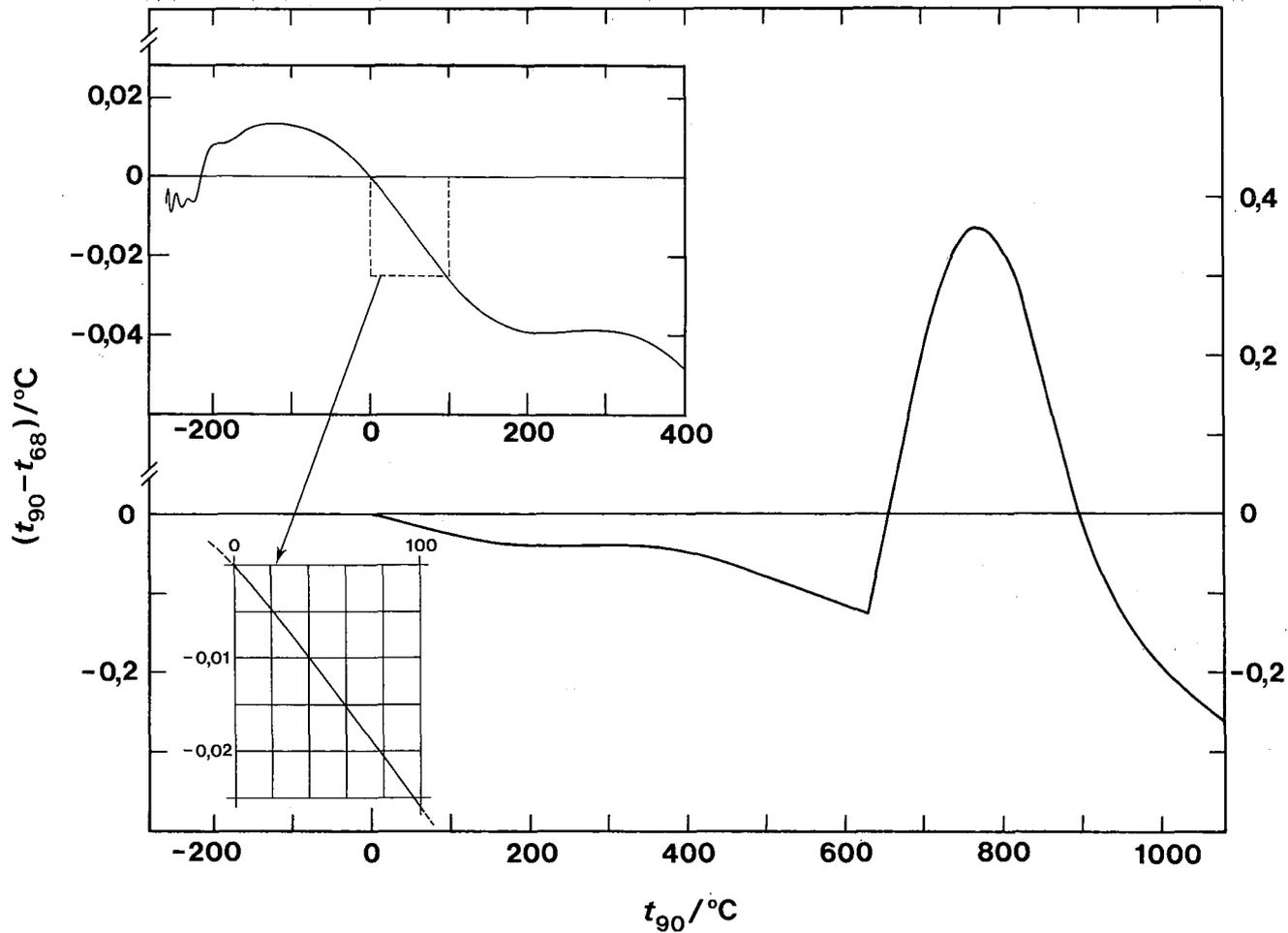


Fig. 1 — Difference between ITS-90 and IPTS-68.

