

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES



COMITÉ INTERNATIONAL
DES
POIDS ET MESURES

Procès-verbaux de la 80^e session
Report of the 80th Meeting

1991

TOME 59

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

ISSN 0370-2596
ISBN 92-822-2121-0

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

1. 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
AIST	Agency of Industrial Science and Technology, Tokyo (Japon)
ASE/ESA	Agence spatiale européenne/European Space Agency
BARC	Bhabha Atomic Research Centre, Trombay (Inde)
BCM/CBNM	Bureau central de mesures nucléaires/Central Bureau for Nuclear Measurements, CEC-JRC, Geel (Belgique)
BEV	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Vienne (Autriche)
BIPM	Bureau international des poids et mesures
BRGM	Bureau de recherches géologiques et minières, Orléans (France)
CBNM	<i>voir</i> BCMN
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
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
CEI/IEC	Commission électrotechnique internationale/International Electrotechnical Commission
CENS	Centre d'études nucléaires, Saclay (France)
CERN	Conseil européen pour la recherche nucléaire, Genève (Suisse)
CGPM	Conférence générale des poids et mesures
CIEMAT	Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas, Madrid (Espagne)
CIPM	Comité international des poids et mesures
CNAM	Conservatoire national des arts et métiers, Paris (France)
CNES	Centre national d'études spatiales, Toulouse (France)

CODATA	Committee on Data for Science and Technology
CPEM	Conference on Precision Electromagnetic Measurements
CRL	Communications Research Laboratory, Tokyo (Japon)
CSIR	(ex NPRL) Council for Scientific and Industrial Research, Division of Production Technology, Pretoria (Afrique du Sud)
CSIRO	(ex NML) Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Division of Applied Physics, Lindfield (Australie)
DFM	Danish Institute for Fundamental Metrology, Lyngby (Danemark)
DSIR	Department of Scientific and Industrial Research, Lower Hutt (Nouvelle-Zélande)
EFTF	European Frequency and Time Forum
ENEA	Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Rome (Italie)
ESA	<i>voir</i> ASE
ETL	Electrotechnical Laboratory, Tsukuba (Japon)
EUROMET	European Collaboration on Measurement Standards
EUTELSAT	European Telecommunications Satellite Organization
GRGS	Groupe de recherches de géodésie spatiale
IAEA	<i>voir</i> AIEA
IAU	<i>voir</i> UAI
ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurements
IEA	Instytut Energii Atomowej, Swierk (Pologne)
IEC	<i>voir</i> CEI
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IEN	Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin (Italie)
IERS	Service international de la rotation terrestre/International Earth Rotation Service
IGM	Inspection générale de la métrologie, Bruxelles (Belgique)
ILAC	International Laboratory Accreditation Conference
IMGC	Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin (Italie)
INM	Institut national de métrologie, Paris (France)
INM	Institutul National de Metrologie, Bucarest (Roumanie)
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia Normalização e Qualidade Industrial, Rio de Janeiro (Brésil)
INPL	National Physical Laboratory of Israël, Jérusalem (Israël)
IRD	Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Rio de Janeiro (Brésil)
ISO-REMCO	Organisation internationale de normalisation, Comité pour les matériaux de référence/International Organization for Standardization, Committee on Reference Materials

IUGG	<i>voir</i> UGGI
IUPAC	<i>voir</i> UIPPA
JILA	Joint Institute for Laboratory Astrophysics, Boulder (É.-U. d'Amérique)
KRISS	(ex KSRI) Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon (Rép. de Corée)
*KSRI	Korea Standards Research Institute, Taejon (Rép. de Corée), <i>voir</i> KRISS
LCIE	Laboratoire central des industries électriques, Fontenay-aux-Roses (France)
LEP	Laboratoire d'électronique Philips, Limeil-Brévannes (France)
LHA	Laboratoire de l'horloge atomique, Orsay (France)
*LMRI	Laboratoire de métrologie des rayonnements ionisants, Saclay (France), <i>voir</i> LPRI
LNE	Laboratoire national d'essais, Orsay et Paris (France)
LNETI	Laboratório Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, Lisbonne (Portugal)
LPRI	(ex LMRI) Laboratoire primaire des rayonnements ionisants, Saclay (France)
LPTF	Laboratoire primaire du temps et des fréquences, Paris (France)
LSRRI	Leningrad Scientific Research Radiotechnical Institute, Saint-Petersbourg (Fédération de Russie)
NAC	National Accelerator Centre, Faure (Afrique du Sud)
*NBS	National Bureau of Standards, Gaithersburg (É.-U. d'Amérique), <i>voir</i> NIST
NIM	Institut national de métrologie/National Institute of Metrology, Beijing (Rép. pop. de Chine)
NIRH	National Institute of Radiation Hygiene, Brønshøj (Danemark)
NIST	(ex NBS) National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg (É.-U. d'Amérique)
NML	National Measurement Laboratory, Lindfield (Australie), <i>voir</i> CSIRO
NPL	National Physical Laboratory, Teddington (Royaume-Uni)
*NPRL	National Physical Research Laboratory, Pretoria (Afrique du Sud), <i>voir</i> CSIR
NRC	Conseil national de recherches du Canada/National Research Council, Ottawa (Canada)
NRLM	National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba (Japon)
NSIS	Norwegian Statens Institutt for Strålehygiene, Østerås (Norvège)
OCA	Observatoire de la Côte d'Azur, Grasse (France)
OFM	Office fédéral de métrologie, Wabern (Suisse)

* Les laboratoires ou organisations marqués d'un astérique n'existent plus ou figurent sous un autre sigle.

OIML	Organisation internationale de métrologie légale
OMH	Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest (Hongrie)
OP	Observatoire de Paris (France)
PKNM	Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakości, Varsovie (Pologne)
PSPKR	Pusat Standardisasi dan Penelitian Keselamatan Radiasi, Jakarta (Indonésie)
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig (Allemagne)
PTTI	Precise Time and Time Interval Applications and Planning Meeting
SCPRI	Service central de protection contre les rayonnements ionisants, Le Vésinet (France)
SP	Statens Provningsanstalt, Borås (Suède)
SSDL	Secondary Standards Dosimetry Laboratories
TAG	Task Advisory Group
TAO	Tokyo Astronomical Observatory, Tokyo (Japon)
TUG	Technical University, Graz (Autriche)
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
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
USNO	U.S. Naval Observatory, Washington (É.-U. d'Amérique)
UVVVR	Ústav pro výzkum, výrobu a využití radioisotopu, Prague (Tchécoslovaquie)
VNIIFTRI	All Union Research Institute for Physical Technical and Radio-Technical Measurements, Moscou (Fédération de Russie)
VNIIM	Institut de métrologie D.I. Mendéléev, Saint-Pétersbourg / D.I. Mendelejev Institute for Metrology, Saint-Petersburg (Fédération de Russie)
WGRS	Working Group on Reference Systems

2. Sigles des termes scientifiques

Acronyms for scientific terms

ALGOS	Algorithme pour établir le TAI/Time-scale algorithm for TAI, BIPM
AT1	Time-scale algorithm, NIST
CCC	Comparateur cryogénique de courant/Cryogenic current comparator
EIPT-68/IPTS-68	Échelle internationale pratique de température de 1968/International Practical Temperature Scale of 1968

EIT-90/ITS-90	Échelle internationale de température de 1990/International Temperature Scale of 1990
GLONASS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
ITS-90	<i>voir</i> EIT-90
LASSO	Laser Synchronization from Stationary Orbit
QHR	<i>voir</i> RHQ
RQH/QHR	Résistance de Hall quantifiée/Quantum Hall resistance
SA	Selective availability/Accès sélectif
SI	Système international d'unités/International System of Units
SIR	Système international de référence pour les mesures d'activité d'émetteurs de rayons gamma/International Reference System
SQUID	Superconducting Quantum Interference Device
TAI	Temps atomique international/International Atomic Time
TT	Temps terrestre/Terrestrial Time
UTC	Temps universel coordonné/Coordinated Universal Time
VLBI	Very Long Baseline Interferometry



LE BIPM

ET LA CONVENTION DU MÈTRE

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

Le Bureau international a son siège près de Paris, dans le domaine (43 520 m²) du Pavillon de Breteuil (Parc de Saint-Cloud) mis à sa disposition par le Gouvernement français ; son entretien est assuré à frais communs par les États membres de la Convention du Mètre (1).

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

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

Le Bureau international fonctionne sous la surveillance exclusive du Comité international des poids et mesures (CIPM), placé lui-même sous l'autorité de la Conférence générale des poids et mesures (CGPM).

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

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

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

Limitées à l'origine aux mesures de longueur et de masse et aux études métrologiques en relation avec ces grandeurs, les activités du Bureau international ont été étendues aux étalons de mesure électriques (1927), photométriques (1937), des rayonnements ionisants (1960) et aux échelles de temps (1988). Dans ce but, un agrandissement des premiers laboratoires construits en 1876-1878 a eu lieu en 1929 ; de nouveaux bâtiments ont été construits en 1963-1964 pour les laboratoires de la section des rayonnements ionisants, en 1984 pour le travail sur les lasers et en 1988 a été inauguré un bâtiment pour la bibliothèque et des bureaux.

(1) Au 31 décembre 1991, quarante-sept États sont membres de cette Convention : Afrique du Sud, Allemagne, Amérique (É.-U. d'), Argentine (Rép.), Australie, Autriche, Belgique, Brésil, Bulgarie, Cameroun, Canada, Chili, Chine (Rép. pop. de), Corée (Rép. de), Corée (Rép. pop. dém. de), Danemark, Dominicaine (Rép.), Égypte, Espagne, Finlande, France, Hongrie, Inde, Indonésie, Iran, Irlande, Israël, Italie, Japon, Mexique, Norvège, Nouvelle-Zélande, Pakistan, Pays-Bas, Pologne, Portugal, Roumanie, Royaume-Uni, Suède, Suisse, Tchécoslovaquie, Thaïlande, Turquie, U.R.S.S., Uruguay, Venezuela, Yougoslavie.

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

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

Les comités consultatifs ont un règlement commun (*BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 31, 1963, p. 97). Chaque comité consultatif, dont la présidence est généralement confiée à un membre du Comité international, est composé de délégués de chacun des grands laboratoires de métrologie et des instituts spécialisés dont la liste est établie par le Comité international, de membres individuels désignés également par le Comité international et d'un représentant du Bureau international. Ces comités tiennent leurs sessions à des intervalles irréguliers ; ils sont actuellement au nombre de huit :

1. Le Comité consultatif d'électricité (CCE), créé en 1927.
2. Le Comité consultatif de photométrie et radiométrie (CCPR), nouveau nom donné en 1971 au Comité consultatif de photométrie (CCP) créé en 1933 (de 1930 à 1933 le Comité précédent (CCE) s'est occupé des questions de photométrie).
3. Le Comité consultatif de thermométrie (CCT), créé en 1937.
4. Le Comité consultatif pour la définition du mètre (CCDM), créé en 1952.
5. Le Comité consultatif pour la définition de la seconde (CCDS), créé en 1956.
6. Le Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CEMRI), 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 1991

Président

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

Secrétaire

2. J. KOVALEVSKY, astronome à l'Observatoire de la Côte d'Azur, avenue N. Copernic, 06130 Grasse, France.

Membres

3. W. R. BLEVIN, directeur de la Division de physique appliquée, CSIRO, P.O. Box 218, Bradfield Road, Lindfield NSW 2070, Australie.
4. J. DE BOER, Institut de physique, Université d'Amsterdam, Valckenierstraat 65, Amsterdam-C, Pays-Bas.
5. A. BRAY, Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Strada delle Cacce 73, 10135 Turin, Italie.
6. P. B. CLAPHAM, directeur du National Physical Laboratory, Teddington TW11 0LW, Royaume-Uni.
7. K. IZUKA, conseiller spécial, Agency of Industrial Science and Technology, 3-1 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100, Japon.
8. H. H. JENSEN, professeur honoraire, H. C. Oersted Institutet, Universitetets Fysiske Laboratorium, Universitetsparken 5, 2100 Copenhague, Danemark. *Secrétaire-adjoint.*
9. S. K. JOSHI, directeur général, Council of Scientific and Industrial Research, Anusandhan Bhavan, Rafi Marg, New Delhi 110001, Inde.
10. J. W. LYONS, directeur du National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899, É.-U. d'Amérique.

11. T. PLEBANSKI, président du Committee on Metrology and Scientific Instrumentation, Polish Academy of Sciences, Palac Kultury i Nauki, Office No. 2321, P.O. Box 24, 00901 Varsovie, Pologne.
12. H. PRESTON-THOMAS, Institut des étalons nationaux de mesure, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa K1A 0S1, Canada. *Vice-président*.
13. V. I. POUSTOVOIT, vice-président, GOSSTANDART, Leninski prosp. 9b, 117049 Moscou, URSS.
14. O. SALA, professeur, Departamento de Fisica Nucleare, Universitaria Armando Salles de Oliveria, Caixa Postal 20516, 01498 São Paulo, Brésil.
15. K. SIEGBAHN, Institut de physique de l'Université d'Uppsala, Box 530, 75121 Uppsala 1, Suède.
16. J. SKÁKALA, professeur à l'Université technique slovaque, Nám. Slobody 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. E. AMBLER, The Belvedere (No. 626), 1600 N. Oak Street, Arlington, VA 22209.
2. L. M. BRANSCOMB, Box 309, Concord, Massachusetts 01742.
3. J. V. DUNWORTH, The Warbuck, Kirk Michael, Isle of Man.
4. L. E. HOWLETT, 1702-71 Somerset Street W, Ottawa, Ontario K2P 2G2*.
5. M. KERSTEN, Am Hohen Tore 4A, 3300 Braunschweig.
6. F. J. LEHANY, 5 Gladstone Avenue, Hunters Hill, NSW 2110.

* Le BIPM a appris avec un vif regret le décès de L. E. Howlett survenu le 21 janvier 1992.

PERSONNEL
DU
BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
au 1^{er} janvier 1992

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

MM. R. S. Davis ⁽¹⁾, A. Picard
Mme J. Coarasa, M. J. Hostache

Échelles de temps : Mme C. Thomas

MM. J. Azoubib, W. Lewandowski, G. Petit
Mlle H. Konaté, M. P. Moussay, Mme M. Thomas
M. B. Guinot ⁽²⁾

Électricité : M. T. J. Witt

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

Radiométrie et photométrie : M. J. Bonheure

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

Rayonnements ionisants : M. J. W. Müller

Mme M. Boutillon, MM. P. Bréonce, V. D. Huynh,
MM. G. Ratel, Z. Yin ⁽¹⁾
MM. D. Carnet, C. Colas, L. Lafaye, C. Veyradier

Secrétariat : Mlle J. Monprofit

Mmes D. Le Coz, D. Müller ⁽³⁾
Mmes L. Delfour, M. Petit

⁽¹⁾ Chercheur associé.

⁽²⁾ Service spécial, à temps partiel.

⁽³⁾ Détachée à la Section des rayonnements ionisants.

Metrologia : M. D. A. Blackburn

Mme C. Lawrence

Finance, administration : Mlle B. Perent

Mme M.-J. Martin

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

Femmes de ménage : Mmes A. Perez, R. Prieto, 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,

MM. A. Gama, J. Leroux, A. Montbrun, D. Rotrou

MM. E. Dominguez ^(*), C. Neves ^(*)

Directeurs honoraires : MM. Ch. Volet, J. Terrien ^(*), P. Giacomo

Métrologiste principal honoraire : M. G. Leclerc

Métrologiste honoraire : M. H. Moreau

^(*) Également gardiens.

^(*) Le BIPM a appris avec un vif regret le décès de J. Terrien survenu le 3 mars 1992.

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 Comité (octobre 1990 - septembre 1991).
 4. Discussion sur des points à l'ordre du jour de la 19^e CGPM.
 5. Comités consultatifs :
 - rapports des présidents des comités consultatifs à la CGPM,
 - rapports du CCEMRI et du CCM,
 - présidence du CCE,
 - réunions futures des comités consultatifs.
 6. Travaux du BIPM : Rapport du directeur.
 7. La métrologie en chimie, rapport du groupe de travail *ad hoc*.
 8. Assurance maladie pour le personnel du BIPM.
 9. Questions administratives et financières
 - « Rapport aux Gouvernements » pour 1990,
 - quitus pour 1990,
 - exercice 1991 en cours.
 10. Questions diverses.
-

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

80^e session

(26 septembre - 2 octobre 1991)

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES TENUES À SÈVRES ET À PARIS

Présidence de M. D. Kind

Le Comité international des poids et mesures (CIPM) s'est réuni pour sa 80^e session le jeudi 26, le vendredi 27 septembre et le mercredi 2 octobre 1991. Il a tenu quatre séances, les trois premières au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, et la quatrième au Centre de conférences internationales à Paris.

Étaient présents : MM. BLEVIN, BRAY, CLAPHAM, DE BOER (le 2 octobre), IIZUKA, JENSEN, KIND, KOVALEVSKY, LYONS, PLEBANSKI, POUSTOVOIT, PRESTON-THOMAS, SIEGBAHN, SKÁKALA, STEINBERG, WANG, QUINN (directeur du BIPM).

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

Excusés : MM. DE BOER (les 26 et 27 septembre), JOSHI et SALA.

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

Le président ouvre la 80^e session du Comité international des poids et mesures et accueille les membres présents, en particulier les deux nouveaux membres récemment élus, MM. Clapham et Poustovoit, ainsi que les invités. Il note que le quorum est atteint, conformément à l'article 12 de la Convention du Mètre.

Il remercie le directeur et le personnel du Bureau international des poids et mesures (BIPM) pour la préparation de ce comité et pour celle de la 19^e Conférence générale des poids et mesures (CGPM).

L'ordre du jour est adopté, avec quelques changements dans le déroulement des questions.

Le président donne ensuite la parole au secrétaire du CIPM pour la présentation de son rapport.

2. Rapport du secrétaire du CIPM (octobre 1990 - septembre 1991)

M. Kovalevsky, secrétaire du CIPM, présente son rapport.

États membres de la Convention du Mètre

Le Gouvernement français nous a informé de l'adhésion du Gouvernement de la Nouvelle-Zélande à la Convention du Mètre en mai 1991. La contribution de cet État pour 1991 (0,49 % de la dotation totale) ainsi que le droit d'entrée, égal à la contribution de 1991, ont été perçus par le BIPM. La République démocratique allemande, qui a fusionné avec la République fédérale d'Allemagne en octobre 1990, ne figure plus sur la liste des États membres de la Convention du Mètre, qui comporte donc toujours quarante-sept États.

Membres du CIPM

Les sièges laissés vacants par la démission de M. P. Dean et de M. A. I. Mekhannikov sont maintenant pourvus par l'élection de M. P. B. Clapham (directeur du NPL, Teddington) et de M. V. I. Poustovoit (vice-président du GOSSTANDART, Moscou). Il n'y a donc pas actuellement de siège vacant au CIPM.

Réunions des comités consultatifs et des groupes de travail

— Le CCM a tenu sa quatrième session les 30 et 31 mai 1991 ; celle-ci a été précédée des réunions de groupes de travail les 28 et 29 mai.

— Le CCEMRI a tenu sa douzième session le 24 mai 1991 ; celle-ci a été précédée des réunions des trois sections, du 21 au 23 mai.

Toutes ces réunions ont eu lieu au Pavillon de Breteuil.

Indications financières

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

Comptes	1988	1989	1990	1991
I. — Fonds ordinaires ..	13 743 538,35	11 685 088,87	10 924 171,95	11 681 069,08
II. — Caisse de retraites	13 160 434,56	14 369 021,18	14 002 735,45	14 546 368,84
III. — Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique.	214 847,73	78 764,20	75 835,04	75 627,81
IV. — Caisse de prêts sociaux	230 719,45	260 806,64	283 545,36	302 431,48
V. — Réserve pour les bâtiments	1 359 042,99	83 232,12	0,00	0,00
Total	28 708 583,08	26 476 913,01	25 286 287,80	26 605 497,21

À la demande du président, le secrétaire présente ensuite son rapport sur l'activité du bureau du Comité.

3. Rapport sur l'activité du bureau du Comité
(octobre 1990 - septembre 1991)

M. Kovalevsky, secrétaire du CIPM, présente son rapport.

Le bureau du Comité s'est réuni trois fois depuis la dernière session du CIPM, deux fois au Pavillon de Breteuil et une fois à Berlin. L'essentiel des discussions portait sur les points suivants.

19^e Conférence générale

Deux documents sont toujours envoyés aux États membres avant chaque Conférence générale : ce sont la *Convocation* et le *Programme de travail et budget du Bureau international des poids et mesures*. Il convient aussi, le cas échéant, de diffuser les propositions officielles faites par des États membres de la Convention du Mètre, qui parviennent au BIPM au moins six mois avant la Conférence générale. Aucune proposition de ce type n'a été reçue par le BIPM pour la 19^e Conférence générale.

La *Convocation* doit être envoyée neuf mois avant la Conférence générale ; le texte doit donc en être discuté et approuvé par le CIPM au cours de la session de l'année qui précède la Conférence générale. Le *Programme de travail et budget* est distribué au mois de mars, soit

six mois avant la Conférence générale. Ce document est examiné et approuvé par le bureau du Comité. Pour la 19^e Conférence générale, le directeur du BIPM a présenté un bref résumé du *Programme de travail et budget* à la session de 1990 du CIPM, qui a été publié dans les *Procès-verbaux* du CIPM.

À ces documents envoyés à l'avance viennent s'ajouter les rapports du président du CIPM et des présidents des comités consultatifs qui sont distribués à la Conférence. Le bureau examine les projets de rapports, en portant une attention toute particulière au rapport du président du CIPM.

Le bureau du Comité examine aussi les questions pratiques relatives à la préparation de la Conférence. Le bureau a entendu le compte rendu des discussions que le directeur du BIPM a eues avec le ministère des Affaires étrangères de France au sujet de la représentation du Gouvernement français à la séance d'ouverture de la Conférence générale. Le secrétaire du CIPM a rendu compte de son côté des propositions faites par l'Académie des Sciences pour la présidence de la Conférence. Il est convenu que le président de l'Académie, le professeur Jean Hamburger, présidera la première séance de la Conférence et qu'il chargera le professeur André Maréchal (membre du CIPM de 1964 à 1977) de le représenter lors des séances suivantes. Le ministre des Affaires étrangères sera à New York durant la semaine de la Conférence pour assister à l'assemblée générale des Nations unies, et il a demandé à M. H. Curien, ministre de la Recherche et de la Technologie, d'ouvrir la Conférence.

Candidatures au CIPM

Il a été discuté de candidatures éventuelles au CIPM, afin qu'en permanence les noms d'un ou deux candidats puissent être proposés en cas de vacance d'un siège. Deux nouveaux membres ont été élus au cours de l'année (voir le Rapport du secrétaire du CIPM).

La métrologie en chimie

Le directeur du BIPM a présenté les conclusions de la réunion du groupe de travail *ad hoc* que le CIPM a établi en 1990 pour le conseiller sur l'opportunité pour le BIPM de jouer un rôle effectif dans la métrologie en chimie. Après en avoir discuté, le bureau a exprimé son accord sur les propositions de ce groupe.

Assurance maladie et Statut du personnel du BIPM

Le bureau du Comité a examiné deux propositions de modification du régime d'assurance maladie et du Statut du personnel du BIPM.

i) *Assurance maladie du personnel du BIPM*

Les membres du personnel du BIPM sont actuellement affiliés, pour eux-mêmes et les personnes à leur charge, à la Sécurité sociale française et à une mutuelle pour l'assurance maladie (de même que pour l'assurance accidents du travail, incapacité et décès), grâce à un arrangement particulier avec le Gouvernement français. Selon ces dispositions, le BIPM verse à la Sécurité sociale et à la mutuelle une cotisation égale à environ 12,2 % de la masse salariale et le personnel verse pour sa part environ 7,4 % du salaire. La cotisation totale représente environ 19,6 % de la masse salariale, soit environ 2 000 000 francs-or, c'est-à-dire à peu près 10 % du budget du BIPM en 1991.

Après avoir été informé par la Sécurité sociale, en octobre 1990, d'un projet d'augmentation des cotisations en 1991, le directeur a étudié la possibilité d'assurer le personnel auprès d'une compagnie d'assurance privée pour l'assurance maladie, accidents du travail, incapacité et décès. Il est apparu que nombre d'autres organisations internationales en France ont déjà adopté cette solution. L'Agence spatiale européenne (ASE) assure son personnel auprès d'une compagnie d'assurance privée, en France et à l'étranger, depuis plus de vingt ans. Cette assurance lui a donné entière satisfaction, à un coût inférieur de plus de moitié à celui de la Sécurité sociale. Après avoir pris conseil auprès de l'ASE et de l'European Telecommunications Satellite Organization (EUTELSAT), une autre organisation internationale de plus petite taille ayant son siège à Paris, le directeur a ouvert les discussions avec la société de courtage qui assure l'ASE et EUTELSAT afin d'obtenir une proposition pour le BIPM. Les conseils d'EUTELSAT ont été précieux parce que cette organisation, qui était par le passé affiliée à la Sécurité sociale dans des conditions similaires à celles dont bénéficie le BIPM, a décidé en 1986 de s'assurer auprès d'une compagnie privée. C'est une société belge de courtage international en assurances, Van Breda and Co., d'Anvers, qui se charge d'assurer ces deux organisations. Les prestations offertes par cette compagnie ont donné entière satisfaction à l'ASE et à EUTELSAT. L'expérience de ces deux organisations, jointe à celle d'un grand nombre d'organisations internationales assurées par l'entremise de Van Breda, nous donne confiance dans cette compagnie.

La proposition établie par Van Breda pour les risques maladie, accidents du travail, incapacité et décès des fonctionnaires du BIPM et de leur famille à charge a été effectuée sur la base d'une couverture égale ou supérieure, pour l'essentiel, à celle de la Sécurité sociale et de la mutuelle, pour un coût total de 7,7 % de la masse salariale du BIPM (comparé au coût total actuel de 19,6 %).

Le directeur, avec l'accord unanime de la Commission du Statut du personnel, propose d'accepter la proposition établie par Van Breda. Le bureau est favorable à cette proposition et la recommande au CIPM.

ii) *Modifications au Statut du personnel : liste des titres des fonctionnaires du BIPM, assurance maladie, congés*

Le bureau a discuté des modifications que le directeur propose d'apporter à la liste des titres des fonctionnaires figurant dans le Statut du personnel du BIPM. Ces modifications sont proposées avec l'accord de la Commission du Statut du personnel ; elles sont destinées à mettre à jour une liste qui, dans sa forme actuelle, ne reflète plus les qualifications ou les tâches effectuées par une partie non négligeable du personnel. Le bureau a aussi discuté des changements mineurs au Statut qui résulteront du transfert de l'assurance maladie de la Sécurité sociale à la compagnie Van Breda, si ce transfert est accepté, ainsi que d'un changement dans le texte relatif aux congés liés à l'ancienneté. Le bureau approuve les changements proposés.

Le président note que certains de ces points, en particulier les questions relatives à l'assurance maladie et aux titres des fonctionnaires, seront discutés plus en détail au cours de cette session.

4. Discussion sur des points à l'ordre du jour de la 19^e Conférence générale

M. Quinn présente l'ordre du jour provisoire de la 19^e Conférence générale et les questions relatives à l'organisation de la Conférence, dont certaines ont déjà été mentionnées dans le rapport du secrétaire sur les activités du bureau du Comité.

Dotation

Le président rappelle aux membres du CIPM qu'un groupe de travail *ad hoc* sur la dotation du BIPM est établi peu après l'ouverture de la Conférence pour préparer le vote de la dotation, qui intervient généralement le dernier jour de la Conférence.

M. Quinn remarque qu'il est nécessaire de tenir compte, pour la composition de ce groupe de travail, de l'importance des contributions des États et d'un certain équilibre géographique. Il ajoute qu'il est aussi souhaitable d'inviter les États qui ont émis des réserves sur la dotation à participer à ce groupe de travail. Il propose de prendre comme base de départ la composition du groupe de travail analogue établi lors de la 18^e Conférence générale, mais avec deux ou trois changements. Après discussion, il est convenu de supprimer de ce groupe de travail le Brésil, la Bulgarie et la Roumanie et de proposer la liste suivante à la Conférence générale : Allemagne, Amérique (É.-U. d'), Canada, Chine (Rép. pop. de), Danemark, Espagne, France, Japon, Mexique, Royaume-Uni, Tchécoslovaquie et URSS.

M. Quinn fait aussi remarquer que, si l'on applique les dispositions habituelles, l'adhésion de la Nouvelle-Zélande à la Convention du Mètre

aura pour incidence d'augmenter de 0,49 % la dotation totale. Un court document a été préparé à ce sujet pour la Conférence générale.

Le président rappelle aux membres du CIPM qu'une augmentation annuelle de 7 % de la dotation a été demandée pour la période 1993-1996, ainsi qu'une augmentation spéciale de 625 000 francs-or pour le travail effectué par la section du temps. Il demande aux membres du Comité d'indiquer quelle est la position de leur Gouvernement respectif vis-à-vis de cette proposition. Les Gouvernements des É.-U. d'Amérique, d'Australie, du Canada, du Royaume-Uni, et de la Tchécoslovaquie sont défavorables à une augmentation de la dotation du BIPM en termes réels.

Iran

M. Quinn informe les membres du Comité qu'il a reçu en juillet 1991 un télex d'Iran exprimant le souhait de ce pays de « rétablir sa participation à la Convention du Mètre ».

Une discussion s'ensuit sur le problème général des États membres qui n'ont pas versé leur contribution depuis de nombreuses années, et il est demandé au directeur du BIPM d'aborder ce problème avec le ministère des Affaires étrangères de France.

5. Comités consultatifs

Depuis la dernière session du CIPM, le CCEMRI a tenu sa douzième session et le CCM a tenu sa quatrième session. Il a été discuté des rapports des présidents des comités consultatifs à la Conférence générale, des comptes rendus détaillés des réunions du CCEMRI et du CCM, de la nomination d'un président pour le CCE et des dates des prochaines réunions des comités consultatifs.

5.1. Rapports des présidents des comités consultatifs à la Conférence générale

Il est convenu que les rapports des comités consultatifs à la Conférence générale seront présentés par les personnes suivantes :

CCDM	M. Kind,
CCM	M. Bray,
CCDS	M. Kovalevsky,
CCE	M. Skákala,
CCT	M. Preston-Thomas,
CCPR	M. Blevin,
CCEMRI	M. Quinn (en remplacement de M. Sala, absent),
CCU	M. de Boer.

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

En l'absence de M. Sala, M. Quinn présente le rapport de la douzième session du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI) qui s'est tenue en mai 1991.

Il fait remarquer que, comme l'a demandé le CIPM, les trois sections du CCEMRI se sont réunies simultanément au cours de la même semaine, juste avant la session du CCEMRI. Quatre experts ont été invités à se joindre au CCEMRI, augmentant ainsi le nombre de membres de ce comité. Leur présence s'est avérée fort utile.

Les rapports des trois sections ont été présentés : I — Rayons X et γ , électrons ; II — Mesure des radionucléides ; III — Mesures neutroniques. La section I a passé en revue le travail sur les étalons de kerma dans l'air, les calorimètres à eau et les rapports des pouvoirs de ralentissement dans le graphite et dans l'air. La section II a présenté son rapport sur la comparaison restreinte des mesures de l'activité massique du ^{75}Se , l'extension du Système international de référence au rayonnement bêta et aux photons de faible énergie, et les nouveaux résultats acquis dans le domaine des statistiques de comptage. La section III a décrit les travaux sur la spectrométrie neutronique à l'aide d'un scintillateur organique, sur les mesures de fluence des neutrons rapides et sur les besoins futurs en dosimétrie neutronique. Des membres du personnel du BIPM ont présenté certains de leurs travaux récents. Le CCEMRI a adopté quatre recommandations relatives à de nouvelles études, en vue de leur présentation au CIPM (*voir* ci-dessous). Des améliorations pour l'organisation de la prochaine session du CCEMRI et de ses sections ont été suggérées.

Les recommandations du CCEMRI sont présentées au CIPM. La Recommandation R 1 (1991), sur l'extension des étalons au rayonnement γ du ^{137}Cs , et la Recommandation R 2 (1991), sur les mesures en curiethérapie, sont approuvées par le CIPM. Le CIPM prend note de la Recommandation R 3 (1991), sur les mesures en thérapie par protons, technique onéreuse à mettre en œuvre et encore peu répandue, et de la Recommandation R 4 (1991), sur la spectrométrie neutronique, domaine d'activité qui devra être réexaminé dans le contexte du programme de travail à long terme.

M. Clapham et M. Lyons remarquent que ces deux dernières recommandations semblent devoir entraîner un surcroît de travail pour le BIPM, et ils demandent si cela ne risque pas d'obliger le BIPM à abandonner d'autres activités. M. Blevin dit que des choix devront être faits et qu'il conviendra d'adapter le programme de travail en conséquence. Il est demandé à M. Quinn de préparer un rapport à ce sujet pour la prochaine session du CIPM.

M. Quinn répond que l'activité de cette section du BIPM est actuellement centrée sur la dose absorbée dans l'eau et le ^{137}Cs : le travail sur la calorimétrie avancera sans doute moins vite à l'avenir.

5.3. Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées

M. Bray, président du Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées (CCM), présente le rapport de la quatrième session du CCM qui s'est tenue les 30 et 31 mai 1991 à Sèvres, précédée par les réunions de groupes de travail.

Il présente un bref rapport sur les activités des groupes de travail du CCM, et en particulier sur celles du Groupe de travail sur les étalons de masse : nettoyage et autres études concernant la surface des étalons en platine iridié, et résultats préliminaires de la troisième vérification périodique des prototypes nationaux du kilogramme, qui devrait être terminée à la fin de 1992. Les autres groupes de travail ont pour sujet la masse volumique (modification de la *Formule pour la détermination de la masse volumique de l'air humide (1981)* approuvée par le CIPM); les mesures de force (comparaisons internationales de machines étalons de force à masse suspendue et machines à amplification hydraulique ou à levier); les hautes, moyennes et basses pressions. Les groupes de travail sur les basses pressions et les très basses pressions ont fusionné pour former le Groupe de travail sur les basses pressions.

Enfin, M. Bray présente le rapport de la réunion du Club sur les balances, mentionnant les études en cours sur la balance Mettler HK 1000 MC utilisée au BIPM et la construction d'une deuxième balance à suspensions flexibles au BIPM.

Le président souligne l'importance des recherches faites sur les instruments. M. Quinn fait remarquer que les améliorations en précision qui ont été obtenues se sont avérées très utiles. Elles permettent de mesurer les effets de l'humidité et d'autres effets de surface, et d'observer les dérives de la masse de prototypes en platine iridié qu'il était précédemment nécessaire de calculer à partir de mesures sur de longues périodes.

Les méthodes susceptibles d'aboutir à une nouvelle définition du kilogramme ont été discutées, mais les membres du CCM estiment qu'il est prématuré de créer dès à présent un groupe de travail sur ce sujet.

Les recommandations du CCM sont présentées. La Recommandation G 1 (1991), sur la masse volumique de l'air (voir *Formule pour la détermination de la masse volumique de l'air humide (1981/1991)*, page 97), et la Recommandation G 2 (1991), sur la masse volumique du mercure, sont approuvées par le CIPM.

Il s'ensuit une discussion sur les activités des laboratoires nationaux (Allemagne, É.-U. d'Amérique, Australie, Japon) dans le domaine des mesures de masse volumique.

5.4. Présidence de comités consultatifs

Le Comité consultatif d'électricité (CCE) devant se réunir en 1992 et n'ayant actuellement pas de président, M. Kind, président du Comité consultatif pour la définition du mètre (CCDM), a accepté d'en assurer la présidence. M. Clapham assurera celle du CCDM.

5.5. Réunions futures des comités consultatifs

Le président du CIPM rappelle aux présidents des comités consultatifs qu'il convient de fixer la date des prochaines sessions. Les dates suivantes sont retenues :

CCDM	9-11 septembre 1992
CCDS	mars 1993 (précédé du Groupe de travail sur le TAI)
CCE	15-17 juin 1992 (au début de la semaine qui suit la CPEM)
CCEMRI	1993
CCM	1993
CCPR	septembre 1994
CCT	aucune date n'est fixée
CCU	aucune date n'est fixée.

6. Travaux du BIPM : Rapport du directeur

Du fait de la Conférence générale, le CIPM s'est réuni deux jours seulement à Sèvres, ce qui ne laisse pas de temps pour la présentation des travaux par le personnel du BIPM. Le directeur a résumé le travail scientifique effectué depuis la précédente session du CIPM (*voir* le Rapport du directeur). Dans sa présentation M. Quinn a mis l'accent sur les nombreuses activités et relations extérieures, notamment les visites aux laboratoires nationaux et la participation à des conférences, les publications et l'accueil de visiteurs au BIPM.

M. Siegbahn remercie le personnel du BIPM pour le travail effectué, et encourage le personnel à publier et à participer au comité de rédaction de journaux scientifiques.

Le président et M. Bray félicitent le directeur pour son rapport concis, précis et concret. M. Kind encourage le BIPM à développer les recherches sur les fréquences dans la région visible du spectre.

7. La métrologie en chimie, rapport du groupe de travail *ad hoc*

M. Lyons présente les conclusions de la réunion du groupe de travail *ad hoc* sur la métrologie en chimie qui s'est tenue au NIST les 4 et 5 juin 1991. (Voir rapport page 91.)

S'ensuit une longue discussion. M. Kind souligne que, dans le domaine de la métrologie en chimie, les frontières traditionnelles entre la physique et la chimie perdent leur sens. Il a été discuté de la possibilité pour le BIPM de superviser le travail sur la métrologie en chimie, en relation avec le SI.

M. Plebanski attire l'attention de ses collègues sur le fait que le rôle des matériaux de référence pour analyse chimique n'est pas transposable d'un pays à l'autre, et qu'il y a un manque de compatibilité et d'uniformité au niveau mondial. M. Bray et M. Iizuka sont du même avis.

M. Wang pense que le BIPM doit consacrer ses efforts aux sept unités fondamentales du SI et laisser à d'autres les questions relatives aux autres mesures. Il souligne l'importance de la mole et des grandeurs apparentées. M. Poustovoit partage cette opinion.

M. Blevin insiste sur le fait que le BIPM doit se consacrer uniquement aux unités, aux étalons primaires et aux techniques de mesure qui leur sont étroitement associées, et ne doit pas étendre son action aux mesures et aux techniques plus générales. Ce qui pose problème dans le domaine de l'analyse chimique, c'est l'absence de méthodes qui permettent un rattachement à des étalons primaires et l'impossibilité de parvenir à un accord sur l'expression des incertitudes.

M. Steinberg met l'accent sur la nécessité de coopérer avec les laboratoires nationaux et les organisations internationales concernées par ces questions.

Certains membres du CIPM (MM. Blevin, Clapham, Kovalevsky et Preston-Thomas) soulignent que, si le BIPM devait s'engager dans ce domaine, cela poserait des problèmes de compétence, de moyens financiers et de personnel supplémentaire nécessaire pour assurer ce nouveau travail (deux ou trois personnes). Cependant, bien qu'il soit prématuré pour le BIPM lui-même d'étendre ses compétences à la métrologie en chimie, le CIPM considère que le groupe de travail doit poursuivre ses investigations.

En conclusion, le CIPM a approuvé la première mission proposée pour le groupe de travail (voir page 96), mais a rejeté la deuxième et la troisième. Il a décidé que le groupe de travail s'appellerait « Groupe de travail sur la métrologie en chimie » et a demandé à M. Lyons d'en assurer la présidence. La composition du groupe de travail restera la

même, mais les membres du CIPM sont conviés à désigner tout autre expert ou spécialiste dont ils estiment la participation nécessaire. Le groupe de travail est chargé de mettre en œuvre quelques comparaisons internationales entre laboratoires nationaux, en collaboration avec des spécialistes provenant d'autres laboratoires et d'organismes internationaux compétents. Ce programme de comparaisons internationales sera limité à quelques méthodes de référence employées très largement et il portera sur un petit nombre de matériaux de référence qui jouent un rôle-clé. L'idée est de déterminer si un programme aussi restreint peut conduire à une amélioration de la traçabilité pour un éventail plus large de méthodes et de matériaux.

Le CIPM prend acte des remarques du groupe de travail concernant la mesure de certaines propriétés des matériaux au moyen de méthodes physiques et attire l'attention de ses comités consultatifs sur l'opportunité de poursuivre, voire même d'étendre, ce type d'activités.

8. Assurance maladie pour le personnel du BIPM

M. Quinn décrit en détail la proposition de changement de régime d'assurance maladie des fonctionnaires du BIPM qui a été présentée par le secrétaire du CIPM (*voir p. 4*).

Il attire l'attention sur le fait que le nouveau régime s'appliquera à tous les fonctionnaires du BIPM, pour eux-mêmes et les personnes à leur charge, pendant leur période d'activité et après leur départ en retraite, quel que soit leur lieu de résidence. Ceci représentera un sérieux progrès pour le personnel qui décidera de prendre sa retraite hors de France. Avec le régime actuel, les retraités qui choisissent de vivre en France peuvent continuer à être affiliés à la Sécurité sociale pour l'assurance maladie à titre personnel, moyennant une cotisation de l'ordre de 2 % du montant plafonné de leur retraite; ainsi ils cessent d'être affiliés à la Sécurité sociale au titre du BIPM. Quant aux retraités du BIPM qui choisissent de vivre hors de France, ils doivent prendre leurs propres dispositions pour l'assurance maladie. Nous proposons que le nouveau régime ne s'applique qu'aux retraités qui prendront leur retraite après le 1^{er} janvier 1992.