TABLEAU VI

Differences between ITS-90 and EPT-76, and between ITS-90 and IPTS-68 for specified values of T_{90} and t_{90}

$(T_{90} - T_{76})/\text{mK}$										
T_{90}/K	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0						- 0,1	- 0,2	- 0,3	- 0,4	- 0,5
10	- 0,6	- 0,7	- 0,8	- 1,0	- 1,1	- 1,3	- 1,4	- 1,6	- 1,8	- 2,0
20	- 2,2	- 2,5	- 2,7	- 3,0	- 3,2	- 3,5	- 3,8	- 4,1		
$(T_{90} - T_{68})/\text{K}$										
T_{90}/K	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10					- 0,006	- 0,003	- 0,004	- 0,006	- 0,008	- 0,009
20	- 0,009	- 0,008	- 0,007	- 0,007	- 0,006	- 0,005	- 0,004	- 0,004	- 0,005	- 0,006
30	- 0,006	- 0,007	- 0,008	- 0,008	- 0,008	- 0,007	- 0,007	- 0,007	- 0,006	- 0,006
40	- 0,006	- 0,006	- 0,006	- 0,006	- 0,006	- 0,007	- 0,007	- 0,007	- 0,006	- 0,006
50	- 0,006	- 0,005	- 0,005	- 0,004	- 0,003	- 0,002	- 0,001	0,000	0,001	0,002
60	0,003	0,003	0,004	0,004	0,005	0,005	0,006	0,006	0,007	0,007
70	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008
80	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008
90	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,009	0,009	0,009
T_{90}/K	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
100	0,009	0,011	0,013	0,014	0,014	0,014	0,014	0,013	0,012	0,012
200	0,011	0,010	0,009	0,008	0,007	0,005	0,003	0,001		

$(t_{90} - t_{68})/^{\circ}\text{C}$										
$t_{90}/^{\circ}\text{C}$	0	- 10	- 20	- 30	- 40	- 50	- 60	- 70	- 80	- 90
- 100	0,013	0,013	0,014	0,014	0,014	0,013	0,012	0,010	0,008	0,008
0	0,000	0,002	0,004	0,006	0,008	0,009	0,010	0,011	0,012	0,012
$t_{90}/^{\circ}\text{C}$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0,000	- 0,002	- 0,005	- 0,007	- 0,010	- 0,013	- 0,016	- 0,018	- 0,021	- 0,024
100	- 0,026	- 0,028	- 0,030	- 0,032	- 0,034	- 0,036	- 0,037	- 0,038	- 0,039	- 0,039
200	- 0,040	- 0,040	- 0,040	- 0,040	- 0,040	- 0,040	- 0,040	- 0,039	- 0,039	- 0,039
300	- 0,039	- 0,039	- 0,039	- 0,040	- 0,040	- 0,041	- 0,042	- 0,043	- 0,045	- 0,046
400	- 0,048	- 0,051	- 0,053	- 0,056	- 0,059	- 0,062	- 0,065	- 0,068	- 0,072	- 0,075
500	- 0,079	- 0,083	- 0,087	- 0,090	- 0,094	- 0,098	- 0,101	- 0,105	- 0,108	- 0,112
600	- 0,115	- 0,118	- 0,122	- 0,125 *	- 0,08	- 0,03	0,02	0,06	0,11	0,16
700	0,20	0,24	0,28	0,31	0,33	0,35	0,36	0,36	0,36	0,35
800	0,34	0,32	0,29	0,25	0,22	0,18	0,14	0,10	0,06	0,03
900	- 0,01	- 0,03	- 0,06	- 0,08	- 0,10	- 0,12	- 0,14	- 0,16	- 0,17	- 0,18
1 000	- 0,19	- 0,20	- 0,21	- 0,22	- 0,23	- 0,24	- 0,25	- 0,25	- 0,26	- 0,26
$t_{90}/^{\circ}\text{C}$	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
1 000		- 0,26	- 0,30	- 0,35	- 0,39	- 0,44	- 0,49	- 0,54	- 0,60	- 0,66
2 000	- 0,72	- 0,79	- 0,85	- 0,93	- 1,00	- 1,07	- 1,15	- 1,24	- 1,32	- 1,41
3 000	- 1,50	- 1,59	- 1,69	- 1,78	- 1,89	- 1,99	- 2,10	- 2,21	- 2,32	- 2,43

* A discontinuity in the first derivative of $(t_{90} - t_{68})$ occurs at a temperature of $t_{90} = 630,6^{\circ}\text{C}$, at which $(t_{90} - t_{68}) = - 0,125^{\circ}\text{C}$.