La proposition présentée au CIPM par M. Quinn a reçu le soutien unanime de la Commission du Statut du personnel. Les termes de cette proposition sont les suivants :

- (a) le CIPM approuve le principe du transfert de l'assurance maladie, accidents du travail, incapacité et décès du personnel du BIPM auprès d'une compagnie d'assurance privée sur la base de la proposition établie par Van Breda ;

- (b) le coût total de ce nouveau régime, actuellement fixé à 7,7 % de la masse salariale, sera réparti entre le BIPM et le personnel sur la base de deux tiers et un tiers, soit 5,2 % et 2,5 % respectivement ; les futurs retraités verseront une cotisation égale à 2 % de leur retraite, un pourcentage qui ne devrait pas, dans la mesure du possible, varier (*voir* le point (e) ci-dessous) ;
- (c) pendant au moins les trois premières années de la mise en application de ce nouveau régime, les économies qui devraient être faites sur le budget annuel (estimées à environ 770 000 francs-or en 1992) seront utilisées principalement pour alimenter un nouveau compte (Compte VII) : ce dernier sera utilisé selon les modalités indiquées aux points (d) et (e) ci-dessous ;
- (d) le CIPM se porte garant qu'en cas de défaillance du régime d'assurance privée, les prestations médicales continueront à être assurées sur ses fonds propres au personnel du BIPM et aux futurs retraités jusqu'à ce que de nouvelles dispositions soient prises pour assurer un nouveau régime de protection. Le capital versé au Compte VII servira de garantie ;
- (e) les intérêts du capital versé au Compte VII pourront être utilisés pour subventionner les cotisations des futurs retraités et les maintenir, si possible, à 2 % du montant de leur retraite, et pour amortir les fluctuations des primes d'assurance annuelles résultant de dépenses médicales importantes et exceptionnelles ;
- (f) une commission statutaire sera créée pour conseiller le directeur sur la gestion du régime d'assurance maladie ; cette commission sera composée :
 - du directeur,
 - de l'administrateur,
 - de cinq membres élus du personnel, dont un sera le délégué du personnel auprès du courtier Van Breda ;
- (g) le nouveau régime d'assurance entrera en vigueur le 1^{er} janvier 1992, ou le plus tôt possible à compter de cette date, compte tenu de l'état d'avancement des négociations du contrat avec l'assureur et de la résiliation du contrat avec la Sécurité sociale et la mutuelle ;
- (h) le CIPM donne son accord pour apporter au Statut du personnel, dans les paragraphes où la Sécurité sociale et la mutuelle sont spécifiquement mentionnées, un certain nombre de modifications consécutives à ce transfert.

Cette proposition est discutée par le CIPM. Bien que M. Clapham soit d'accord pour l'essentiel avec cette proposition, il pense qu'il convient de limiter le montant des sommes versées au nouveau Compte VII, afin que celui-ci ne devienne pas trop important. Il est convenu que le CIPM surveillera le montant de ce compte. M. Blevin demande si d'autres offres ont été sollicitées. M. Quinn répond que non : d'abord parce que le bureau du Comité et lui-même ont été satisfaits de l'expérience des organisations internationales qu'ils ont contactées à ce sujet, et d'autre part parce que cette étude a demandé une charge de travail telle qu'il ne lui a pas semblé justifié de demander une offre concurrente. M. Blevin est satisfait de cette réponse et pense que cette proposition est une très bonne chose.

La proposition est adoptée, en tenant compte des remarques de M. Clapham sur le montant du Compte VII.

9. Questions administratives et financières

Le président accueille Mlle Perent, l'administrateur du BIPM, et présente le *Rapport annuel aux Gouvernements des hautes parties contractantes sur la situation administrative et financière du Bureau international des poids et mesures en 1990*, et le rapport de l'expert comptable pour 1990. Ces rapports sont approuvés à l'unanimité et quitus est donné au directeur et à l'administrateur du BIPM.

L'état d'avancement de l'exercice 1991 est examiné et discuté. M. Quinn informe le Comité que la diminution des recettes résultant d'un retard dans le paiement et du non-paiement des contributions des États membres devrait atteindre 4 % du budget total en 1991, un chiffre supérieur à celui des années passées.

Un projet de budget pour 1992 est présenté. M. Quinn attire l'attention du CIPM sur la diminution des dépenses prévues pour l'entretien des bâtiments ; le montant de ce poste budgétaire paraît insuffisant à long terme. De ce fait, les moyens disponibles pour la modernisation de services essentiels tels que le conditionnement d'air sont très réduits.

M. Wang demande où en est le programme de réaménagement du Caveau supérieur, visant à améliorer les conditions de conservation des prototypes internationaux du mètre et du kilogramme. M. Quinn répond que la troisième vérification périodique des prototypes nationaux du kilogramme ne sera pas terminée avant la fin de 1992, et que ces travaux ne seront donc pas pris en compte sur le budget de 1992, mais sur celui de 1993.

Le projet de budget pour 1992 est approuvé.

BUDGET POUR 1992

RECETTES

francs-or

Recettes budgétaires :

1. Contributions des États	20 427 606
2. Intérêts des fonds	1 090 000
3. Taxes de vérification	110 000
Total	21 627 606

DÉPENSES

A. Dépenses de personnel :

1. Traitements	11 029 000	} 16 072 000
2. Allocations familiales et sociales	1 916 000	
3. Sécurité sociale	1 161 000	
4. Assurance accidents	201 000	
5. Caisse de retraite	1 765 000	

B. Dépenses de fonctionnement :

1. Mobilier	30 000	} 3 002 000
2. Laboratoires et ateliers	1 014 000	
3. Chauffage, eau, énergie électrique	429 000	
4. Assurances	63 000	
5. Impressions et publications	208 000	
6. Frais de bureau	386 000	
7. Voyages et transports d'appareils	412 000	
8. Entretien courant	400 000	
9. Bureau du Comité	60 000	

C. Dépenses d'investissement :

1. Laboratoires	1 730 000	} 2 034 000
2. Atelier de mécanique	83 000	
3. Bibliothèque	221 000	

D. Bâtiments (gros travaux d'entretien et de rénovation) . 389 606

E. Frais divers et imprévus 130 000

Total **21 627 606**

Metrologia

Le CIPM a demandé en 1990 de présenter à l'avenir le budget de *Metrologia* sur un compte séparé, le Compte VI. Le rapport sur l'exercice 1991 en cours et le projet de budget pour 1992 sont présentés. Ces budgets sont actuellement déficitaires, en raison principalement des dépenses engagées pour publier les deux numéros supplémentaires (l'un consacré aux comptes rendus d'une conférence et l'autre à un numéro spécial) destinés à attirer de nouveaux lecteurs.

En 1992, le premier de ces numéros spéciaux sera consacré aux comptes rendus du 6^e Forum européen fréquence et temps (European Frequency and Time Forum) et le second, qui devrait paraître juste avant la CPEM, aura pour thème Électromagnétisme et métrologie.

Le Comité approuve le projet de budget de *Metrologia* pour 1992, mais recommande d'essayer de réduire les coûts de production des tirés à part.

Propositions de modifications à apporter au Statut et à la Caisse de retraite et de prévoyance du personnel du BIPM

M. Quinn présente les propositions de modifications à apporter au *Statut et Caisse de retraite et de prévoyance du personnel du Bureau international des poids et mesures* concernant : les assurances maladie, accidents du travail, incapacité, décès qui seraient garanties non plus par la Sécurité sociale mais par une compagnie d'assurance privée ; quelques changements mineurs concernant les jours de congé supplémentaires en fonction de l'ancienneté et les délais de préavis en cas de démission, et en particulier les grades et catégories de personnel. Ces changements ont été formulés en accord avec la Commission du Statut du personnel.

La liste des titres et grades du personnel donnée dans l'article 2 du *Statut du personnel du Bureau international des poids et mesures* ne reflète plus les qualifications et activités d'un grand nombre de personnes travaillant au BIPM, aussi est-il proposé de remplacer cette liste par la suivante :

TITRE	GRADE	CATÉGORIE
Directeur		
Sous-Directeur		
Physicien chercheur principal	12, 13	A
Physicien principal	10, 11	A
Physicien	8, 9, 10	A
Assistant	7, 8, 9, 10	A
Technicien métrologiste	9, 10	B
Technicien principal	7, 8, 9	B
Technicien	5, 6, 7	B

Mécanicien hautement qualifié	8, 9, 10	B
Mécanicien principal	7, 8	B
Mécanicien	5, 6, 7	B
Électricien	4, 5, 6, 7, 8	B
Maçon	4, 5, 6, 7, 8	B
Menuisier	4, 5, 6, 7, 8	B
Jardinier	4, 5, 6, 7, 8	B
Administrateur	9, 10, 11	A
Secrétaire comptable	6, 7, 8	B
Secrétaire de direction	8, 9, 10	A
Secrétaire de rédaction	7, 8, 9	A
Bibliothécaire	7, 8 (9)	B(A)
Secrétaire principal	7, 8	B
Secrétaire	4, 5, 6, 7	B
Gardien	3, 4, 5, 6	C
Agent d'entretien	3, 4, 5, 6	C

Les principales différences entre cette liste et l'ancienne liste sont les suivantes :

— Le personnel est maintenant classé en trois catégories

A : personnel ayant une qualification universitaire ou équivalente,

B : personnel technique ou d'exécution,

C : personnel de service.

Ces trois catégories correspondent à celles qui existent dans les Organisations coordonnées. Les autres changements concernent les points suivants :

— Les titres « métrologiste » et « métrologiste principal » ont été supprimés. Il y a maintenant une différence beaucoup plus grande que par le passé entre le personnel hautement qualifié recruté en catégorie A et le personnel technique recruté en catégorie B. Ceux qui, dans le passé, ont fait carrière avec succès comme « métrologistes » et « métrologistes principaux » et ont fini leur carrière avec de hautes responsabilités après trente ans d'ancienneté ou plus, mais qui ont été recrutés après une formation universitaire courte voire sans formation universitaire, seraient aujourd'hui incapables de satisfaire aux conditions de recrutement actuelles.

— Le titre « assistant », un titre de catégorie A, a été créé pour ceux qui ont été recrutés avec un diplôme de l'enseignement supérieur ou équivalent et qui semblent prometteurs, mais qui n'ont pas encore soutenu leur doctorat et n'ont pas l'expérience requise pour être recrutés d'emblée comme « physiciens ».

— Le titre « technicien métrologiste » a été ajouté à la catégorie des techniciens pour les quelques techniciens qui, vers la fin de leur carrière, ou après avoir obtenu une qualification technique de haut niveau au début de leur carrière, ont mérité une promotion au grade 10.

— Le titre « mécanicien hautement qualifié » qui recouvre les grades 8, 9 et 10, a été ajouté à la catégorie des « mécaniciens » pour tenir compte du niveau élevé de qualification maintenant requis pour le chef d'atelier (désigné à présent sous le nom de « technicien principal ») et des qualifications requises par exemple, du personnel utilisant des installations très sophistiquées comme des machines-outils numériques.

— La position de l'« administrateur » dans la grille des salaires s'étend maintenant jusqu'au grade 11 inclus, pour tenir compte des responsabilités plus importantes attribuées à ce poste ; de la même façon celle de « secrétaire comptable » s'étend maintenant jusqu'au grade 8 inclus.

— Les postes du secrétariat ont été modifiés et comprennent maintenant les titres de « secrétaire de direction » et de « secrétaire de rédaction », deux postes de catégorie A, et le poste de « bibliothécaire », qui peut être de catégorie A ou B, selon les qualifications et les fonctions spécifiques de la personne qui occupe ce poste.

M. Quinn fait remarquer que, selon l'organigramme actuel du BIPM, le directeur assure la gestion du BIPM en liaison avec les six chefs des sections scientifiques et l'administrateur. Le titre « adjoint », correspondant auparavant aux titres « physicien chercheur principal », « physicien principal » et « métrologiste principal », est donc devenu obsolète. Il est donc proposé de supprimer le titre « adjoint » de l'article 2 du statut et (là où il apparaît) de le remplacer par celui de « physicien chercheur principal » ou de « physicien principal ».

Au cours de la courte discussion qui s'ensuit, M. Blevin fait remarquer que le nombre de titres lui semble élevé par rapport au nombre de personnes travaillant au BIPM, mais, comme cette proposition résulte de toute évidence de discussions approfondies avec le personnel, il ne veut pas insister là-dessus. Les propositions de modifications à apporter au *Statut et Caisse de retraite et de prévoyance du personnel du Bureau international des poids et mesures*, et les changements liés à l'assurance maladie, aux congés supplémentaires en fonction de l'ancienneté et aux délais de préavis en cas de démission sont adoptés par le CIPM.

Allocations familiales

Ayant remarqué que les allocations familiales du BIPM étaient inférieures d'environ 3 % à celles des Organisations cordonnées au cours des dernières années, la Commission des salaires du BIPM a demandé une augmentation de 3 % pour supprimer cette différence. M. Quinn dit que, d'après les informations les plus récentes dont il dispose, les

Organisations coordonnées n'envisagent pas d'augmenter ces allocations cette année, et qu'en conséquence les allocations familiales versées par le BIPM ne seraient inférieures que d'environ 1 % à celles des Organisations coordonnées au 1^{er} janvier 1992. Finalement, il demande au CIPM une augmentation de 2 % à compter du 1^{er} janvier 1992. Le CIPM approuve cette augmentation.

10. Questions diverses

10.1. Membres du CIPM

M. Jensen a informé les membres du CIPM de son intention de démissionner du CIPM à la fin de la présente session, juste après la Conférence générale. M. Joshi a également envoyé une lettre de démission, qui prend effet après la Conférence générale. Il y aura donc prochainement deux sièges vacants au CIPM.

MM. Preston-Thomas et Bray ont déclaré leur intention de démissionner avant la session de 1992 du CIPM.

Une discussion s'ensuit sur d'éventuels candidats.

Le président exprime le souhait que les futurs candidats considèrent leur appartenance au CIPM comme un engagement à long terme, une période de cinq ans étant un minimum. Ce point de vue reçoit l'appui unanime des membres du CIPM.

M. Quinn remercie tout particulièrement M. Jensen et M. de Boer pour leur aide et leurs conseils sur les questions relatives aux unités, et dit combien la présence de M. Jensen au CIPM lui manquera. M. de Boer se dit surpris de la démission de M. Jensen, et il n'a donc pas préparé de discours pour cette occasion. Il rappelle toutefois aux membres du Comité la participation active de M. Jensen au Groupe de travail ISO/TC-12 et dit qu'il regrettera son absence en tant qu'ami, excellent théoricien et physicien spécialiste des questions de nomenclature. Ces remarques sont chaleureusement applaudies par les membres du CIPM.

10.2. Contribution de G. Giorgi à la métrologie

M. Bray demande que la contribution de G. Giorgi à la métrologie en électricité et au SI soit officiellement reconnue, lors de la préparation de la prochaine édition de la brochure sur le SI. À cette occasion, il fait distribuer un texte contenant des informations complémentaires sur cette proposition.

Le président dit qu'il est parfaitement conscient de l'importance de la contribution de G. Giorgi. Lorsque la brochure sur le SI sera mise à jour, il incombera au Comité consultatif des unités (CCU) d'y adjoindre une introduction historique sur le SI, dans laquelle sera mentionné G. Giorgi.

10.3. Prochaine session du CIPM

Le CIPM décide que la prochaine session du CIPM se tiendra du 29 septembre au 1^{er} octobre 1992.

11. Conséquences de la Conférence générale

Élection du bureau du Comité

Le doyen des membres du CIPM, M. de Boer, ouvre la dernière séance du CIPM, qui fait suite à l'élection et à la réélection des membres du CIPM par la 19^e Conférence générale.

Après dépouillement des votes à bulletins secrets, le bureau du Comité est ainsi constitué :

<i>Président :</i>	D. Kind
<i>Vice-Présidents :</i>	H. Preston-Thomas J. Skákala
<i>Secrétaire :</i>	J. Kovalevsky.

Le président clôt la 80^e session du CIPM et remercie tous ceux qui ont contribué au succès de cette réunion.

**Recommandations des comités consultatifs approuvées
par le Comité international des poids et mesures
à sa 80^e session**

**Comité consultatif pour les étalons de mesure
des rayonnements ionisants**

Extension des étalons au rayonnement γ du ^{137}Cs

RECOMMANDATION R 1 (1991)

Le Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants,

considérant que les faisceaux de rayonnement γ du ^{137}Cs sont généralement utilisés comme référence pour l'étalonnage des dosimètres en radioprotection,

recommande que les laboratoires de métrologie et le BIPM

- étendent le domaine d'énergie actuel des étalons de kerma dans l'air pour y inclure le rayonnement γ du ^{137}Cs , et
- mettent en œuvre les moyens nécessaires pour les étalonnages et les comparaisons dans ce domaine.

Mesures en curiethérapie

RECOMMANDATION R 2 (1991)

Le Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants,

reconnaissant

- que la grandeur à utiliser en curiethérapie est la dose absorbée dans l'eau ou dans le tissu, et
- que l'ICRU recommande de caractériser les sources utilisées dans ce domaine par le débit de kerma dans l'air,

recommande aux laboratoires de métrologie et au BIPM

- i) d'étudier pour ces sources des méthodes appropriées de mesure du kerma dans l'air,
- ii) d'étudier des méthodes adéquates (telles que l'utilisation de chambres d'ionisation à puits) pour le transfert des étalonnages aux sources diverses utilisées en curiethérapie, et
- iii) d'étudier des méthodes de mesure de la dose absorbée dans l'eau adaptées à de telles sources.

Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées

Masse volumique de l'air

RECOMMANDATION G 1 (1991)

Le Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées,

considérant que

- en 1981 le CIPM a adopté la formule pour la détermination de la masse volumique de l'air humide, proposée par le CCM,
- cette formule comprenait un certain nombre de constantes et paramètres dont les valeurs étaient spécifiées,
- depuis 1981 les valeurs de plusieurs de ces constantes et paramètres sont mieux connues, en particulier qu'une meilleure valeur de la constante des gaz a été recommandée par CODATA en 1986 et que le CIPM a adopté l'Échelle internationale de température de 1990,

recommande que le texte adopté en 1981 soit modifié pour tenir compte de ces changements.

Masse volumique du mercure

RECOMMANDATION G 2 (1991)

Le Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées,
considérant que

— l'incertitude sur la masse volumique du mercure est le facteur le plus important qui contribue à l'incertitude des mesures les plus exactes de pression au voisinage de 100 kPa,

— la masse volumique du mercure peut varier d'une manière significative d'un échantillon à l'autre à cause des variations naturelles de composition isotopique,

— les comparaisons précises de masse volumique d'échantillons individuels de mercure aussi bien que la détermination de la masse volumique d'échantillons de référence de mercure restent une tâche importante pour la métrologie,

— les exigences continuent de croître, pour les besoins scientifique et industriel, en matière de mesures exactes de pression dans le domaine mentionné ci-dessus,

recommande que les laboratoires nationaux maintiennent leurs moyens actuels dans ce domaine et si possible les accroissent dans le but de connaître la masse volumique d'échantillons de mercure avec une incertitude relative caractérisée par un écart-type qui n'excède pas quelques 10^{-7} .

RAPPORT DU DIRECTEUR
SUR L'ACTIVITÉ ET LA GESTION
DU BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
(octobre 1990 - septembre 1991)

I. — PERSONNEL

Promotions

Claudine THOMAS, physicien, a été promue physicien principal à la suite d'un vote, lors de la session de septembre 1990 du CIPM; elle a été nommée chef de la section du temps à compter du 1^{er} octobre 1990.

Raymond FELDER, métrologiste, a été promu physicien.

Roland GOEBEL, technicien principal, a été promu métrologiste.

Ces deux dernières promotions ont pris effet le 1^{er} janvier 1991.

Engagement

Caroline LAWRENCE, née le 8 octobre 1950 à Hexham (Royaume-Uni), précédemment rédacteur adjoint à l'UNESCO, a été engagée comme secrétaire de rédaction à temps partiel à dater du 1^{er} avril 1991, pour participer principalement aux travaux de rédaction de *Metrologia*.

Chercheurs associés

L'engagement de Richard DAVIS, chercheur associé à la section des masses depuis le 28 mai 1990, a été prolongé d'une année.

Alain MICHAUD, né le 12 décembre 1958 à Murdochville (Canada), étudiant de 3^e cycle du département de génie électrique de l'Université Laval (Canada), a été engagé en qualité de chercheur associé à la section des longueurs à compter du 21 janvier 1991 pour une durée d'un an.

Zaizhe YIN, né le 2 juillet 1964 à Beijing (Rép. pop. de Chine), physicien à l'Institut national de métrologie (Rép. pop. de Chine), a été engagé en qualité de chercheur associé à la section des rayonnements ionisants à compter du 9 avril 1991 pour une durée d'un an.

Départ

Bernard GUINOT, chercheur associé avec rang de physicien chercheur principal, a pris sa retraite le 30 septembre 1990 après six années d'activité en qualité de chef de la section du temps ; au cours de cette période, il a supervisé l'installation de la section du temps au BIPM et la prise en charge du TAI et de l'UTC. Par décision du CIPM, et sur proposition du directeur, il a été invité à fournir au BIPM à temps partiel un service spécial sans responsabilité administrative pour une durée d'un an à compter du 1^{er} octobre 1990.

Titularisation

Carlos DIAS-NUNES, contractuel depuis le 1^{er} mars 1989 en qualité d'aide-jardinier, a été titularisé le 1^{er} janvier 1991 dans le même emploi avec le grade d'agent d'entretien.

II. — BÂTIMENTS

Observatoire

Poursuite de la réparation de la toiture.

Réfection de l'installation électrique dans les couloirs et dans un chemin de ronde.

Installation d'une cage de Faraday.

Grand Pavillon

Réfection de l'installation électrique et peinture de la cage d'escalier.

Remise en état des volets.

Bâtiment des rayonnements ionisants

Réfection d'un bureau.

Bâtiment des neutrons

Peinture du laboratoire.

Extérieurs et parc

Remplacement de canalisations endommagées.

Réparation de clôtures.

Restauration de la voie datant du 17^e siècle le long de l'allée du Mail.

III. — TRAVAUX SCIENTIFIQUES

1. Remarques générales

Dans le rapport de 1990 j'ai traité assez longuement de l'actuelle définition de l'unité de masse et en particulier de l'avantage d'avoir une méthode indépendante pour en contrôler la stabilité à long terme ; j'ai aussi parlé des perspectives d'une nouvelle définition. Les résultats que nous avons obtenus jusqu'ici dans le cadre de la troisième vérification périodique des prototypes nationaux du kilogramme, résultats qui sont présentés dans le présent rapport et qui concernent vingt prototypes sur la quarantaine qui participent à cette vérification, ne font que renforcer les opinions exprimées alors. En moyenne, les masses de ces vingt prototypes, ainsi que celles des témoins du prototype international, semblent varier de façon systématique par rapport à la masse du prototype international ; l'écart moyen s'élève maintenant à environ $30 \mu\text{g}$ (soit 3×10^{-8}). Des conclusions définitives ne pourront être tirées qu'après l'achèvement de la troisième vérification, vers la fin de 1992. Toutefois, selon toute probabilité, les conclusions provisoires actuelles ne devraient pas être sensiblement modifiées. Il est donc particulièrement souhaitable de mettre au point une méthode pour contrôler la masse du prototype international du kilogramme en fonction de constantes atomiques ou fondamentales avec une exactitude de l'ordre de 1×10^{-8} . Dans le présent rapport, on trouvera aussi les résultats des mesures de l'effet des variations de l'humidité ambiante sur la masse des étalons en platine iridié usinés à l'outil à pointe de diamant. Les effets observés sont très reproductibles mais ils sont dix fois moindres que ceux qui ont été constatés précédemment dans d'autres laboratoires pour des étalons également en platine iridié. On pense que cette différence est due au fait que l'usinage à l'outil à pointe de diamant permet d'obtenir une surface beaucoup mieux polie.

La comparaison internationale de cuves à iode organisée par le BIPM entre les laboratoires membres du CCDM est maintenant achevée et on en évalue actuellement les résultats. Pour plus des trois quarts des cuves qui ont fait l'objet de cette comparaison, la dispersion des valeurs de la fréquence mesurée ne dépasse pas 10 kHz , soit 2×10^{-11} en valeur relative, ce qui est un résultat très satisfaisant. Une première comparaison a été faite entre deux lasers du BIPM asservis sur l'iode à $\lambda = 612 \text{ nm}$, l'un avec une cuve interne et l'autre avec une cuve externe. On a obtenu des différences de fréquence supérieures à ce que

l'on attendait. Pour le moment ce résultat ne confirme pas l'idée que la fréquence de lasers asservis avec une cuve à iode externe est plus reproductible que celle de lasers dont la configuration, plus courante, comporte une cuve à iode à l'intérieur de la cavité du laser ; les recherches se poursuivent pour trouver l'origine des différences de fréquence observées. À côté de la nouvelle étude sur un laser à CO_2 , on a commencé à travailler au BIPM sur des lasers à semi-conducteurs comme sources stables de fréquence ; on a asservi un laser de ce type sur l'absorption saturée du césium à $\lambda = 852 \text{ nm}$. On procède toujours, avec le comparateur interférentiel, à des étalonnages de règles à traits et de grands calibres.

Les échelles de temps TAI et UTC sont établies et distribuées aux laboratoires participants du monde entier. Depuis l'an dernier on a constaté un nouvel accroissement, cette fois-ci d'environ 25 %, du nombre de laboratoires qui utilisent le Global Positioning System (GPS) pour les comparaisons horaires. La conformité de l'intervalle unitaire du TAI avec la seconde du SI repose encore presque uniquement sur les données des horloges étalons primaires de fréquence d'un seul laboratoire, la PTB. La fréquence du TAI ayant tendance à décroître par rapport à celle des étalons de la PTB, on a appliqué en février et en avril 1991 deux corrections de « pilotage » de $0,75 \times 10^{-14}$ (en valeur normée). On poursuit les recherches visant à optimiser les algorithmes utilisés pour les échelles de temps. À la demande du CCDS, on a étudié les corrélations entre les horloges qui contribuent à l'élaboration du TAI et on en a conclu que les variations dans les conditions locales de conservation des horloges constituent la principale source de corrélation ; ce sont probablement les variations saisonnières de l'humidité relative qui sont les plus significatives à cet égard. Dans le domaine des liaisons horaires, l'amélioration des comparaisons au moyen du GPS se situe toujours au premier rang des travaux mais on commence aussi à utiliser le système GLONASS. L'U.S. Department of Defence a maintenant confirmé que le GPS sera dégradé par accès sélectif (SA). Cela va entraîner un accroissement important de la charge de travail à long terme du BIPM pour extraire les meilleures informations possibles de données dégradées. Parmi les autres activités de la section du temps, il convient de mentionner les études sur les comparaisons horaires par aller et retour à l'aide de satellites géostationnaires, l'examen des problèmes posés par les concepts qui sont à la base des échelles de temps, l'obtention d'une échelle de temps suffisamment exacte pour les recherches sur les pulsars et l'installation progressive d'un laboratoire de temps au BIPM. Grâce à des prêts généreux faits par des laboratoires et des sociétés commerciales nous avons maintenant une horloge à césium, quelques récepteurs pour le GPS et divers équipements associés pour les mesures ionosphériques.

Pour les laboratoires qui en sont équipés, les installations à réseau de jonctions de Josephson de 1 V ont rendu totalement caduques les comparaisons internationales d'étalons nationaux du volt, qui se faisaient à l'aide de piles Weston ou de dispositifs fondés sur des diodes de Zener. Le BIPM a effectué avec succès des comparaisons de grande exactitude avec la PTB et le DFM en utilisant un dispositif transportable comportant des réseaux de jonctions de Josephson de 1 V ; les incertitudes des comparaisons et les différences mesurées sont, pour ces deux laboratoires, égales ou inférieures à 1 nV. Des comparaisons analogues, déjà organisées, se dérouleront avant la fin de 1991 avec le NPL, le NIST et le NRC. La possibilité d'effectuer des comparaisons avec cette exactitude et le fait que l'accord se révèle aussi bon vont fortement aider à disséminer le volt, non seulement dans les laboratoires nationaux mais aussi dans de nombreuses industries de pointe. En métrologie des résistances, la première mesure de grande exactitude de la résistance de Hall quantifiée en courant alternatif à basse fréquence a été effectuée à l'aide d'un comparateur cryogénique de courant. Cela a conduit à mettre au point un nouveau dispositif de mesure à température ambiante pour comparer les résistances étalons. Bien qu'il nous manque encore quelques résultats de retour de laboratoires nationaux, la comparaison internationale effectuée en 1990 sur des étalons de résistance de 1 Ω et de 10 k Ω fondés sur l'effet Hall quantique est maintenant achevée. Les résultats sont très satisfaisants et font apparaître, dans bien des cas, un accord entre les laboratoires nationaux et le BIPM de l'ordre de quelques 10^{-8} . On poursuit les recherches sur l'utilisation en métrologie électrique de nouveaux supraconducteurs à haute température ; leur emploi, en particulier comme blindages électromagnétiques, est prometteur pour certaines applications critiques.

Dans la section de radiométrie, on a commencé à préparer la comparaison internationale de sensibilité spectrale des photodiodes au silicium dans le domaine des longueurs d'onde comprises entre 250 nm et 1 000 nm ; le BIPM jouera le rôle de laboratoire pilote dans cette comparaison décidée par le CCPR. Des mesures préliminaires ont déjà eu lieu au BIPM avec le nouveau monochromateur et des sources à large bande spectrale ; les résultats présentent un bon accord avec ceux précédemment obtenus avec un laser accordable. Les autres travaux effectués ont porté sur les effets de surface des photodiodes au silicium dus principalement à l'humidité relative de l'atmosphère ambiante, la simulation par ordinateur de la méthode d'auto-étalonnage et une étude préliminaire, à la fois expérimentale et théorique, de la diffraction de la lumière blanche par des ouvertures circulaires.

Dans le domaine des rayonnements ionisants, l'activité en dosimétrie du rayonnement γ du ^{60}Co et des rayons X a comporté des mesures étendues de dose absorbée dans l'eau ; les résultats sont en accord à

environ 1 % près avec ceux qui ont été obtenus au NPL, à la PTB et au NRC, c'est-à-dire dans les limites d'incertitude estimée de ces laboratoires. La dose absorbée dans l'eau a été aussi mesurée indirectement, avec de bons résultats, en utilisant la méthode dite du « scaling theorem » et des travaux préliminaires ont commencé dans le domaine de la calorimétrie dans l'eau. Des comparaisons d'étalons de kerma dans l'air ont été faites entre le BIPM et le NIST pour les rayons X de moyenne énergie. En vue de mesures neutroniques, un détecteur à scintillation liquide a été étudié et on en a déterminé l'efficacité. En ce qui concerne les radionucléides, les résultats d'une comparaison restreinte de ^{75}Se effectuée en 1989 ont été examinés à nouveau ; on a trouvé la cause du petit décalage du résultat du BIPM et de nouvelles mesures ont permis d'y remédier. Le SIR, établi pour mesurer l'activité des radionucléides émettant des rayons γ , a été étendu aux radionucléides émetteurs de rayonnements α et β : on a installé un dispositif à scintillation liquide. Une comparaison préliminaire pour vérifier le nouveau système est en cours d'organisation pour certains radionucléides émettant un rayonnement β pur. Cette année douze laboratoires ont soumis treize radionucléides pour des mesures dans le SIR. On poursuit les recherches sur les statistiques de comptage ; la nouvelle « méthode de parité » permet de faire des mesures directes du nombre de coïncidences vraies entre les impulsions β et γ provenant de la désintégration en deux étapes d'un radionucléide. De récentes études sur la distribution de Poisson ont fait apparaître une propriété importante de cette dernière passée jusque-là inaperçue.

La présentation du présent rapport suit de près celle de l'an dernier. Le rapport d'activité de chaque section constitue un tout et comprend les publications, les voyages, les conférences, etc. Pour éviter des répétitions, lorsqu'une visite a donné lieu à une conférence elle figure soit sous le titre de « Conférences » soit sous celui de « Voyages » selon le but principal de la visite.

1.1. Publications, conférences et voyages ne concernant pas directement une section particulière

1.1.1. Publications extérieures

1. QUINN T. J., The metre and the pendulum, *Nature*, 1990, **348**, 480.
2. QUINN T. J., News from the BIPM, *Metrologia*, 1991, **28**, 3-7.
3. QUINN T. J., Temperature, 2nd edition, Academic Press (London), 1990, 507 p.

1.1.2. Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts)

T. J. Quinn s'est rendu à :

— Turin (Italie) le 6 décembre 1990 et le 21 juin 1991, pour participer aux réunions du Conseil scientifique de l'IMGC ;

— Geel (Belgique) le 17 janvier 1991, pour visiter le BCMN et discuter de la métrologie en chimie ;

— Berne (Suisse) du 9 au 11 avril 1991, pour assister à une réunion de EUROMET ;

— Ottawa (Canada) du 16 au 19 avril 1991, pour assister à la réunion de la Commission consultative de l'Institut des étalons nationaux de mesure du NRC ;

— Washington (É.-U. d'Amérique) du 3 au 5 juin 1991, pour participer à la réunion du Groupe de travail *ad hoc* du CIPM sur la métrologie en chimie ;

— Stanford (É.-U. d'Amérique) le 6 et le 7 juin 1991, pour visiter le Department of Physics et faire une conférence intitulée « The beam balance and the weighing of spinning gyroscopes » ;

— Braunschweig et Berlin (Allemagne) du 25 au 29 juin 1991, pour une réunion du bureau du CIPM.

1.2. Activités en liaison avec des organismes extérieurs

T. J. Quinn assiste régulièrement aux réunions du Conseil scientifique de l'IMGC (Turin) ; il continue à présider le groupe de travail Fundamental Constants de CODATA ; il est membre de l'Interdivisional Committee on Nomenclature and Standards de l'UICPA, de la Commission consultative de l'Institut des étalons nationaux de mesure du NRC (Ottawa) et du Comité scientifique du Laboratoire de l'horloge atomique (Orsay).

P. Giacomo, directeur honoraire, continue de représenter le BIPM pour la préparation de la deuxième édition du *Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie*.

2. Longueurs (J.-M. Chartier)

2.1. Remarques générales

Cette année, une partie importante de notre temps a été consacrée aux mesures de longueur classiques avec l'étalonnage de deux règles divisées et de deux calibres. Compte tenu du vieillissement du comparateur photoélectrique, ainsi que de la mauvaise qualité de certaines règles à

mesurer, le temps nécessaire pour effectuer un étalonnage avec la précision requise augmente de plus en plus.

La précision avec laquelle un laser peut être asservi sur une raie d'absorption dépend avant tout de la qualité de la cuve d'absorption. L'expérience acquise nous a appris que les cuves à iode utilisées dans le domaine visible pouvaient être contaminées. Cette contamination engendre un décalage de la fréquence du laser dont l'amplitude dépend du taux d'impuretés contenues dans la cuve. Le BIPM a estimé qu'il serait utile, avant le CCDM prévu en septembre 1992, d'organiser une comparaison de cuves à iode avec les laboratoires membres du CCDM. Dix laboratoires, ainsi que le BIPM, ont participé à cette comparaison et trente-cinq cuves ont été étudiées durant la période comprise entre novembre 1990 et mai 1991. Les résultats sont très encourageants puisque les valeurs obtenues sur les trois-quarts des cuves sont à l'intérieur de $\pm 2 \times 10^{-11}$ en valeur relative.

En ce qui concerne les comparaisons de lasers à $\lambda = 633$ nm avec des laboratoires nationaux, trois ont été effectuées au BIPM avec la Belgique, l'Afrique du Sud et la Rép. de Corée; une quatrième comparaison s'est déroulée au Statens Provningsanstalt (SP) à Borås (Suède): elle regroupait les laboratoires nationaux de Suède, du Danemark, de Finlande, d'Allemagne, ainsi que le BIPM.

À son retour du Joint Institute for Laboratory Astrophysics (Boulder, É.-U. d'Amérique), où il a passé une année, R. Felder a remis en état les lasers à He-Ne du BIPM asservis sur l'absorption saturée du méthane; on a pu ainsi contrôler le bon fonctionnement d'un laser de même type réalisé par le VNIIFTRI (URSS) pour le compte du BIPM. Ce laser vient renforcer le groupe de lasers de référence du BIPM.

Les premiers résultats de la comparaison des lasers du BIPM à $\lambda = 612$ nm ont été obtenus: ils montrent des différences de fréquence entre les lasers très supérieures à celles rencontrées avec les lasers à $\lambda = 633$ nm. Pour le moment, nous n'avons pas encore mis en évidence une reproductibilité de fréquence des lasers utilisant une cuve externe supérieure à celle des lasers utilisant une cuve interne.

La construction du premier laser à CO_2 à $\lambda = 10,6$ μm s'est poursuivie; les premiers essais devraient avoir lieu avant la fin de l'année. À $\lambda = 543$ nm, la construction de deux nouveaux lasers est en cours, car l'un des deux lasers actuels est hors d'usage.

Les bonnes qualités métrologiques observées dans différents laboratoires nationaux sur les lasers à semi-conducteurs ont conduit le BIPM, avec l'aide du Laboratoire de l'horloge atomique (LHA), Orsay (France), à entreprendre la réalisation de ce type de laser asservi sur l'absorption saturée du césium à $\lambda = 852$ nm et à en suivre l'évolution dans le domaine visible. Ce travail a été confié à A. Michaud (Université Laval, Canada), chercheur associé au BIPM pour une année.

2.2. Mesures de longueur classiques (L. Robertsson, J.-M. Chartier)

Une règle divisée de 1 m et deux calibres de 500 et de 1 000 mm appartenant à l'URSS, ainsi qu'une règle divisée de 1 016 mm appartenant à la Rép. pop. dém. de Corée, ont été mesurés. Cette dernière règle présentait une importante courbure et, seule, la longueur entre les traits 0 et 1 000 mm a pu être déterminée; on a trouvé un raccourcissement supérieur à 8 μm par rapport à la détermination effectuée au BIPM en 1984.

Le CERN a demandé à reprendre sa règle en invar N° 10230 qui était conservée au BIPM depuis de nombreuses années; elle a quitté le BIPM le 18 juin 1990.

2.3. Lasers

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

i) Comparaisons entre les lasers du BIPM

Trois des lasers de référence (BIPM2, 4 et 10) ont été comparés à plusieurs reprises: les différences de fréquence observées étaient à l'intérieur de $\pm 5 \text{ kHz}$. Après dix-neuf ans de fonctionnement, on a été contraint de remplacer le tube de gain du laser BIPM2; ce remplacement ne semble pas avoir affecté la fréquence du laser de plus de 5 kHz (1×10^{-11} en valeur relative).

Le tube de gain du laser utilisé sur le gravimètre transportable a aussi été remplacé. On en a profité pour apporter différentes améliorations sur l'électronique d'asservissement. Cela n'a entraîné aucun changement significatif de la fréquence du laser.

ii) Comparaisons internationales

Trois comparaisons ont été effectuées au BIPM avec les laboratoires nationaux de Belgique (IGM), d'Afrique du Sud (CSIR) et de la Rép. de Corée (KSRI). Un laser de chaque laboratoire a été comparé par battement au laser de référence N° 4 du BIPM. Les résultats sont respectivement:

$$\begin{aligned} f_{\text{IGM}} - f_4 &= + 5,7 \text{ kHz}, & s &= 2,6 \text{ kHz}, & n &= 18 \\ f_{\text{CSIR3}} - f_4 &= - 9,5 \text{ kHz}, & s &= 0,8 \text{ kHz}, & n &= 12 \\ f_{\text{KSRI1}} - f_4 &= + 6,7 \text{ kHz}, & s &= 3,1 \text{ kHz}, & n &= 18 \end{aligned}$$

s est l'estimation de l'écart-type d'une mesure et n le nombre de mesures.

Quatre pays, ainsi que le BIPM, ont participé à une comparaison au SP (Suède). Chaque pays était représenté par un ou plusieurs lasers, à savoir : la Suède par les lasers SP1 et SP2, le Danemark par les lasers DK1, DK2 et DK3, la Finlande par le laser HUB, l'Allemagne par les lasers PTB01/89 et PTB03/86 et le BIPM par les lasers N^{os} 4 et 10. Les différences de fréquence entre chacun des lasers et le laser N^o 4 sont les suivantes :

f_{SP1}	$- f_4 = + 0,2 \text{ kHz,}$	$s = 5,2 \text{ kHz,}$	$n = 3$
f_{SP2}	$- f_4 = - 2,5 \text{ kHz,}$	$s = 5,0 \text{ kHz,}$	$n = 7$
f_{DK1}	$- f_4 = + 5,6 \text{ kHz,}$	$s = 0,4 \text{ kHz,}$	$n = 4$
f_{DK2}	$- f_4 = + 41,2 \text{ kHz,}$	$s = 1,5 \text{ kHz,}$	$n = 8$
f_{DK3}	$- f_4 = - 5,3 \text{ kHz,}$	$s = 3,4 \text{ kHz,}$	$n = 6$
f_{HUB}	$- f_4 = - 2,0 \text{ kHz,}$	$s = 7,1 \text{ kHz,}$	$n = 11$
$f_{PTB01/89}$	$- f_4 = + 7,2 \text{ kHz,}$	$s = 0,3 \text{ kHz,}$	$n = 8$
$f_{PTB03/86}$	$- f_4 = - 6,7 \text{ kHz,}$	$s = 3,1 \text{ kHz,}$	$n = 10$
f_{10}	$- f_4 = - 2,4 \text{ kHz,}$	$s = 2,4 \text{ kHz,}$	$n = 6$

Les lasers DK1 et DK2 avaient une amplitude de modulation non ajustable, respectivement de 5,5 MHz et 4,6 MHz crête à creux, ce qui explique en partie les différences de fréquence observées.

iii) Divers

Il y a deux ans, lors de la dernière comparaison de gravimètres absolus au BIPM, on a observé sur certains lasers asservis utilisés sur les gravimètres comme référence de longueur d'onde une reproductibilité de fréquence insuffisante. Pour améliorer cette situation et pour éviter que l'exactitude des mesures absolues de l'accélération due à la pesanteur soit limitée par la qualité des longueurs d'onde de référence, nous avons construit un petit laser asservi sur l'iode dont la reproductibilité de fréquence est de l'ordre de 1×10^{-10} en valeur relative. Ce nouveau laser a été essayé avec succès sur un gravimètre absolu du type JILA, en janvier 1991, à Boulder (É.-U. d'Amérique).

Vingt cuves à iode ont été remplies. La moitié d'entre elles a été contrôlée et, aucune ne présente un décalage de fréquence supérieur à 10 kHz.

2.3.2. Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée de l'iode en cuve interne ou externe à $\lambda = 612 \text{ nm}$ (L. Robertsson, R. Felder)

Les transformations portant sur les lasers du BIPM à $\lambda = 612 \text{ nm}$ étant terminées, nous avons entrepris l'étude de la reproductibilité et de la stabilité de leur fréquence. Des différences très significatives ont été mises en évidence entre les lasers utilisant une cuve à iode interne

(BIOR1 ou BIOR2) et celui à cuve externe (BIOR3), essentiellement en ce qui concerne l'apparence des composantes du spectre de l'iode et les fréquences mesurées des composantes hyperfines.