APPENDIX

The International Temperature Scale of 1927 (ITS-27)

The International Temperature Scale of 1927 was adopted by the seventh Conférence Générale des Poids et Mesures to overcome the practical difficulties of the direct realization of thermodynamic temperatures by gas thermometry, and as a universally acceptable replacement for the differing existing national temperature scales. The ITS-27 was formulated so as to allow measurements of temperature to be made precisely and reproducibly, with as close an approximation to thermodynamic temperatures as could be determined at that time. Between the oxygen boiling point and the gold freezing point it was based upon a number of reproducible temperatures, or fixed points, to which numerical values were assigned, and two standard interpolating instruments. Each of these interpolating instruments was calibrated at several of the fixed points, this giving the constants for the interpolating formula in the appropriate temperature range. A platinum resistance thermometer was used for the lower part and a platinum rhodium/platinum thermocouple for temperatures above 660 °C. For the region above the gold freezing point, temperatures were defined in terms of the Wien radiation law : in practice, this invariably resulted in the selection of an optical pyrometer as the realizing instrument.

The International Temperature Scale of 1948 (ITS-48)

The International Temperature Scale of 1948 was adopted by the ninth Conférence Générale. Changes from the ITS-27 were : the lower limit of the platinum resistance thermometer range was changed from -190 °C to the defined oxygen boiling point of $-182,97\text{ °C}$, and the junction of the platinum resistance thermometer range and the thermocouple range became the measured antimony freezing point (about 630 °C) in place of 660 °C ; the silver freezing point was defined as being $960,8\text{ °C}$ instead of $960,5\text{ °C}$; the gold freezing point replaced the gold melting point ($1\,063\text{ °C}$); the Planck radiation law replaced the Wien law; the value assigned to the second radiation constant became $1,438 \times 10^{-2}\text{ m}\cdot\text{K}$ in place of $1,432 \times 10^{-2}\text{ m}\cdot\text{K}$; the permitted ranges for the constants of the interpolation formulae for the standard resistance thermometer and thermocouple were modified; the limitation on λT for optical pyrometry ($\lambda T \leq 3 \times 10^{-3}\text{ m}\cdot\text{K}$) was changed to the requirement that « visible » radiation be used.

The International Practical Temperature Scale of 1948 (Amended Edition of 1960) (IPTS-48)

The International Practical Temperature Scale of 1948, amended edition of 1960, was adopted by the eleventh Conférence Générale: the tenth Conférence Générale had already adopted the triple point of water as the sole point defining the kelvin, the unit of thermodynamic temperature. In addition to the introduction of the word « Practical », the modifications to the ITS-48 were: the triple point of water, defined as being 0,01 °C, replaced the melting point of ice as the calibration point in this region; the freezing point of zinc, defined as being 419,505 °C, became a preferred alternative to the sulphur boiling point (444,6 °C) as a calibration point; the permitted ranges for the constants of the interpolation formulae for the standard resistance thermometer and the thermocouple were further modified; the restriction to « visible » radiation for optical pyrometry was removed.

Inasmuch as the numerical values of temperature on the IPTS-48 were the same as on the ITS-48, the former was not a revision of the scale of 1948 but merely an amended form of it.

The International Practical Temperature Scale of 1968 (IPTS-68)

In 1968 the Comité International des Poids et Mesures promulgated the International Practical Temperature Scale of 1968, having been empowered to do so by the thirteenth Conférence Générale of 1967-1968. The IPTS-68 incorporated very extensive changes from the IPTS-48. These included numerical changes, designed to bring it more nearly in accord with thermodynamic temperatures, that were sufficiently large to be apparent to many users. Other changes were as follows: the lower limit of the scale was extended down to 13,81 K; at even lower temperatures (0,5 K to 5,2 K), the use of two helium vapour pressure scales was recommended; six new defining fixed points were introduced — the triple point of equilibrium hydrogen (13,81 K), an intermediate equilibrium hydrogen point (17,042 K), the normal boiling point of equilibrium hydrogen (20,28 K), the boiling point of neon (27,102 K), the triple point of oxygen (54,361 K), and the freezing point of tin (231,9681 °C) which became a permitted alternative to the boiling point of water; the boiling point of sulphur was deleted; the values assigned to four fixed points were changed — the boiling point of oxygen (90,188 K), the freezing point of zinc (419,58 °C), the freezing point of silver (961,93 °C), and the freezing point of gold (1 064,43 °C); the interpolating formulae for the resistance thermometer range became much more complex; the value assigned to the second radiation constant c_2 became $1,4388 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{K}$; the permitted ranges of the constants for the interpolation formulae for the resistance thermometer and thermocouple were again modified.