Ces différences de fréquence semblent normales car les conditions optimales de fonctionnement pour les deux types de laser ne sont pas les mêmes.

Pour illustrer ce fait, nous avons représenté sur la figure 2.1., pour chaque composante a_1 à a_{15} de la transition R(47) 9-2, les différences de fréquences :

$$\Delta f_{a_i}(1) = f_{a_i}(\text{BIOR1}) - f_{a_i}(\text{BIOR3}) + C_1$$

et

$$\Delta f_{a_i}(2) = f_{a_i}(\text{BIOR2}) - f_{a_i}(\text{BIOR3}) + C_2,$$

C_1 et C_2 étant choisis de telle sorte que

$$\sum_{i=1}^{15} \Delta f_{a_i}(1) = 0 \quad \text{et} \quad \sum_{i=1}^{15} \Delta f_{a_i}(2) = 0.$$

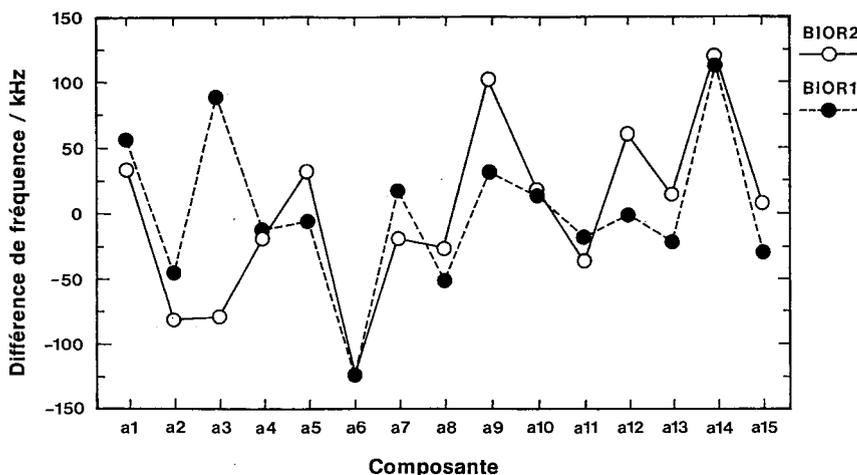


Fig. 2.1. — Différences de fréquence, pour chaque composante a_1 à a_{15} , entre BIOR1 ou BIOR2 et BIOR3.

Malgré cela, on observe encore sur la figure des différences de fréquence pour certaines composantes atteignant ± 150 kHz. Même les deux lasers à cuve interne travaillant dans des conditions similaires de fonctionnement présentent des différences de fréquence importantes pour les composantes perturbées, par exemple pour la composante a_3 . La différence de fréquence entre les lasers BIOR1 et BIOR2, pour la composante a_7 , habituellement prise comme référence, est de l'ordre de -92 kHz correspondant à 2×10^{-10} en valeur relative ; cela représente une plus mauvaise reproductibilité de fréquence que celle obtenue avec

les lasers à $\lambda = 633$ nm. De telles différences de fréquence ont déjà été observées avec ces lasers orange à cuve interne. L'estimation de l'écart-type d'une mesure, pour neuf séries de mesures échelonnées sur une semaine, est d'environ 2 kHz ou 4×10^{-12} en valeur relative; cette estimation représente la répétabilité de fréquence des deux lasers. La stabilité à court terme de la fréquence de battement des deux lasers est typiquement de 3×10^{-12} pour une durée de 1 seconde, atteignant un palier situé entre 3 et 8×10^{-13} pour une durée de 1 000 secondes suivant la composante choisie.

La différence de fréquence entre les deux lasers BIOR2 et BIOR3 pour la composante a_7 était de -23 kHz. Il faut rappeler que les résultats d'une telle comparaison dépendent du choix des conditions de fonctionnement de chaque laser. Pour ces mesures, l'amplitude de modulation et la pression d'iode pour BIOR1 et BIOR2 étaient respectivement de 7 MHz crête à creux et de 0,5 Pa. Pour BIOR3, les valeurs correspondantes étaient de 3 MHz crête à creux et de 5,0 Pa.

Prochainement, nous commencerons des mesures systématiques du spectre pour les deux types de lasers. Nous étudierons aussi la dépendance de la fréquence suivant la pression d'iode et la largeur de modulation.

2.3.3. Lasers à argon asservis sur l'absorption saturée de l'iode en cuve externe à $\lambda = 515$ nm (L. Robertsson, S. Picard, R. Goebel)

Durant l'année, la majeure partie du travail sur les lasers à argon asservis sur l'iode a concerné le développement de l'électronique nécessaire à la stabilisation de la fréquence des lasers. À la suite des résultats préliminaires obtenus à la fin de 1990, nous avons apporté des modifications aux caractéristiques de la boucle de contre-réaction rapide de stabilisation du laser sur un étalon Fabry-Perot externe. Un nouvel interféromètre, avec un facteur de qualité supérieur ($Q = 4 \times 10^8$), a été installé, ce qui a entraîné le changement de la fréquence de la bande latérale.

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

Nos travaux sur les lasers à He-Ne asservis sur le méthane ont été arrêtés pendant l'absence de R. Felder qui a passé une année au JILA. Depuis son retour, l'installation pour les comparaisons de lasers par battement de fréquence a été complètement remise en état. Les lasers ont été nettoyés et réalignés, les tubes de gain régénérés. Les asservissements ont été vérifiés et leurs circuits électroniques réglés.

Le dispositif optique utilisé pour les mesures par battement a été modifié pour permettre la vérification du bon fonctionnement du laser portable que nous avons acheté au VNIIFTRI (Moscou, URSS). Ce nouveau laser, similaire à celui utilisé par le VNIIFTRI lors des

comparaisons avec le BIPM au cours des cinq dernières années, a été étudié au BIPM du 18 au 30 mars 1991. Il s'agissait de se familiariser avec les électroniques d'asservissement et avec le fonctionnement de l'ensemble de l'équipement, ainsi que de faire des mesures de fréquence avec nos lasers de référence.

Les résultats préliminaires indiquent que les différences de fréquence entre ce nouvel appareil et nos lasers de référence sont toutes inférieures à 1 kHz (1×10^{-11} en valeur relative). Ces résultats confirment les mesures antérieures effectuées au NRC et à la PTB.

2.3.5. Laser à CO₂ à $\lambda = 10,6 \mu\text{m}$ (S. Picard)

La stabilisation d'un laser à CO₂ est un projet qui a été retenu depuis longtemps par le CIPM. À la fin de l'année 1989, la décision fut prise de commencer sa réalisation.

La construction de ce laser asservi sur OsO₄ a progressé pendant la période 1990-1991. L'assemblage complet du laser a été réalisé pour la première fois au printemps 1991. Certaines modifications de la mécanique ont cependant été nécessaires (mai 1991); la réalisation de l'électronique d'asservissement n'est pas encore très avancée. La construction de la cavité Fabry-Perot commencera vers la fin de l'année.

2.3.6. Comparaison internationale de cuves à iode (J.-M. Chartier, S. Picard)

Une comparaison internationale de cuves à iode a eu lieu au BIPM de novembre 1990 à mai 1991; il s'agissait d'étudier l'influence des impuretés sur la fréquence des composantes hyperfines et de mesurer les décalages de fréquence présentés par ces cuves qui sont utilisées pour la réalisation des références de fréquence nationales (*voir* aussi 2.3.1.). Dix laboratoires membres du CCDM ont participé à cette comparaison. Trente-cinq cuves ont été mesurées suivant deux techniques différentes: d'une part en déterminant le décalage de fréquence des composantes hyperfines à l'aide de lasers à He-Ne à $\lambda = 633 \text{ nm}$ et d'autre part en contrôlant les taux d'impuretés dans les cuves à iode par la mesure de la fluorescence induite avec un laser à argon à $\lambda = 502 \text{ nm}$.

Nos résultats confirment que les impuretés dans les cuves perturbent les fréquences du spectre hyperfin de l'iode. La relation entre les décalages de fréquence et les taux d'impuretés mesurés semble la même pour toutes les cuves bien qu'elles aient été remplies dans des laboratoires différents. Cette relation, représentée à la figure 2.2., est suffisamment bien établie pour permettre une estimation du décalage de fréquence pour des cuves qui ne pourraient pas être mesurées dans la cavité d'un laser à He-Ne asservi. Un rapport BIPM contenant tous les détails de cette comparaison sera publié plus tard et présenté au prochain CCDM.

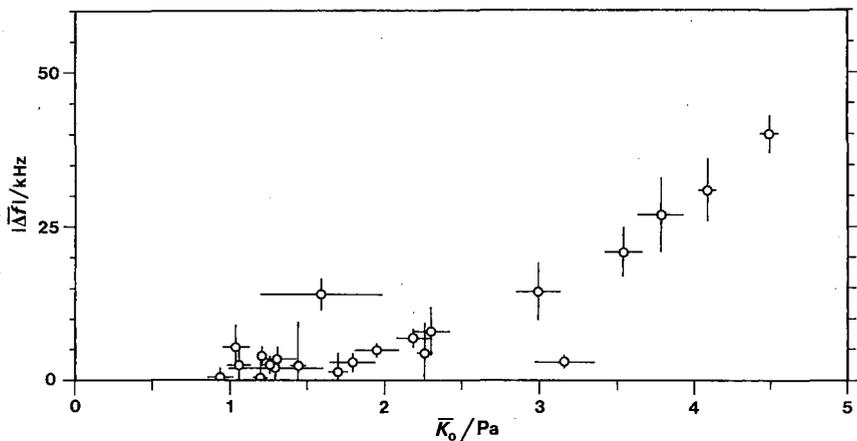


Fig. 2.2. — Diagramme montrant la relation entre la valeur absolue du décalage de fréquence des composantes hyperfines de l'iode, $|\Delta f|$, et le taux d'impuretés dans les cuves à iode (représenté par le terme \bar{K}_0 équivalent à une pression), pour les 22 cuves qui ont été mesurées par les deux techniques durant la comparaison.

2.4. Publications, conférences et voyages : section des longueurs

2.4.1. Publications extérieures

1. CHARTIER J.-M., Behaviour of Stabilized Lasers Used in Absolute Gravimeters, *Bulletin d'information du Bureau gravimétrique international*, 1990, **67**, 163-167.
2. PENDRILL L. R., CHARTIER J.-M., FRENNEBERG M., ROBERTSSON L., Intercomparison of Optical Frequencies at 473 THz of $^{127}\text{I}_2$ -Stabilized He-Ne Lasers from the Swedish National Testing and Research Institute and the Bureau International des Poids et Mesures, *Metrologia*, 1991, **28**, 95-98.
3. PENDRILL L. R., CHARTIER J.-M., FRENNEBERG M., ROBERTSSON L., Intercomparison of Optical Frequencies of I_2 -Stabilized He-Ne Lasers at BIPM, *SP Report*, 1990, **24**, 1-21.
4. BÉTEND-BON J.-P., WOSINSKI L., BREIDNE M., ROBERTSSON L., Fiber Optic Interferometer for Testing Conic Section Surfaces, *Appl. Optics*, 1991, **30**, 1715-1722.
5. CHARTIER J.-M., ROBERTSSON L., FREDIN-PICARD S., Recent Activities at BIPM in the Field of Stabilized Lasers-Radiations Recommended for the Definition of the Meter, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1991, **IM-40**, 181-184.

2.4.2. Rapports BIPM

6. ROBERTSSON L., An Expression for the Third Harmonic Line Shape of Inhomogeneously Broadened Resonances, *Rapport BIPM-90/11*, décembre 1990, 2 pages.
7. PICARD-FREDIN S., RAZET A., On the Hyperfine Structure of Iodine : 2. To Calculate Hyperfine Constants on the Basis of Experimental Data, *Rapport BIPM-91/2*, mars 1991, 23 pages.

2.4.3. Conférences et exposés

J.-M. Chartier s'est rendu à l'Observatoire de Paris, le 5 juin 1991, où il a représenté le BIPM à la *Journée mètre et système métrique* et fait un exposé intitulé « Les définitions successives du mètre ».

S. Picard a séjourné à Font-Romeu (France) du 17 au 21 juin 1991, où elle a participé au congrès TENICOLS et où elle a fait un exposé avec J.-M. Chartier et A. Chartier intitulé « Recent Results from an International Comparison of Iodine Cells ».

2.4.4. Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts)

J.-M. Chartier et L. Robertsson ont visité le SP (Borås, Suède), pour effectuer une comparaison de lasers appartenant à la Suède, au Danemark, à la Finlande, à l'Allemagne et au BIPM, du 20 août au 3 septembre 1990.

J.-M. Chartier et L. Robertsson ont visité le JILA (Boulder, É.-U. d'Amérique), pour essayer un nouveau laser à He-Ne asservi à $\lambda = 633$ nm construit au BIPM et destiné à être utilisé sur des gravimètres absolus, du 14 au 18 janvier 1991.

R. Felder, invité par le professeur Bagaev, a visité l'Institut thermodynamique à Novosibirsk (URSS), du 13 au 24 mai 1991 où il a donné un exposé intitulé « Frequency reproducibility of portable (He-Ne)/CH₄ lasers and present status of the determination of the absolute frequency of the methane molecule transition », et l'Institut Lebedev à Moscou (URSS), où il a donné un autre exposé intitulé « Role and organization of the BIPM; results of recent relative and absolute frequency measurements on (He-Ne)/CH₄ lasers ».

R. Felder a séjourné au JILA (Boulder, É.-U. d'Amérique) en août et septembre 1991, où il a poursuivi son expérience sur un petit laser portable (He-Ne)/I₂ à $\lambda = 612$ nm.

2.5. Visiteurs de la section des longueurs

2.5.1. Stagiaires

M. H. Pirée (Administration du commerce, Inspection générale de la métrologie, Bruxelles, Belgique) a séjourné au BIPM du 2 au 6 juillet 1990, pour comparer un laser asservi sur l'iode à $\lambda = 633$ nm appartenant à son laboratoire à l'un des lasers de référence du BIPM; et du 19 au 21 novembre 1990, pour vérifier un appareillage pour mesurer un battement de fréquence.

M. A. Michaud (Université Laval, Canada) a effectué un stage de janvier 1991 à janvier 1992 comme chercheur associé, il a essentiellement travaillé dans le domaine des diodes lasers asservies en fréquence.

M. O. Cramer (CSIR, Afrique du Sud) est venu au BIPM du 18 au 29 mars 1991, pour une comparaison de lasers à $\lambda = 633$ nm entre le CSIR et le BIPM.

M. Yu. S. Domnin et A. S. Oboukhov (VNIIFTRI, URSS) ont passé deux semaines du 18 au 30 mars 1991, pour vérifier le fonctionnement d'un laser asservi sur le méthane à $\lambda = 3,39$ μm construit par le VNIIFTRI et destiné au BIPM.

M. H. S. Suh (KSRI, Rép. de Corée) a participé du 14 au 28 avril 1991 à une comparaison de lasers à $\lambda = 633$ nm entre le KSRI et le BIPM.

M. S. Baytaroglu (Institut national de métrologie, Turquie) est resté au BIPM du 22 au 28 mai 1991, pour étudier la réalisation d'un laser asservi sur l'iode et pour participer à une comparaison de cuves à iode.

2.5.2. Visiteurs

M. A. J. Wallard (NPL, Teddington, Royaume-Uni), 25 octobre 1990.

M. M. Breidne (Institute of Optical Research, Stockholm, Suède), 13 novembre 1990.

Mme F. Vrabie Ionescu (INM, Bucarest, Roumanie), 12 décembre 1990.

M. Balzamo (IMGC, Turin, Italie), 18 décembre 1990.

M. J. Faller (JILA, Boulder, É.-U. d'Amérique), 25 janvier 1991.

M. H. Kunzmann (PTB, Braunschweig, Allemagne), 30 janvier 1991.

M. G. P. Barwood (NPL, Teddington, Royaume-Uni), 31 janvier 1991.

M. P. Gain (Sextant-Thomson, France), 11 mars 1991.

M. S. Jerome (NPL, Teddington, Royaume-Uni), 22 mars 1991.

M. D. Boiciuc (INM, Bucarest, Roumanie), 2 avril 1991.

M. J. Guedelha (Instituto Português da Qualidade, Lisbonne, Portugal), 9-10 avril 1991.

- M. A. Lepek (INPL, Jérusalem, Israël), 18 avril 1991.
M. T. Gustafsson (CEA, Saclay, France), 25 avril 1991.
M. C. Sallot (Quantel, Les Ulis, France), 2 mai 1991.
M. Z. Referowski (Polski Komitet Normalizacji Miar I Jakości, Varsovie, Pologne), 24 mai 1991.
M. O. Acef (LPTF, Paris, France), 3 juin 1991.
M. L. Pendrill (SP, Borås, Suède), 28-29 mai et 10 juin 1991.

3. Masse et grandeurs apparentées (G. Girard)

La troisième vérification périodique des prototypes nationaux du kilogramme a progressé : elle est arrivée à mi-parcours avec la fin des comparaisons des vingt premiers prototypes sur les quarante qui participent à cette vérification. Les autres travaux concernent l'étude des effets de surface sur les étalons en platine iridié, la conception d'une nouvelle balance fondée sur l'expérience acquise avec la balance à suspensions flexibles et la poursuite de l'étude de la balance Mettler HK 1000 MC.

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

La troisième vérification périodique des prototypes nationaux se poursuit. Ceux-ci sont associés par groupe de dix, pris dans l'ordre de leur arrivée au BIPM. Ils sont comparés tout d'abord, dans l'état dans lequel ils sont parvenus au BIPM, à deux étalons en platine iridié, puis soumis deux fois à un processus comportant un nettoyage au mélange alcool-éther suivi d'un lavage à la vapeur d'eau [1]. Les prototypes nationaux sont alors comparés à deux témoins du prototype international, le N° 8(41) et le N° 32, eux-mêmes préalablement nettoyés et lavés.

L'étude des deux premiers groupes de dix prototypes nationaux est terminée*. À partir des pesées effectuées avant et après nettoyage-lavage on peut déduire l'effet de ce traitement.

La figure 3.1 montre le changement de masse causé par le nettoyage-lavage sur les vingt prototypes nationaux déjà étudiés, en fonction du nombre d'années écoulées depuis le précédent nettoyage-lavage. Sur cette figure, on a porté également l'effet de ce traitement sur le prototype international et ses témoins. La droite de pente $- 1$ microgramme par

* La troisième vérification périodique des prototypes nationaux n'étant pas achevée, les résultats déjà obtenus peuvent être l'objet de petites modifications. Pour cette raison, le numéro du prototype auquel chaque résultat se rapporte n'est pas mentionné.

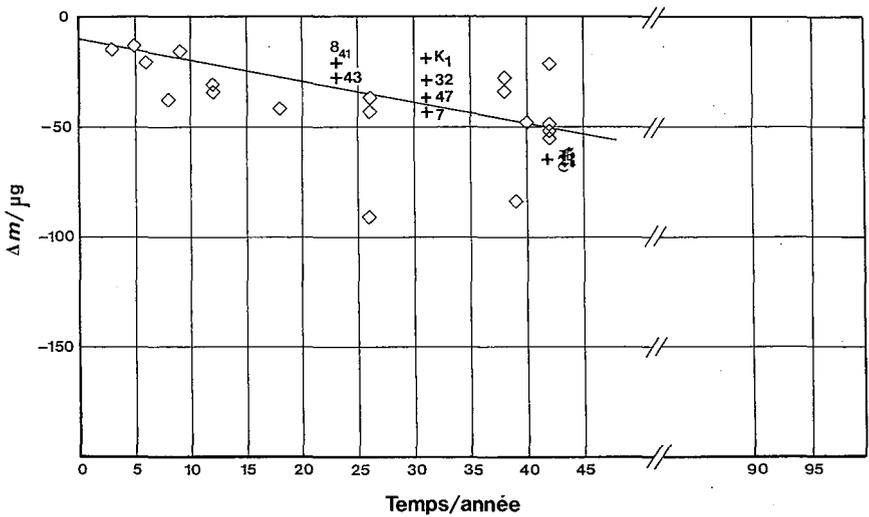


Fig. 3.1. — Changement de masse (Δm) causé par le nettoyage-lavage des prototypes en platine iridié en fonction du nombre d'années écoulées depuis le précédent nettoyage-lavage.

(\diamond prototypes nationaux ; + le prototype international et ses six témoins).

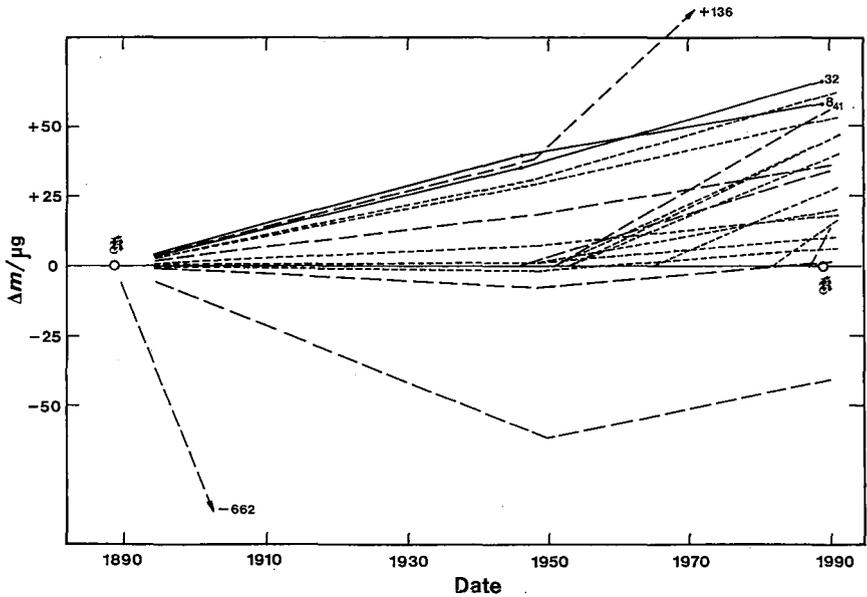


Fig. 3.2. — Évolution de la masse de vingt prototypes nationaux (----- 1^{er} groupe; - - - - - 2^e groupe) et de deux témoins du prototype international, le N° 8(41) et le N° 32 (—), par rapport à celle du prototype international.

an est celle obtenue sur la figure 2.2 du Rapport de 1989 (p. 40). Il faut noter que l'effet du nettoyage-lavage est fonction des conditions de conservation et d'utilisation de l'étalon ainsi que de la qualité de sa surface. Intervient aussi l'usage plus ou moins intensif qui en a été fait et qui risque de modifier cet effet.

La figure 3.2 indique l'évolution de la masse, par rapport à celle du prototype international, des vingt prototypes nationaux et des deux témoins N° 8(41) et N° 32 depuis leur origine (seuls les prototypes N°s 1 à 40 ont été comparés au prototype international en 1889 ; la seconde vérification périodique s'est déroulée de 1946 à 1953).

3.2. Balance Mettler HK 1000 MC et fabrication de nouveaux prototypes (G. Girard)

La balance Mettler HK 1000 MC est maintenant placée dans une enceinte étanche. Le disque du transporteur a été changé : les étalons reposent sur trois billes en acier inoxydable. Les différents paramètres nécessaires au calcul de la masse volumique de l'air sont acquis automatiquement tout au long de la pesée, ce qui permet de calculer immédiatement la masse des étalons inconnus en fonction de celle des étalons de référence.

De nombreux essais se sont poursuivis avec cette balance. Dans la comparaison de quatre étalons en acier inoxydable, la répétabilité et la reproductibilité sont respectivement caractérisées par un écart-type de 0,4 μg et de 1,5 μg . Nous avons également fait des comparaisons entre un prototype en platine iridié et trois étalons en acier inoxydable ; dans ce cas, la répétabilité et la reproductibilité, en ce qui concerne l'étalon en platine iridié, sont respectivement caractérisées par un écart-type de 0,8 μg et de 3 μg environ, en prenant l'un des étalons en acier inoxydable comme étalon de référence.

Tout récemment nous avons automatisé le déclenchement du fléau, ce qui rend ce mouvement très doux et régulier ; cela est important pour la qualité des mesures et nous permet aussi d'enchaîner autant de pesées que nous le désirons sans intervention humaine.

Un document détaillé sur les résultats obtenus avec la balance HK 1000 MC a été présenté au CCM en mai 1991 (document CCM/91-17).

Quatre nouveaux prototypes en platine iridié (N°s 77 à 80) ont été réalisés (détermination de la masse volumique, fabrication, polissage, ajustage) à partir du même lingot que celui qui a permis de préparer les prototypes N°s 75 et 76.

3.3. Nouvelle balance à suspensions flexibles FB-2 (T. J. Quinn, A. Picard)

Avec la balance prototype à suspensions flexibles que nous désignerons dorénavant par FB-1, on a observé que la répétabilité des pesées dans l'air d'étalons de masse de 1 kg en platine iridié était dix fois meilleure que celle obtenue avec la balance NBS-2 à couteaux. La nouvelle balance FB-2, que nous avons commencé à construire, aura les mêmes qualités métrologiques que la balance FB-1, mais avec la possibilité de comparer huit étalons de masse de 1 kg alors que la balance prototype ne permet d'en comparer que deux.

De même conception que la balance FB-1, la balance FB-2 possédera un fléau symétrique asservi électroniquement en position, des suspensions à lames flexibles et deux plateaux de pesée. La principale nouveauté résidera dans le système d'échange des étalons de masse ; celui-ci sera constitué d'un carrousel circulaire qui permettra, à l'aide d'un ordinateur, de transférer automatiquement les étalons à comparer vers l'un des plateaux de pesée. Ce système sera équipé de multiples sécurités afin de se protéger contre d'éventuels accidents provenant d'erreurs de manipulation ou de programmation. Cette nouvelle balance, qui sera placée dans une enceinte étanche susceptible d'être mise sous vide, devrait être opérationnelle dans le courant de l'année 1992.

3.4. Effets de surface sur les étalons de masse en platine iridié (T. J. Quinn, R. S. Davis, A. Picard)

L'étude concernant l'influence de l'air humide sur les étalons de masse en platine iridié, mentionnée dans le Rapport de 1990, p. 38, donne des résultats intéressants. Deux étalons de 1 kg ont été usinés et ajustés à l'outil au diamant ; l'un est constitué d'un empilage de quatre disques, ce qui lui donne une surface double de celle de l'autre. Les comparaisons dans l'air humide de ces deux étalons ont été effectuées en utilisant la balance FB-1, à la pression atmosphérique au voisinage de 100 kPa. Durant une période de trois mois, des mesures ont été réalisées à différentes valeurs de l'humidité relative, au voisinage de 38 %, 42 %, 50 %, 56 % et de nouveau au voisinage de 38 %. Les résultats obtenus, indiqués à la figure 3.3, montrent que l'évolution de la différence de masse entre les étalons, en fonction des variations de l'humidité dans l'air, est dix fois plus faible que celle prévue d'après les différentes études réalisées antérieurement par d'autres laboratoires. Ce résultat est peut-être dû au fait que l'état de surface obtenu par usinage à l'outil au diamant est meilleur que celui obtenu antérieurement, mais nous n'avons aucune preuve expérimentale pour étayer cette hypothèse. Les mesures se poursuivent pour déterminer les effets dus aux changements de température et de pression (jusqu'au vide) sur ces étalons.

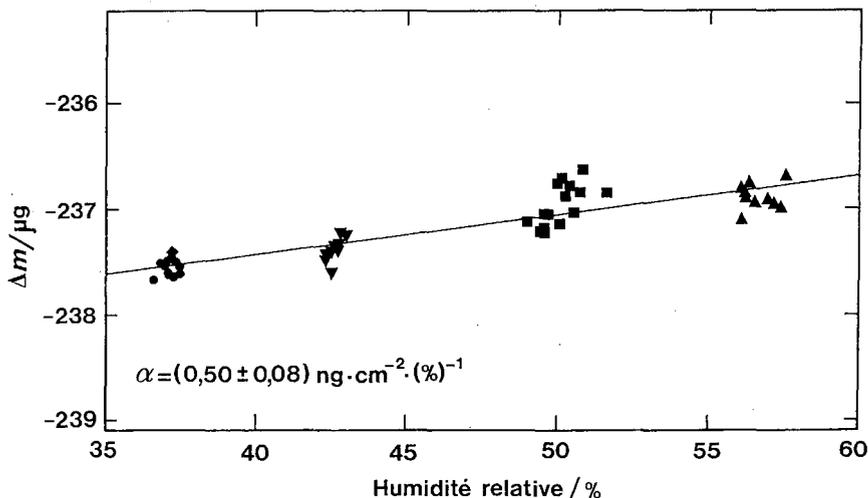


Fig. 3.3. — Variation, en fonction de l'humidité relative, de la différence de masse, Δm , entre deux étalons, l'un ayant une surface double de l'autre. Les différents symboles représentent des valeurs corrigées de la poussée de l'air et des effets dus à la température, à la pression et au temps.

3.5. Lames flexibles en monocristal de silicium (T. J. Quinn, R. S. Davis, A. Picard, C. C. Speake *)

L'an dernier (*voir* Rapport 1990, p. 39) nous avons mentionné que, durant son stage au JILA (Boulder) en 1989, C. Speake avait réalisé un pendule vertical suspendu par collage sur une lame en monocristal de silicium. Ce pendule, monté dans une chambre à vide, est actuellement au BIPM pour effectuer des mesures d'anélasticité. Les premiers résultats, obtenus en utilisant des lames de 20 μm d'épaisseur, 2 mm de longueur et 40 mm de largeur, ont donné des valeurs d'anélasticité presque deux fois plus faibles que celles obtenues avec des lames flexibles en cuivre-béryllium.

Ce travail est actuellement interrompu : en effet, il est très difficile de manipuler ces lames extrêmement fragiles et nous les avons toutes cassées. En attendant d'en recevoir d'autres, nous avons construit un nouveau pendule qui, nous l'espérons, sera moins cause de détérioration des lames flexibles.

* School of Physics and Space Research, Université de Birmingham, Royaume-Uni.

3.6. Effet des forces magnétiques sur les balances (R. S. Davis)

La précision tout à fait remarquable de la balance à suspensions flexibles FB-1 à asservissement magnétique par des aimants sans blindage nous a amenés à rechercher les sources d'interactions magnétiques indésirables. Cette étude a été menée sur les plans théorique et expérimental. La conclusion de l'analyse théorique est que les aimants sans blindage utilisés pour l'asservissement n'introduisent pas d'erreurs importantes tant que des précautions acceptables sont prises. Il s'agit surtout de l'élimination scrupuleuse de tous les matériaux faiblement magnétiques dans les parties mobiles de la balance, par exemple le carrousel et le système de dépôt de la surcharge. Les masses elles-mêmes devraient être considérées comme des parties mobiles, mais nous savons que les valeurs limites de la susceptibilité des étalons de masse sont suffisamment voisines pour éviter tout problème.

Afin de sélectionner les matériaux utilisés pour la construction des parties sensibles d'une balance, nous avons réalisé un appareil assez simple dont le principe, semble-t-il original, est le résultat direct de l'analyse théorique. Cet appareil, qui mesure la force attractive entre un dipôle magnétique et l'échantillon, se compose principalement d'une balance analytique à un seul plateau et de deux aimants semblables à ceux utilisés pour l'asservissement de la balance FB-1. L'appareil est quantitativement sensible au paramagnétisme du platine iridié et travaille à champ suffisamment faible pour éviter la saturation des matériaux légèrement magnétiques, tels que les aciers inoxydables « non-magnétiques ». On peut étudier des échantillons dans une gamme de dimensions étendue. Nous avons mesuré des susceptibilités dans un domaine de trois ordres de grandeur et nous estimons que l'incertitude totale des mesures ne dépasse pas 20 % dans tous les cas.

3.7. Gravimétrie (A. Sakuma)

Des travaux préparatoires ont été effectués pour établir deux nouvelles stations gravimétriques absolues en France, à Clermont-Ferrand (altitude 401 m) et au sommet du Puy-de-Dôme (altitude 1 464 m). Cette installation, qui utilisera le gravimètre absolu transportable du BIPM, est réalisée en collaboration avec le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM), Orléans, dans le but de procurer une base d'étalonnage ayant une grande différence de g ($2,3 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-2}$) entre deux stations proches l'une de l'autre (environ 10 km). On espère établir cette différence avec une incertitude relative d'environ 1×10^{-5} . Cette nouvelle base s'ajoutera aux six stations établies avant 1983, à savoir : Sèvres, Orléans, Toulouse, Marseille, Dijon, Nancy.

3.8. Publications, conférences et voyages : section des masses

3.8.1. Rapport BIPM

1. GIRARD G., Le nettoyage-lavage des prototypes du kilogramme au BIPM, BIPM, 1990, 19 pages.

3.8.2. Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts)

G. Girard et R. S. Davis ont assisté à une réunion d'EUROMET sur les masses et grandeurs apparentées au NPL (Royaume-Uni), les 5 et 6 décembre 1990. G. Girard a été invité à faire un exposé sur le nettoyage des étalons de masse et R. S. Davis, un exposé sur les études de stabilité des étalons en platine iridié polis à l'aide d'un outil au diamant.

R. S. Davis a assisté à la réunion « Mass Measurements: Principle and Practices » organisée par le U.S. Institute of Nuclear Materials Management, Atlanta, É.-U. d'Amérique, du 22 au 24 avril 1991. Il a été invité à faire un exposé sur le rôle des étalons dans le contrôle de qualité.

3.9. Visiteurs de la section des masses

Mme F. Vrabie Ionescu (INM, Bucarest, Roumanie), 13 décembre 1990.

MM. B. P. Kibble (NPL, Teddington, Royaume-Uni) et E. R. Williams (NIST, Gaithersburg, É.-U. d'Amérique), 23 janvier 1991.

M. P. Pinot (INM, Paris), 27 février 1991.

M. S. Baytaroglu (Institut national de métrologie, Istanbul, Turquie), 26 avril 1991.

M. N. Bignell (CSIRO, Lindfield, Australie), 27 mai 1991.

M. Shi Changyan et Mme Sun Ruixian (NIM, Beijing, Rép. pop. de Chine), 3 juin 1991.

4. Temps (C. Thomas)

4.1. Temps atomique international (TAI) et Temps universel coordonné (UTC)

Les échelles de temps TAI et UTC ont été régulièrement établies et disséminées selon les méthodes habituelles. La nouveauté la plus importante dans notre travail courant est l'accroissement du volume des données du GPS que nous recevons et que nous traitons. Le nombre

des laboratoires participant à l'élaboration du TAI et équipés de récepteurs de temps du GPS a en effet augmenté de 25 % depuis septembre 1990.

Comme lors des années précédentes, nous devons déplorer le fait que la conformité de l'intervalle unitaire du TAI avec la seconde du SI repose presque entièrement sur les données d'un seul laboratoire, la PTB, où les étalons primaires sont bien plus exacts qu'ailleurs. On observe que la fréquence du TAI a tendance à décroître par rapport à la fréquence des étalons de la PTB. On a donc dû procéder à deux corrections de « pilotage » de $0,75 \times 10^{-14}$ (en valeur normée) en février et en avril 1991. Plusieurs nouveaux étalons primaires de fréquence, qui utilisent des moyens optiques pour la préparation et la détection des atomes, sont actuellement en cours de mise au point ; on pense que leur exactitude sera comparable à celle des étalons de la PTB. Les résultats de l'étude de leurs performances seront d'un grand intérêt dans les toutes prochaines années.

4.2. Algorithmes pour les échelles de temps (J. Azoubib, C. Thomas, P. Tavella *)

Une comparaison de l'algorithme du NIST, utilisé pour établir l'échelle AT1, et de l'algorithme ALGOS du BIPM, utilisé pour établir le TAI, a montré que ces deux algorithmes reposent sur les mêmes idées fondamentales, en particulier qu'ils définissent l'échelle de temps comme une moyenne pondérée de lectures d'horloges. Cependant ils utilisent des modes de prédiction de fréquence et de pondération différents car ils sont adaptés à des durées de cycle de mesures et à des délais d'accessibilité différents [1].

L'algorithme ALGOS, conçu pour optimiser la stabilité à long terme, a donné encore pleine satisfaction, en particulier pour son efficacité à réduire le bruit saisonnier et la dérive de fréquence de l'échelle de temps qu'il produit. L'effet de corrélation de chaque élément avec la moyenne d'ensemble a été étudié théoriquement et numériquement. Des caractéristiques bien particulières de la pondération dans ALGOS font que cet effet est en fait négligeable, même pour un petit nombre d'horloges [2]. Cependant des mises à jour de l'algorithme du TAI sont actuellement à l'étude, afin de profiter de la réduction importante du bruit des comparaisons horaires due à une plus large utilisation du GPS. Le nombre croissant d'horloges du TAI présentant une dérive naturelle, par exemple les masers à hydrogène, suscite aussi la mise au point d'autres modes de prédiction de fréquence et de pondération spécifiques à ces dispositifs.

* Stagiaire.

L'idée d'utiliser le filtrage de Kalman pour générer une échelle de temps est encore d'actualité. Ce filtre est optimal au sens des moindres carrés, linéaire, récursif et bien adapté en cas de bruit blanc. Une fois que l'échelle de temps générée par l'ensemble est convenablement définie, cette technique se révèle efficace pour filtrer du bruit blanc de mesure ou du bruit blanc de fréquence d'horloge [3].

Lors de sa 11^e session, le CCDS a demandé au BIPM de préparer un rapport sur les corrélations entre les horloges qui participent au TAI. De telles corrélations peuvent être simplement liées à une cause extérieure comme le bruit des comparaisons horaires ou le bruit du TAI lui-même. Cependant, des corrélations réelles existent aussi ; la principale cause en est le changement des conditions d'environnement des horloges, tout particulièrement les variations d'humidité relative [19].

4.3. Liaisons horaires (W. Lewandowski, G. Petit, C. Thomas)

Dans le domaine des liaisons horaires, notre activité est encore dominée par l'amélioration des comparaisons par le GPS [4]. Mais nous suivons aussi de près le développement du système GLONASS et les expériences de comparaisons horaires avec aller et retour.

4.3.1. Global Positioning System (GPS)

Un certain nombre de raffinements ont été apportés aux calculs réguliers des comparaisons horaires par le GPS. Pour la plupart des liaisons nous procédons maintenant par vues simultanées strictes, c'est-à-dire synchronisées à la seconde. Cela permet de se débarrasser du bruit d'horloge qui peut être appliqué volontairement aux satellites du bloc II en cas d'accès sélectif (Selective Availability, SA) [5]. Le degré de lissage appliqué aux données brutes du GPS a été aussi ajusté en fonction de la longueur de la ligne de base entre stations horaires. La précision d'une mesure [$UTC(\text{Lab1}) - UTC(\text{Lab2})$] est alors d'environ 2 ns à courte distance et 8 ns à longue distance.

Les coordonnées de l'antenne des récepteurs du GPS, dont l'harmonisation dans un référentiel unique (ITRF88) avait été effectuée par le BIPM en juin 1990, sont sans cesse redéterminées de manière plus précise. De plus, la même méthode est appliquée à tout nouveau laboratoire qui s'équipe d'un récepteur du GPS.

Une autre de nos activités courantes consiste à vérifier les retards internes différentiels entre récepteurs du GPS en fonctionnement normal dans les laboratoires qui contribuent au TAI. Depuis le début d'avril 1991, nous avons organisé trois campagnes d'étalonnage de récepteurs : une entre l'OP (Paris, France) et le NIST (Boulder, É.-U. d'Amérique), une autre entre l'OP, le TAO (Tokyo, Japon) et le CRL (Tokyo, Japon)

et enfin la troisième entre l'OP, l'OCA (Grasse, France) et le TUG (Graz, Autriche).

Dans le cadre de l'organisation des comparaisons horaires au niveau international, nous continuons à établir régulièrement les programmes de poursuite des satellites du GPS.

Améliorer encore la qualité des comparaisons horaires par le GPS supposerait l'emploi d'éphémérides précises des satellites ainsi que de retards ionosphériques, mesurés le long de la ligne de visée. Des éphémérides précises produites par la Defence Mapping Agency (É.-U. d'Amérique) sont reçues régulièrement par le BIPM. Cependant, elles ne peuvent pas encore être employées dans le travail courant parce qu'elles arrivent trop tard. Les retards ionosphériques mesurés ne sont utilisés de manière opérationnelle que pour les comparaisons OP-TAO.

Les éphémérides précises et les retards ionosphériques mesurés ont été utilisés pour plusieurs études visant à déterminer la précision et l'exactitude des comparaisons horaires par la technique des vues simultanées sur de longues distances. Nous avons d'abord étudié la liaison OP-NIST [6], puis combiné trois liaisons, OP-NIST, NIST-CRL et CRL-OP, afin de tester la condition de fermeture [7, 8]. Nous avons pu alors montrer que, dans ces conditions, la précision d'une mesure de comparaison horaire est de l'ordre de 4 ns et que la condition de fermeture est remplie à quelques nanosecondes près pour des moyennes journalières. On accède ainsi aux performances des meilleures horloges actuelles sur des moyennes de l'ordre de la journée.

Le BIPM s'efforce aussi d'établir une meilleure normalisation des récepteurs de temps du GPS. De nouvelles anomalies ont été découvertes dans les logiciels utilisés par des récepteurs très courants, comme par exemple une incohérence dans la référence de temps choisie pour commencer les poursuites. De plus, il faut s'interroger sur la conception même de ces récepteurs, certains d'entre eux présentant une sensibilité inattendue aux variations de la température ambiante [9].

4.3.2. Global Navigation Satellite System (GLONASS)

Le GLONASS est le système soviétique équivalent au GPS. Les satellites du GLONASS sont observés régulièrement par P. Daly, professeur à l'Université de Leeds (Royaume-Uni) et par le VNIIFTRI à Moscou (URSS). Le BIPM utilise leurs résultats pour établir une liaison horaire entre l'Europe de l'Ouest et l'URSS avec une précision de l'ordre d'une centaine de nanosecondes. Des valeurs de UTC — temps du GLONASS sont publiées dans la *Circulaire T du BIPM*.