The International Practical Temperature Scale of 1968 (Amended Edition of 1975) (IPTS-68)

The International Practical Temperature Scale of 1968, amended edition of 1975, was adopted by the fifteenth Conférence Générale in 1975. As was the case for the IPTS-48 with respect to the ITS-48, the IPTS-68 (75) introduced no numerical changes. Most of the extensive textual changes were intended only to clarify and simplify its use. More substantive changes were: the oxygen point was defined as the condensation point rather than the boiling point; the triple point of argon (83,798 K) was introduced as a permitted alternative to the condensation point of oxygen; new values of the isotopic composition of naturally occurring neon were adopted; the recommendation to use values of T given by the 1958 ^4He and 1962 ^3He vapour-pressure scales was rescinded.

The 1976 Provisional 0,5 K to 30 K Temperature Scale (EPT-76)

The 1976 Provisional 0,5 K to 30 K Temperature Scale was introduced to meet two important requirements: these were to provide means of substantially reducing the errors (with respect to corresponding thermodynamic values) below 27 K that were then known to exist in the IPTS-68 and throughout the temperature ranges of the ^4He and ^3He vapour pressure scales of 1958 and 1962 respectively, and to bridge the gap between 5,2 K and 13,81 K in which there had not previously been an international scale. Other objectives in devising the EPT-76 were «that it should be thermodynamically smooth, that it should be continuous with the IPTS-68 at 27,1 K, and that it should agree with thermodynamic temperature T as closely as these two conditions allow». In contrast with the IPTS-68, and to ensure its rapid adoption, several methods of realizing the EPT-76 were approved. These included: using a thermodynamic interpolation instrument and one or more of eleven assigned reference points; taking differences from the IPTS-68 above 13,81 K; taking differences from helium vapour pressure scales below 5 K; and taking differences from certain well-established laboratory scales. Because there was a certain «lack of internal consistency» it was admitted that «slight ambiguities between realizations» might be introduced. However the advantages gained by adopting the EPT-76 as a working scale until such time as the IPTS-68 should be revised and extended were considered to outweigh the disadvantages.

TABLE DES MATIÈRES
TABLE OF CONTENTS

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

78^e session (septembre 1989)

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

78th meeting (September 1989)

	Pages
Liste des sigles utilisés dans le volume	V
List of acronyms used in this volume	V
Le BIPM et la Convention du Mètre	IX
Liste des membres du Comité international	XI
Liste du personnel du Bureau international	XIII
Ordre du jour de la session	XVI
Procès-verbaux des séances, 26, 27 et 28 septembre 1989	1
1. Ouverture de la session ; quorum ; ordre du jour	1
2. Rapport du secrétaire du CIPM	2
3. Rapport sur l'activité du bureau du Comité	3
4. Comités consultatifs	7
4.1. pour la définition de la seconde	7
4.2. de thermométrie	9
4.3. pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants	11
4.4. Réunions futures	12
5. Travaux du BIPM : Rapport du directeur	13
6. Troisième vérification des prototypes nationaux du kilogramme	15
7. Proposition pour la rénovation du Caveau des prototypes	16
8. Questions financières et administratives	17