Le BIPM, le VNIIFTRI et l'Université de Leeds préparent conjointement une expérience visant à comparer les techniques du GLONASS et du GPS.

4.3.3. Comparaisons horaires par aller et retour

La précision des comparaisons horaires effectuées par aller et retour de signaux radioélectriques relayés par un satellite de télécommunication est de l'ordre de quelques centaines de picosecondes. Il est possible que l'exactitude atteinte soit de quelques nanosecondes mais cela n'a pas encore été démontré. En 1989, le BIPM a contribué au développement d'expériences de ce type en organisant une collaboration entre le NIST, l'USNO et plusieurs laboratoires européens. Ultérieurement, une telle expérience a effectivement eu lieu entre l'Observatoire de la Côte d'Azur (Grasse, France) et le TUG (Graz, Autriche), de novembre 1990 à avril 1991. À cette occasion, on a fait appel à la compétence du BIPM en matière de traitement des données du GPS pour une étude comparative des techniques du GPS et d'aller et retour par satellite géostationnaire [10].

4.4. Définition des échelles de temps, relations avec l'astronomie (B. Guinot)

Dans le cadre de l'activité du Groupe de travail de l'UAI sur les systèmes de référence (WGRS), le Sous-groupe sur les repères de référence et les origines, animé par J. Kovalevsky, et le Sous-groupe sur le temps, animé par B. Guinot, ont conjointement proposé de fonder leurs travaux d'une manière homogène sur une métrique de l'espace-temps explicitement recommandée. Pour le temps, cela conduit à définir diverses échelles de temps-coordonnée dont la réalisation repose sur des transformations relativistes du TAI. Le TAI lui-même apparaît comme la réalisation d'un Temps terrestre (TT) idéal. Cette définition est compatible avec celle qu'avait donnée le CCDS en 1980. Ces propositions ont été votées au sein du WGRS. Elles seront soumises à l'Assemblée générale de l'UAI en août 1991 [11].

Une réflexion a été engagée sur des problèmes de dimensionnement des lectures des échelles de temps et de constantes qui sont liées à ces échelles [12]. Des travaux ont été poursuivis au sujet de la définition du Temps universel ainsi que sur la rotation terrestre [13, 14]. Des travaux sur la mesure du temps, ayant, pour certains, un caractère historique, sont en cours ; des éléments de ces travaux ont été publiés [15].

4.5. Pulsars (G. Petit, B. Guinot, C. Thomas, P. Tavella)

Les pulsars à la milliseconde sont des objets de notre galaxie qui sont en rotation avec une période très stable. Le chronométrage des pulsars, fait par les radioastronomes, constitue actuellement, parmi les utilisations des échelles de temps, celle qui en exige la plus grande stabilité. Les pulsars pourraient aussi permettre d'identifier les instabilités à long terme des échelles de temps atomique. La relation entre le temps

atomique et la rotation des pulsars a fait l'objet d'un travail de synthèse [16]. On étudie la possibilité de développer une échelle de temps des pulsars à partir du chronométrage de plusieurs pulsars. Enfin une collaboration pratique a débuté avec les radioastronomes engagés dans l'observation des pulsars (prêt d'un récepteur du GPS à l'Observatoire de Nançay [18]).

4.6. Autres activités

4.6.1. Installation d'un laboratoire de temps au BIPM (C. Thomas)

Une horloge à césium commerciale prêtée par l'USNO, l'électronique annexe, un récepteur de temps du GPS et un système de mesure de retards ionosphériques constituent les éléments de base du tout nouveau laboratoire de temps installé au BIPM. En plus, grâce à la générosité de quelques laboratoires horaires et de sociétés privées, nous avons rassemblé plusieurs récepteurs de temps du GPS et des appareils pour la mesure des retards ionosphériques que nous pouvons éventuellement transporter. Nous sommes ainsi capables de mener à bien nos campagnes d'étalonnage et aussi de collaborer à des expériences bien spécifiques développées à l'extérieur du BIPM.

Le signal à 5 MHz produit par l'horloge à césium peut être utile comme référence de fréquence pour certaines expériences dans d'autres sections du BIPM, en raison de sa bonne stabilité à long terme. Une distribution de ce signal à l'intérieur du BIPM est en cours d'installation.

4.6.2. Interférométrie à très longue base (G. Petit)

La radio-interférométrie à très longue base (ou Very Long Baseline Interferometry, VLBI) est la technique la plus précise pour la réalisation de systèmes de référence en géodésie et en astrométrie. C'est l'une des techniques les plus exigeantes en matière de stabilité des horloges atomiques pour des durées allant de 1 minute à 1 jour. Elle pourrait aussi être utilisée pour les comparaisons horaires. Nous participons à deux programmes dans ce domaine. D'une part, en collaboration avec l'Institut géographique national (France), nous participons au traitement des données de la campagne de VLBI mobile européenne de 1989, qui vise à mettre sur pied un système géodésique européen avec une précision de l'ordre du centimètre. Ce réseau servira de base pour le positionnement centimétrique par le GPS en Europe occidentale; il intéressera en particulier la plupart des laboratoires horaires. D'autre part nous participons à des observations par VLBI de pulsars à la milliseconde. Ces observations serviront à relier entre eux les systèmes de référence célestes extragalactique et dynamique, et pourraient permettre d'identifier dans les données de chronométrage de pulsars des signatures annuelles dues à l'échelle de temps ou à l'orbite de la Terre.

4.7. Publications, conférences et voyages : section du temps

4.7.1. Publications extérieures

1. TAVELLA P., THOMAS C., Comparative Study of Time Scale Algorithms, *Metrologia*, 1991, **28**, 57-63.
2. TAVELLA P., AZOUBIB J., THOMAS C., Study of the Clock-Ensemble Correlation in ALGOS using Real Data, *Proc. 5th EFTF*, 1991, 435-441.
3. TAVELLA P., THOMAS C., Time Scale Algorithm : Definition of Ensemble Time and Possible Uses of the Kalman Filter, *Proc 22nd PTTI*, 1990, 157-170.
4. LEWANDOWSKI W., THOMAS C., GPS Time Transfer, *Proceedings IEEE, IEEE Special issue on Time*, 1991, **79**, 991-1000.
5. ALLAN D. W., GRANVEAUD M., KLEPCZYNSKI W. J., LEWANDOWSKI W., GPS Time Transfer with Implementation of Selective Availability, *Proc. 22nd PTTI*, 1990, 145-156.
6. LEWANDOWSKI W., PETIT G., THOMAS C., WEISS M. A., The Use of Precise Ephemerides, Ionospheric Data and Corrected Antenna Coordinates in a Long-Distance GPS Time Transfer, *Proc. 22nd PTTI*, 1990, 547-558.
7. LEWANDOWSKI W., PETIT G., THOMAS C., WEISS M. A., GPS Time Closure around the World using Precise Ephemerides, Ionospheric Measurements and Accurate Antenna Coordinates, *Proc. 5th EFTF*, 1991, 215-220.
8. LEWANDOWSKI W., PETIT G., THOMAS C., Accuracy of GPS time comparisons, *Journées 1991, Systèmes de référence spatio-temporels*, Observatoire de Paris, 1991, 51-56.
9. LEWANDOWSKI W., TOURDE R., Sensitivity to the External Temperature of Some GPS Time Receivers, *Proc. 22nd PTTI*, 1990, 307-316.
10. UHRICH P., TOURDE R., GRANVEAUD M., GRUDLER P., BAUMONT F., VEILLET C., FÉRAUDY D., TORRE J.-M., MANGIN J.-F., GAIGNEBET J., HATAT J.-L., HANSON W., CLEMENS A., JESPERSEN J., LOMBARDI M., KIRCHNER D., THYR U., KIRCHNER G., RESSLER H., KLEPCZYNSKI W. J., WHEELER P. J., POWELL W., DAVIS A., LEWANDOWSKI W., Preliminary comparison of time transfers via LASSO, GPS and two-way satellite, *Proc. 5th EFTF*, 1991, 96-104.
11. GUINOT B., Report of the Sub-Group on Time, *Proc. IAU Coll.*, 1991, **127**, 3-16.

12. GUINOT B., La nature des échelles de temps, définitions, notations, In *Journées 1991, Systèmes de référence spatio-temporels*, Observatoire de Paris, 1991, 3-10.
13. GUINOT B., L'origine non-tournante et la définition du Temps universel, In *Journées 1990, Systèmes de référence spatio-temporels*, Observatoire de Paris, 1990, 139-144.
14. GUINOT B., Une définition conceptuelle du Temps universel et ses conséquences, *Navigation (Inst. fr.)*, 1991, **154**, 283-291.
15. GUINOT B., Le rôle d'André Danjon dans la mesure du temps, In *Journées 1990, Systèmes de référence spatio-temporels*, Observatoire de Paris, 1990, 131-136.
16. GUINOT B., Petit G., Atomic time and the rotation of pulsars, *Astron. Astrophys.*, 1991, **248**, 292-296.
17. QUINN T. J., The BIPM and the Measurement of Time, *Proceedings IEEE, IEEE Special issue on Time*, 1991, **79**, 894-905.

4.7.2. Rapports BIPM

18. PETIT G., Évaluation de l'incertitude de datation pour le chronométrage des pulsars milliseconde à l'Observatoire radioastronomique de Nançay, *Rapport BIPM-91/3*, juillet 1991, 6 pages.
19. TAVELLA P., THOMAS C., Report on correlations in the frequency changes among the clocks contributing to TAI, *Rapport BIPM-91/4*, juillet 1991, 49 pages.

4.7.3. Conférence et exposés

W. Lewandowski a participé :

— aux réunions du Civil GPS Service Interface Committee (précédemment le Civil GPS Service Steering Committee) à Alexandria (É.-U. d'Amérique), du 16 au 18 janvier 1991, à Reston (É.-U. d'Amérique), du 3 au 7 juin 1991 et à Albuquerque (É.-U. d'Amérique), du 9 au 10 septembre 1991. Il y a présenté nos travaux sur la sensibilité à la température extérieure des récepteurs de temps du GPS, sur le traitement des données du GPS pendant l'activation de l'accès sélectif (SA) et sur l'expérience de fermeture autour du monde par le GPS ;

— à l'atelier sur les systèmes de navigation au LSRRRI de Léningrad (URSS), du 24 au 27 juin 1991. Il a donné une conférence sur les comparaisons horaires par GPS. Il a aussi visité les laboratoires où l'on fabrique les horloges des satellites du GLONASS et les récepteurs du GLONASS.

G. Petit a participé à l'assemblée annuelle du Comité national français de géodésie et géophysique, le 15 janvier 1991, à Paris (France). Il y a présenté un rapport sur les activités de la Section du temps du BIPM. Il a aussi donné une conférence à l'Institut géographique national à Paris (France), le 15 mai 1991, sur la radio-interférométrie à très longue base.

B. Guinot a donné une conférence sur le temps à l'Institut géographique national, Paris (France), le 27 mars 1991.

4.7.4. Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts)

W. Lewandowski s'est rendu :

— à Tysons Corner (É.-U. d'Amérique) du 4 au 6 décembre 1990, pour assister à la 22^e réunion du PTTI ;

— à Rockville (É.-U. d'Amérique) le 7 décembre 1990, pour visiter le National Geodetic Survey et y discuter l'éventuelle mise à la disposition du BIPM des éphémérides des satellites du GPS enregistrées dans la région du Pacifique-Nord ;

— à Besançon (France) du 12 au 14 mars 1991, pour assister au 5^e Forum européen fréquence et temps ;

— à Grasse (France) le 11 avril et le 15 mai 1991, pour installer un récepteur de temps du GPS à l'Observatoire de la Côte d'Azur ;

— à Moscou (URSS) du 18 au 23 juin 1991, pour installer un récepteur du GPS au VNIIFTRI et pour discuter des comparaisons horaires par le GLONASS ;

— à Archweiler (Allemagne) du 7 au 9 août 1991, pour assister à la réunion du First GPS IERS and Geodynamics Experiment 1991 ;

— à Vienne (Autriche) du 13 au 17 août 1991, pour participer à la 20^e Assemblée générale de l'UGGI ;

— à Graz (Autriche) le 15 août 1991, pour discuter avec M. Kirchner (TUG) à propos de la comparaison des techniques GPS et aller et retour, pour les comparaisons horaires ;

— à Albuquerque (É.-U. d'Amérique) du 11 au 13 septembre 1991, pour participer à la réunion de l'American Institute of Navigation GPS-91.

G. Petit s'est rendu :

— à Tysons Corner (É.-U. d'Amérique) du 4 au 6 décembre 1990, pour assister à la 22^e réunion du PTTI ;

— à Toulouse (France) les 10 et 11 janvier 1991, pour participer au conseil scientifique du Groupe de recherches de géodésie spatiale et pour discuter avec MM. L. Boloh et T. Fayard (CNES) à propos du corrélateur VLBI pour l'observation de pulsars ;

— à Nançay (France) le 22 mai 1991, pour installer un récepteur de temps du GPS à l'Observatoire radioastronomique ;

— à Dwingeloo (Pays-Bas) les 13 et 14 juin 1991, pour participer à la 8^e réunion de travail sur la radio-interférométrie à très longue base en Europe, pour la géodésie et l'astronomie ;

— à Buenos Aires (Argentine) du 21 juillet au 1^{er} août 1991, pour participer à la 21^e assemblée générale de l'UAI.

C. Thomas s'est rendue :

— à Besançon (France) les 10 et 11 mars 1991, pour participer à l'atelier sur les étalons primaires de fréquence.

B. Guinot s'est rendu :

— à Virginia Beach (É.-U. d'Amérique) du 15 au 20 octobre 1990, pour participer au Colloque 127 de l'UAI sur les systèmes de référence et y présider le sous-groupe de travail sur le temps ;

— à Neuchâtel (Suisse) le 16 novembre 1990, pour participer au conseil scientifique du Forum européen fréquence et temps ;

— à Toulouse (France) le 10 janvier 1991, pour participer au conseil scientifique du Groupe de recherches de géodésie spatiale ;

— à Paris (France) le 20 février 1991, pour présider le conseil scientifique national du Bureau central de l'IERS ;

— à Besançon (France) du 12 au 14 mars 1991, pour assister au 5^e Forum européen fréquence et temps.

4.8. Activités en liaison avec des organismes extérieurs

W. Lewandowski participe aux travaux de l'UGGI.

G. Petit participe aux travaux de l'UAI ; il est membre du groupe de travail sur les constantes astronomiques. Il est aussi membre du conseil scientifique du Groupe de recherches de géodésie spatiale (France) et membre du Comité national français de géodésie et géophysique.

C. Thomas participe aux travaux de l'UAI. Elle est aussi membre du groupe de travail Terminologie et notations en géodésie (France) et membre du Comité national français de géodésie et géophysique.

B. Guinot participe aux travaux de l'UAI. Il est membre des conseils scientifiques du Groupe de recherches de géodésie spatiale (France) et du Forum européen fréquence et temps. Il est président du conseil scientifique français du Bureau central de l'IERS. Il est membre du Bureau des longitudes (Paris), correspondant de l'Académie des sciences (Paris) et membre de l'Academia Europaea.

4.9. Visiteurs de la section du temps

4.9.1. Stagiaires

Mme P. Tavella (IEN, Turin, Italie) a effectué deux stages du 5 au 16 novembre 1990 et du 4 au 11 mars 1991, au cours desquels elle a continué diverses études sur les algorithmes d'échelles de temps.

4.9.2. Visiteurs

M. A. De Marchi (Université d'Ancône, Ancône, Italie) le 18 octobre 1990, pour parler avec C. Thomas des progrès récents des étalons primaires de fréquence.

M. P. Urich (LPTF, Paris, France) le 31 janvier 1991, pour discuter d'une possible collaboration avec W. Lewandowski, G. Petit et C. Thomas à propos d'une expérience de comparaison horaire par aller et retour.

M. M. A. Weiss (Time and Frequency Division, NIST, Boulder, É.-U. d'Amérique) le 7 novembre 1990 et du 18 au 21 mars 1991, pour discuter du GPS avec W. Lewandowski, G. Petit et C. Thomas.

MM. A. S. Oboukhov et Yu. S. Domnin (VNIIFTRI, Moscou, URSS) le 19 mars 1991, pour discuter avec C. Thomas d'un éventuel prêt de matériel.

M. A. Lepek (INPL, Jérusalem, Israël) le 23 avril 1991, pour visiter la section du temps.

M. M. Imae (CRL, Tokyo, Japon) et M. K. Takagi (Nihon Tsushinki Company, Kanagawa, Japon) du 12 au 19 septembre 1991, pour installer un appareil commercial de mesure de retards ionosphériques fabriqué au Japon.

5. Électricité (T. J. Witt)

5.1. Remarques générales

Parmi les faits marquants des activités de cette année se trouve la réalisation de comparaisons de très haute précision entre les deux étalons de tension à réseau de jonctions de Josephson du BIPM et entre un étalon du BIPM et des étalons de laboratoires nationaux, cela avec des accords et des incertitudes de l'ordre de 0,1 à 1 nV. En métrologie des résistances, la première mesure de grande précision de la résistance de Hall quantifiée (RHQ) en courant alternatif à basse fréquence a été réalisée avec un système de mesure cryogénique. Cela a conduit à la

mise au point d'un nouveau dispositif à température ambiante pour la mesure des résistances étalons. Presque tous les résultats des mesures retour des laboratoires ayant participé à la comparaison de résistances de 1990 sont maintenant parvenus au BIPM; un accord relatif de quelques 10^{-8} a souvent été obtenu.

5.2. Potentiel électrique

5.2.1. Effet Josephson (D. Reymann)

Depuis l'année dernière, une part importante de nos efforts a été consacrée aux comparaisons de réseaux de jonctions de Josephson. Un deuxième étalon de tension a été assemblé pour servir de potentiomètre ou de système de secours et pour être utilisé lors de comparaisons avec d'autres laboratoires. Les caractéristiques de cet instrument sont semblables à celles du précédent, l'amélioration principale étant l'utilisation d'une boucle d'asservissement de fréquence, don de l'ETL au BIPM, pour la source d'ondes millimétriques.

Des comparaisons ont été faites par deux méthodes différentes, l'une indirecte utilisant l'étalon de transfert de tension [2] du BIPM, l'autre directe. Dans la méthode indirecte, le deuxième réseau est connecté à l'entrée de l'étalon de transfert à la place habituelle de la pile étalon. La méthode indirecte présente l'avantage de permettre la comparaison de deux réseaux même lorsqu'ils sont tous les deux connectés à la masse, tandis que la méthode directe ne peut être utilisée que si l'un d'eux au moins est flottant.

La première comparaison a été faite entre les deux étalons de tension à réseau de jonctions de Josephson du BIPM. Après cela, l'étalon de tension à réseau de Josephson du DFM (Danemark) a été apporté fin janvier au BIPM et comparé à l'un des étalons du BIPM [3]. L'un des buts de ce travail était de servir de comparaison pilote au projet 199 d'EUROMET, en étudiant les facteurs qui limitent l'exactitude de telles comparaisons. En janvier, la stabilisation de fréquence de l'étalon du DFM était l'un de ces facteurs, l'écart-type relatif de la moyenne pour une mesure d'une minute étant de l'ordre de 4×10^{-9} .

À la fin du mois de mai, l'étalon Josephson du BIPM a été transporté à Braunschweig et comparé à celui de la PTB. À la même époque, l'étalon du DFM, amélioré à la suite de la comparaison de janvier au BIPM, a été aussi apporté à la PTB et comparé à celui du BIPM pour la deuxième fois.

En juillet, l'étalon Josephson du LCIE a été apporté au BIPM et comparé à celui du BIPM. Les résultats des mesures indirectes étant anormalement dispersés, sans qu'une explication valable soit trouvée, leur poids statistique dans le résultat final est peu significatif.

Les résultats globaux de ces comparaisons sont donnés ci-dessous, exprimés sous la forme des différences entre les valeurs qui seraient attribuées à une pile étalon par les différents instruments. Les incertitudes sont uniquement de type A.

Au BIPM :

$$\begin{aligned} U_{\text{BIPM}(1)} - U_{\text{BIPM}(2)} &= 0,03 \text{ nV}, & \sigma &= 0,12 \text{ nV}. \\ U_{\text{DFM}} - U_{\text{BIPM}} &= -0,7 \text{ nV}, & \sigma &= 0,3 \text{ nV}. \end{aligned}$$

À la PTB :

$$\begin{aligned} U_{\text{PTB}} - U_{\text{BIPM}} &= -0,1 \text{ nV}, & \sigma &= 0,1 \text{ nV}. \\ U_{\text{DFM}} - U_{\text{BIPM}} &= 0,2 \text{ nV}, & \sigma &= 0,3 \text{ nV}. \end{aligned}$$

Au BIPM :

$$U_{\text{LCIE}} - U_{\text{BIPM}} = -0,1 \text{ nV}, \quad \sigma = 0,1 \text{ nV}.$$

Pour ces mesures, les incertitudes de type B vont de 0,3 nV à environ 0,8 nV et il est satisfaisant de constater que les différences observées entre les réseaux ne sont pas significatives. Néanmoins, il est important d'améliorer la manière dont les laboratoires utilisent leurs étalons à réseau de jonctions de Josephson ; beaucoup d'entre eux se servent encore d'étalons à diode de Zener, ce qui augmente beaucoup l'incertitude obtenue.