9. Metrologia	20
10. Questions diverses	21
10.1. Changements dans la composition du CIPM	21
10.2. Nouveau secrétaire du CIPM	21
10.3. Préparation de la 19 ^e Conférence générale	22
10.4. Prochaines sessions du CIPM	22
Recommandations adoptées par le CIPM à sa 78 ^e session	23
1 (CI-1989) : Synchronisation des UTC(k) avec UTC	23
2 (CI-1989) : Amélioration de l'exactitude en fréquence des étalons primaires	23
3 (CI-1989) : Coordonnées de référence des antennes	24
4 (CI-1989) : Installation d'horloges au BIPM	25
5 (CI-1989) : Échelle internationale de température de 1990	26
Rapport du directeur sur l'activité et la gestion du Bureau international des poids et mesures (octobre 1988 — septembre 1989)	27
I. Personnel. — Nominations (J.-M. Chartier, M. Boutillon, D. Reymann, B. Bodson, A. Montbrun). Engagements (B. Perent, A. et E. Dominguez, I. et C. Neves dos Santos, J. Labot, C. Dias Nunes, R. Goebel). Départs (M. Montbrun, M. de Carvalho, J. Gaillard, B. Picaud, A. Allisy, C.C. Speake). Chercheur associé (A. Satrapinski)	27
II. Bâtiments. — Observatoire (réfection d'une partie de l'installation électrique, remise en état d'un bureau, poursuite des travaux du toit, installation d'un atelier). Grand Pavillon (redécoration de quatre bureaux, agrandissement de la cantine, installation d'un vestiaire). Nouveau Pavillon (achèvement de l'installation et de la décoration du bâtiment). Bâtiment des rayonnements ionisants (remise en état d'un bureau). Jardins et dépendances (fin du remplacement des arbres, aménagement des abords du Nouveau Pavillon, remplacement de deux portails, construction d'un abri)	28
III. Instruments et travaux	29
Remarques générales	29
Publications, conférences et voyages ne concernant pas une section particulière du BIPM	33
1. Longueurs	34
1.1. Mesures de longueur classiques et interférométrie	34
1.2. Lasers	34
1.2.1. Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée de l'iode en cuve interne à $\lambda = 633$ nm	34
1.2.2. Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée de l'iode en cuve interne ou externe à $\lambda = 612$ nm	35
1.2.3. Lasers à argon Ar^+ à $\lambda = 502$ nm et à $\lambda = 515$ nm	35
1.2.4. Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée du méthane en cuve interne à $\lambda = 3,39$ μm	36
1.2.5. Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée de l'iode en cuve interne à $\lambda = 543$ nm	36
Publications, conférences et voyages : section des longueurs	38
2. Masse et grandeurs apparentées	39
2.1. Troisième vérification périodique des prototypes nationaux du kilogramme	39
2.2. Balance à suspensions flexibles	43
2.3. Études courantes	44
2.4. Gravimétrie : détermination absolue du gradient vertical de la pesanteur	44
Publications, conférences et voyages : section des masses et grandeurs apparentées	45

3. Temps	46
3.1. Établissement du TAI et de l'UTC	46
3.2. Études sur les échelles de temps	47
3.3. Liaisons horaires	47
3.4. Autres activités	48
Publications, conférences voyages : section du temps	49
4. Électricité	51
4.1. Conservation de V_{76-B1}	51
4.2. Diviseur de tension permettant le passage de 10 V à 1,018 V	52
4.3. Effet Hall quantique	52
4.4. Préparation des comparaisons internationales de 1990 pour les résistances étalons de 1 Ω et 10 k Ω	53
4.5. Activités relatives aux travaux du Comité consultatif d'électricité	53
4.6. Changements pour les étalons de référence de f.é.m. et de résistance du BIPM	54
4.7. Étude de l'effet Josephson dans $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$	54
4.8. Études courantes	54
Publications, conférences et voyages : section d'électricité	55
5. Radiométrie, photométrie	55
5.1. Radiométrie	55
5.2. Photométrie	57
5.3. Études courantes	57
Publication, conférences et voyages : section de radiométrie et photométrie.	57
6. Rayonnements ionisants	58
6.1. Dosimétrie	58
6.1.1. Rayons X	58
6.1.2. Rayonnement gamma du ^{60}Co	58
6.1.3. Mesures neutroniques	60
6.2. Radionucléides	61
6.2.1. Mesures d'activité	61
6.2.2. Statistiques de comptage	62
Publications, conférences et voyages : section des rayonnements ionisants ..	64
7. Publications	66
7.1. Publications du BIPM	66
7.2. Metrologia	66
7.3. Publications extérieures	67
8. Certificats et notes d'étude	68
IV. Activités et relations extérieures	70
1. Travaux en liaison avec des organismes internationaux et nationaux	70
2. Réunions au BIPM	71
3. Visites et stages au BIPM	71
3.1. Chercheurs associés	71
3.2. Visiteurs	72
4. Exposés au BIPM	73
V. Comptes	75

ANNEXE

Échelle internationale de température de 1990 (EIT-90)	T 1
English text of the Report	
The BIPM and the Convention du Mètre	83
Members of the Comité International des Poids et Mesures	85
Personnel of the Bureau International des Poids et Mesures	87
Agenda	90
Proceedings of the sessions, 26, 27 and 28 September 1989	91
1. Opening of the meeting; quorum; agenda	91
2. Report of the Secretary of the CIPM	92
3. Report on the activity of the bureau of the CIPM	93
4. Consultative Committees	97
4.1. CCDS	97
4.2. CCT	99
4.3. CCEMRI	101
4.4. Future meetings	102
5. Work of the BIPM: Report of the Director	102
6. Third verification of national prototypes of the kilogram	104
7. Proposal for redecoration of the Caveau des Prototypes	105
8. Financial and administrative Affairs	106
9. Metrologia	109
10. Other business	110
10.1. Changes in membership of the CIPM	110
10.2. New Secretary for the CIPM	110
10.3. Preparation of the 19th Conférence Générale	111
10.4. Next CIPM meetings	111
Recommendations adopted by the CIPM during its 78th meeting	112
1 (CI-1989): Synchronization of UTC(k) and UTC	112
2 (CI-1989): Improvement of the frequency accuracy of primary standards ..	112
3 (CI-1989): Reference coordinates of antennas	113
4 (CI-1989): Installation of clocks at the BIPM	114
5 (CI-1989): The International Temperature Scale of 1990	115
Director's Report on the activity and management of the Bureau International des Poids et Mesures (October 1988 — September 1989)	117
I. Staff. — Promotions and changes of grade (J.-M. Chartier, M. Boutillon, D. Reyman, B. Bodson, A. Montbrun). Appointments (B. Perent, A. and E. Dominguez, I. and C. Neves dos Santos, J. Labot, C. Dias Nunes, R. Goebel). Departures (M. Montbrun, M. de Carvalho, J. Gaillard, B. Picaud, A. Allisy, C.C. Speake). Research Fellow (A. Satrapinski)	117

II. Buildings. — Observatory (partial rewiring, redecoration of one office, continuation of repairs to the roof, installation of a workshop). Grand Pavillon (redecoration of four offices, extension of the canteen, installation of a changing room). Nouveau Pavillon (completion of the installation and decoration of the buildings). Ionizing radiation building (redecoration of an office). Outbuildings and park (completion of the replacement of trees, landscaping around the Nouveau Pavillon, replacement of two gateways, construction of an outbuilding).	118
III. Scientific work	119
Introduction	119
Publications, lectures and travel not related to a particular BIPM section.	123
1. Length	124
1.1. Classical length measurement	124
1.2. Lasers	124
1.2.1. Iodine-stabilized He-Ne lasers using internal cells at $\lambda = 633$ nm.	124
1.2.2. Iodine-stabilized He-Ne lasers using internal or external cells at $\lambda = 612$ nm	125
1.2.3. Argon lasers: Ar^+ at $\lambda = 502$ nm and at $\lambda = 515$ nm	125
1.2.4. Methane-stabilized He-Ne lasers using internal cells at $\lambda = 3,39$ μm	126
1.2.5. Iodine-stabilized He-Ne lasers using external cells at $\lambda = 543$ nm.	126
Publications, lectures and travel: Length section	127
2. Mass and related quantities	128
2.1. The third periodic verification of national prototypes of the kilogram	128
2.2. The flexure-strip balance	132
2.3. Calibration and other work	133
2.4. Gravimetry: absolute determination of the vertical gradient of gravity.	134
Publications, lectures and travel: Mass section	134
3. Time	135
3.1. Establishment of TAI and UTC	135
3.2. Time-scale studies	136
3.3. Time links	136
3.4. Other activities	138
Publications, lectures and travel: Time section	138
4. Electricity	140
4.1. Maintenance of $V_{76\text{-BI}}$	140
4.2. Comparator for transfer from 1,018 V to 10 V	141
4.3. Quantum Hall effect	141
4.4. Preparations for the 1990 international comparison of 1 Ω and 10 k Ω resistance standards	142
4.5. Activities related to the work of the Comité Consultatif d'Électricité	142
4.6. Changes in the BIPM reference standards of emf and resistance	142
4.7. Study of the Josephson effect in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$	143
4.8. Routine calibrations	143
Publications, lectures and travel: Electricity section	143
5. Radiometry, photometry	144
5.1. Radiometry	144
5.2. Photometry	145

5.3. Routine work	146
Publication, lectures and travel: Radiometry, photometry section	146
6. Ionizing Radiations	147
6.1. Dosimetry	147
6.1.1. X rays	147
6.1.2. ⁶⁰ Co gamma rays	147
6.1.3. Neutron measurements	148
6.2. Radionuclides	149
6.2.1. Activity measurements	149
6.2.2. Counting statistics	151
Publications, lectures and travel: Ionizing Radiations section	152
7. Publications	154
7.1. BIPM Publications	154
7.2. Metrologia	154
7.3. External Publications	155
8. Certificates and Notes of Study	155
IV. Activities related to external Organizations	156
1. Work in association with national and international organizations	156
2. Meetings at the BIPM	156
3. Guest workers and visitors to the BIPM	157
3.1. Guest workers	157
3.2. Visitors	157
4. Presentations at the BIPM	159
V. Accounts	160

APPENDIX

The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90)	T 23
---	-------------