Des comparaisons avec d'autres laboratoires nationaux sont prévues d'ici à la fin de l'année 1991.

5.2.2. Progrès dans la mesure des étalons électroniques à diodes de Zener

Le châssis contenant le comparateur de 1,018 V à 10 V a été thermorégulé et le rapport du comparateur est maintenant reproductible à quelques 10^{-9} près en valeur relative.

Pour améliorer la reproductibilité des mesures, nous avons commencé une étude systématique des différences entre les résultats obtenus pour divers modes d'alimentation de l'instrument et de connexion de la garde ou de la masse.

5.2.3. Progrès dans la mesure des piles nues étalons

Les améliorations apportées à la mesure de la température (20 °C) dans l'EIT-90 à l'aide du thermomètre à résistance de platine ont permis de réduire l'incertitude à 0,5 mK.

5.3. Résistance électrique

5.3.1. Effet Hall quantique (F. Delahaye)

Cette année, une nouvelle méthode de mesure de la RHQ a été mise au point au BIPM. Elle consiste à utiliser le pont fondé sur un comparateur cryogénique de courant (CCC) avec des courants alternatifs et non plus continus. Il en résulte une amélioration significative du rapport signal sur bruit de nos mesures car l'utilisation du courant alternatif dans le pont élimine l'effet des dérives et du bruit en $1/f$ aux très basses fréquences. Nous avons trouvé que la bande de fréquence de 1 Hz à 4 Hz était convenable pour ces mesures en courant alternatif : de telles fréquences sont suffisamment élevées pour être en dehors de la région de bruit en $1/f$ et suffisamment basses pour que l'exactitude du pont à CCC soit maintenue. Nous avons réalisé des mesures de rapport de résistance entre la RHQ et une résistance étalon de 100 Ω en courant continu et à des fréquences de 1, 2 et 4 Hz [5]. Ces mesures sont, à notre connaissance, les premières mesures précises de la RHQ en courant alternatif. Elles démontrent que la quantification de la résistance de Hall, observée en courant alternatif et pour la bande de fréquence étudiée ici demeure complète à quelques 10^{-9} près.

Nous pensons que cette nouvelle méthode est intéressante pour les mesures de routine d'étalons de résistance. En conséquence, nous avons entrepris un programme de mise au point visant à l'étalonnage en courant alternatif à basse fréquence de résistances étalons de 1 Ω et de 10 000 Ω , à partir de la RHQ. En particulier, nous avons construit une double source de courant alternatif délivrant jusqu'à 70 mA et adaptée à l'étalonnage de résistances de 1 Ω . Nous avons aussi étudié la possibilité de remplacer la bobine du CCC ainsi que le détecteur associé (un magnétomètre à SQUID) par un comparateur de courant utilisant des enroulements bobinés autour d'un noyau magnétique toroïdal et fonctionnant à température ambiante. L'idée est que le rapport ainsi défini pourrait être étalonné avec le CCC et serait probablement assez stable pour une utilisation prolongée sans réétalonnage. Un tel dispositif, facile à transporter et à utiliser, pourrait aussi servir à des comparaisons entre laboratoires. Un comparateur de rapport 1 a été réalisé en bobinant un câble coaxial autour d'un noyau magnétique muni d'un enroulement de détection raccordé à un préamplificateur à faible bruit. Avec cette technique, le niveau de bruit, à une fréquence de 10 Hz, est comparable à celui obtenu avec le SQUID. Cela nous encourage à poursuivre les travaux dans cette direction et, en particulier, à construire des comparateurs de rapport différent de 1.

Comme suite à la commande passée par le BIPM et le LCIE au LEP, un nombre relativement grand d'hétérostructures à base de GaAs

est maintenant disponible. Cette année nous avons fourni ces échantillons aux laboratoires qui en ont fait la demande au BIPM (il a été convenu entre le LCIE et le BIPM que le LCIE fournirait les échantillons aux laboratoires qui participent à EUROMET et le BIPM aux autres laboratoires). Nous sommes maintenant en mesure de fournir des échantillons non montés par lots de 5 ou de 10 et, en plus petites quantités, des échantillons montés en boîtier TO8. Le montage peut être fait au BIPM grâce à une soudeuse thermosonique acquise et mise en service cette année.

5.3.2. Comparaison internationale d'étalons de 1 Ω et de 10 k Ω de 1990

Dix-huit laboratoires nationaux ont participé à la comparaison internationale d'étalons de 1 Ω et de 10 k Ω qui a eu lieu en 1990. Ils ont envoyé au BIPM quarante-huit étalons voyageurs de 1 Ω et quarante-et-un de 10 k Ω . Les mesures ont été faites au BIPM du 24 septembre 1990 au 25 novembre 1990, la date moyenne de la comparaison étant le 25 octobre 1990. Pendant cette période, chaque étalon voyageur a été mesuré au moins cinq fois en fonction des étalons de référence du BIPM. Ces références ont elles-mêmes été rattachées à la RHQ immédiatement avant et après la comparaison. Les laboratoires nous ont maintenant communiqué leurs mesures retour et nous les avons informés de nos résultats. Le rapport final de cette comparaison est en préparation. Les résultats sont raisonnablement bons, avec un accord relatif au niveau de quelques 10^{-8} pour la majorité des laboratoires qui annoncent une incertitude de cet ordre. Nous avons trouvé que les effets du transport sur les étalons étaient encore un facteur limitatif. De ce point de vue, les meilleurs résultats sont probablement ceux obtenus avec les étalons de 10 k Ω de type SR 104.

5.4. Étude des applications des supraconducteurs à haute température en métrologie

Des rapports récents indiquent que le blindage magnétique fourni par un matériau composite en $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}/\text{Ag}$ peut être intéressant pour certaines applications critiques en métrologie électrique. Ce matériau est particulièrement intéressant car il est usinable et peut être obtenu d'un laboratoire commercial de recherche sous forme finie. On a assemblé et utilisé un support d'essai pour évaluer les performances d'un échantillon tubulaire fermé suffisamment grand pour blinder un SQUID commercial fonctionnant à basse température. Les résultats de cette étude devraient être obtenus sous peu.

Cette année on a fabriqué au BIPM plusieurs jonctions de Josephson du type à constriction en matériau composite, $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-8}/\text{Ag}$. Bien que le matériau composite soit plus facile à former que le $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-8}$ pur, les jonctions obtenues sont de moindre intérêt car leur conductance à l'état normal est élevée, ce qui rend difficile le couplage avec un champ de radiofréquence.

Plusieurs innovations techniques ont été mises au point pour ce travail. Des contacts en argent diffusé dans les échantillons de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-8}$, remplacent maintenant ceux, moins fiables, en indium sur plots dorés par évaporation. La nouvelle méthode permet de souder des fils sur les échantillons de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-8}$ avec de la soudure ordinaire. Avec l'aide de l'atelier du BIPM, une scie à fil constamment recouvert d'un film d'acide a été étudiée, construite et utilisée avec succès pour préparer les jonctions de Josephson. L'atelier a également construit une presse à main améliorée pour préparer les barreaux à partir desquels sont fabriqués les échantillons.

5.5. Systèmes de mesures automatiques

Au cours des dix dernières années, un nombre considérable de mesures fastidieuses ou de routine ont été automatisées dans la section d'électricité à l'aide d'ordinateurs Hewlett-Packard de la série 80. Ces ordinateurs n'étant plus fabriqués, il sera de plus en plus difficile d'assurer leur entretien et de se fournir en pièces détachées ; on a donc choisi de les remplacer progressivement par des équipements nouveaux de plus hautes performances. On a déjà acquis cinq ordinateurs de type compatible PC, utilisés avec le langage HT Basic et le bus IEEE 488 pour conduire les mesures et collecter les données des nouveaux systèmes automatisés. Les anciens ordinateurs seront ainsi éliminés au cours des prochaines années.

5.6. Comparaisons et étalonnages courants

Cette année, les étalonnages courants ont porté sur le matériel suivant : une enceinte thermorégulée pour l'Iraq ; des piles nues pour la Hongrie et l'Autriche ; des étalons à diode de Zener à 1,018 V et à 10 V pour la Belgique, le Brésil, le Portugal et Israël ; des résistances de 1 Ω pour la Bulgarie, la Belgique, l'Autriche, le Portugal, la Tchécoslovaquie et la Hongrie ; des résistances de 100 Ω pour la Belgique ; et enfin des résistances de 10 k Ω pour la Bulgarie, la Belgique, l'Autriche, le Portugal et la Tchécoslovaquie.

5.7. Publications, conférences et voyages : section d'électricité

5.7.1. Publications extérieures

1. WITT T. J., REYMANN D., AVRONS, D., An accurate $10\text{ k}\Omega$ resistance measurement system, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1991, **IM-40**, 271-273.
2. REYMANN D., A practical device for 1-nV accuracy measurements with Josephson arrays, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1991, **IM-40**, 309-311.
3. REYMANN D., HOULTOUG J. U., JENSEN H. D., Comparisons of one-volt Josephson-array voltage standard with sub-nanovolt accuracy, *Metrologia*, 1991, **28**, 99-102.
4. DELAHAYE F., BOURNAUD D., Low noise measurements of the quantized Hall resistance using an improved cryogenic current comparator bridge, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1991, **IM-40**, 237-240.
5. DELAHAYE F., An ac bridge for low-frequency measurements of the quantized Hall resistance, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1991, **IM-40**, 883-888.
6. DELAHAYE F., L'effet Hall quantique : un procédé pour la réalisation d'une représentation de l'ohm, *Revue Générale de l'Électricité*, 1990, **10**, 21-24.
7. BELLON M., DELAHAYE F., GENEVÈS G., LEFÈVRE J. P., Calcul de la correction d'entrefer d'un électromètre de type Kelvin utilisé pour la détermination directe du volt, *Bulletin du BNM*, 1990, **81**, 15-24.

5.7.2. Conférences et exposés

F. Delahaye a participé à la 6^e réunion EUROMET d'experts de l'effet Hall quantique (IEN, Turin, 29-30 avril 1991) et y a présenté les activités du BIPM dans ce domaine.

5.7.3. Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts)

F. Delahaye s'est rendu à Lisbonne (Portugal) du 1^{er} au 3 octobre 1990 et à Stockholm (Suède) du 16 au 19 avril 1991, pour des réunions du groupe de travail de la CEI chargé de la révision du vocabulaire des notions fondamentales en électrotechnique.

T. J. Witt et D. Reymann se sont rendus du 26 au 31 mai 1991 à Braunschweig (Allemagne), pour une comparaison de réseaux de jonctions de Josephson ; ils ont visité la PTB et discuté avec leurs collègues à propos de la métrologie des tensions et des résistances, des réseaux de jonctions de Josephson et de la supraconductivité à haute température.

T. J. Witt s'est rendu à Ithaca, New York (É.-U. d'Amérique) le 20 août 1991, à la School of Applied Engineering Physics, Cornell University, pour discuter de l'effet Josephson dans les supraconducteurs en couche mince à haute température.

5.8. Activités en liaison avec des organismes extérieurs

F. Delahaye est membre du Groupe de travail de la CEI chargé de la révision du vocabulaire des notions fondamentales en électrotechnique.

5.9. Visiteurs de la section d'électricité

5.9.1. Stagiaires

Mme M. A. de Oliveira Coutinho (INMETRO, Rio de Janeiro, Brésil), du 1^{er} au 15 octobre 1990. Mesures d'étalon de tension à diode de Zener.

M. H. D. Jensen et M. J. U. Holtoug (DFM, Lyngby, Danemark), du 28 janvier au 1^{er} février 1991. Comparaison d'étalons de tension à réseau de jonctions de Josephson.

M. A. Lepek (INPL, Jérusalem, Israël), du 15 au 23 avril 1991. Mesures d'étalon de tension à diode de Zener et discussions sur l'effet Josephson et l'effet Hall quantique.

M. J.-P. Lo-Hive (LCIE, Fontenay-aux-Roses, France), du 15 au 18 juillet 1991 et le 24 septembre 1991. Comparaison d'étalons de tension à réseau de jonctions de Josephson et essais de réseaux.

5.9.2. Visiteurs

M. Dai Runsheng (OIML, secrétariat pour la Chine) et Mme Guo She Nan (Guangdong Scientific Institute of Metrology, Rép. pop. de Chine), 11 octobre 1990.

M. Pirée (IGM, Bruxelles, Belgique), 21 novembre 1990.

M. L. Ribeiro (LNETI, Lisbonne, Portugal), 10 décembre 1990.

Mme B. Johannessen (National Measurement Service, Oslo, Norvège), 10 décembre 1990.

M. P. Warnecke (PTB, Braunschweig, Allemagne), 11 décembre 1990.

M. H. Witschi (OFM, Wabern, Suisse), 11 décembre 1990.

M. F. Piquemal (LCIE, Fontenay-aux-Roses, France), 13 décembre 1990.

M. P. Boynton (NIST, Gaithersburg, É.-U. d'Amérique), 20 décembre 1990.

M. K. Birkeland (National Measurement Service, Oslo, Norvège), 4 janvier 1991.

- M. I. Thorén (SP, Borås, Suède), 8 janvier 1991.
M. J. Nicolas (IGM, Bruxelles, Belgique), 15 janvier 1991.
M. B. Kibble (NPL, Teddington, Royaume-Uni), 24 janvier 1991.
M. La Paglia et M. G. Boella (IEN, Turin, Italie), 30 janvier 1991.
M. A. Ploshinsky (VNIIM, Leningrad, URSS), du 30 janvier au 2 février 1991.
M. G. Slanar (BEV, Vienne, Autriche), 15 mars 1991.
M. B. Dragos (INM, Bucarest, Roumanie), 2 avril 1991.
M. A. Mezes (OMH, Budapest, Hongrie), 19 avril 1991.
M. G. Genevès et M. J.-P. Lo-Hive (LCIE, Fontenay-aux-Roses, France), 17 mai 1991.
M. S. Hashimoto (Oita-AIST Joint Research Institute, Tokyo, Japon), 10 juin 1991.
M. E.T. Frantsuz (VNIIM, Leningrad, URSS), 16 septembre 1991.
M. A. Shenhar (INPL, Jérusalem, Israël), 16 septembre 1991.

6. Radiométrie, photométrie, thermométrie (J. Bonhoure)

6.1. Radiométrie (R. Köhler)

Lors de sa session de septembre 1990, le CCPR a décidé de réaliser une comparaison internationale portant sur la sensibilité spectrale de photodiodes au silicium, avec le BIPM comme laboratoire pilote.

La comparaison doit être faite à intervalles de longueur d'onde réguliers dans le domaine allant de 250 nm à 1 000 nm, ce qui demande une source de rayonnement disponible et utilisable sur tout le domaine. Parallèlement à l'installation existante pour mesurer la sensibilité spectrale à partir d'un laser, on a mis en place et contrôlé une source à plus large bande passante. C'est soit une lampe à incandescence à halogènes, soit une lampe à vapeur de mercure, éclairant un monochromateur double à réseaux par l'intermédiaire d'un système optique approprié.

Le dispositif retenu fournit un rayonnement quasi-monochromatique (bande passante de 4 nm environ) dans tout le domaine allant de 250 nm à plus de 1 000 nm. La puissance reçue par le récepteur est comprise entre 20 μ W et 300 μ W suivant la longueur d'onde et la combinaison source-type de réseaux utilisées.

Un récepteur spectralement neutre est nécessaire pour ces mesures : on a fait l'acquisition d'un modèle pyroélectrique. À titre d'essai, la comparaison de deux récepteurs, soit avec l'installation à laser, soit avec celle à monochromateur, a donné deux valeurs en accord à mieux que 0,1 %. La répétabilité des mesures, quelle que soit l'installation, est de l'ordre de 0,01 %.

Par ailleurs, on a réalisé une série de mesures en liaison avec les problèmes de qualité des surfaces des diodes et les effets de leur nettoyage avant étalonnage. On a montré que la surface d'une diode peut adsorber de l'eau, entraînant une modification du facteur de réflexion et, de ce fait, de la sensibilité du récepteur. La variation du facteur de réflexion en fonction de l'humidité de l'air a été mise en évidence expérimentalement et ce résultat a été confirmé par modélisation des propriétés de surface.

La réflexion diffuse des photodiodes a été étudiée par différentes méthodes et les résultats les plus probants ont été obtenus par une méthode s'appuyant sur une petite sphère intégrante. On a observé que la réflexion diffuse pouvait varier de moins de quelque 0,01 % à 0,3 %.

Pour une caractérisation plus complète des photodiodes, le coefficient de température et la résistance de shunt ont été mesurés sur un lot échantillon de photodiodes.

On a aussi poursuivi la modélisation par ordinateur de la méthode d'auto-étalonnage et des mesures ont été effectuées pour comparer la valeur expérimentale à celle du modèle.

Par ailleurs, on s'est intéressé à la diffraction pour des ouvertures circulaires. Bien que le principe en soit connu depuis longtemps, il est devenu nécessaire de confirmer avec une incertitude plus faible les effets calculés, en particulier pour un rayonnement à large bande spectrale (lumière blanche) ; les applications concernent les radiomètres cryogéniques placés sur orbite spatiale et utilisés pour des expériences portant sur le rayonnement terrestre.

Les mesures ont été faites en utilisant la sphère intégrante du laboratoire de photométrie comme source uniforme de rayonnement. Les éléments diffractants étaient des ouvertures circulaires ou rectangulaires à bord vif. Les résultats des mesures sont en bon accord avec ceux prédits par la théorie, à mieux que 0,1 % ; toutefois, cette précision n'est pas suffisante pour les besoins indiqués ci-dessus et de nouvelles mesures, dans de meilleures conditions, devraient être réalisées pour parvenir à des incertitudes plus faibles.

6.2. Photométrie

Conformément au souhait exprimé par le CCPR sur la fourniture de lampes étalons de bonne qualité, des mesures portant sur la répétabilité de la réponse de lampes russes et chinoises ont commencé au BIPM ; les résultats sont attendus avant la fin de 1991. En ce qui concerne la fabrication d'une lampe photométrique par une entreprise française (voir Rapport 1990, p. 52), aucun prototype n'est encore disponible.

6.3. Thermométrie (J. Bonhoure)

Une étude est en cours pour juger de la stabilité à long terme de cellules à point triple de l'eau. Des variations brutales de température (plusieurs dixièmes de millikelvin éventuellement) semblent possibles ; elles sont probablement dues à des modifications des contraintes dans la glace. Il faut déterminer si la méthode qui est utilisée pour préparer les manchons de glace est la source de ces contraintes.

Par ailleurs, on a effectué des mesures pour contrôler la variation de la résistance d'un thermomètre (donc de la température) en fonction de la profondeur d'immersion de l'élément sensible dans le puits de la cellule, à la fois pour une cellule à point triple de l'eau et pour une cellule à point de fusion du gallium.

6.4. Études courantes

Des lampes étalons de flux lumineux ont été étalonnées pour le laboratoire national de Roumanie.

6.5. Publications, conférences et voyages : section de radiométrie, photométrie, thermométrie

6.5.1. Publications extérieures

1. KÖHLER R., GOEBEL R., PELLO R., BONJOURS J., Effects of Humidity and Cleaning on the Sensitivity of Si Photodiodes, *Metrologia*, 1991, **28**, 211-215.
2. GEIST J., CHANDLER-HOROWITZ D., KÖHLER R., ROBINSON A. M., JAMES C. R., Numerical Modeling of Short-Wavelength Internal Quantum Efficiency, *Metrologia*, 1991, **28**, 193-196.
3. GEIST J., KÖHLER R., GOEBEL R., ROBINSON A. M., JAMES C. R., Numerical Modeling of Silicon Photodiodes for High Accuracy Applications, Part II, Interpreting Oxide-Bias Experiments, *NIST Journal of Research*, 1991, **96**, 471-479.
4. QUINN T. J., A blackbody source in the range -50°C to $+200^{\circ}\text{C}$ for the calibration of radiometers and radiation thermometers, *Applied Optics*, 1991, **30**, 4486-4488.
5. QUINN T. J., MARTIN J. E., Cryogenic radiometry: the problem of hydrogen condensation in detectors operated at temperatures below 4 K, *Applied Optics*, 1991, **30**, 2065-2067.
6. QUINN T. J., MARTIN J. E., Cryogenic Radiometry, Prospects for Future Improvements in Accuracy, *Metrologia*, 1991, **28**, 155-161.

6.5.2. Rapport BIPM

BONHOURE J. et PELLO R., La thermométrie au BIPM en 1990, *Rapport BIPM-90/7*, octobre 1990, 6 pages.

6.5.3. Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts)

J. Bonhoure s'est rendu à Melbourne et à Sydney (Australie), du 3 au 12 juillet 1991, pour participer à la 22^e session de la Commission internationale de l'éclairage et pour visiter le CSIRO, Division of Applied Physics.

6.6. Activité en liaison avec des organismes extérieurs

J. Bonhoure participe à titre d'expert de langue française au comité technique 7.06 « Terminologie de l'éclairage » de la Commission internationale de l'éclairage.

6.7. Visiteurs de la section de radiométrie, photométrie, thermométrie

M. F. Miserey (CNAM, Paris, France), le 5 janvier 1991, pour s'entretenir des propriétés physiques des surfaces d'oxyde de silicium (radiométrie).

M. J. Geist (NIST, Gaithersburg, É.-U. d'Amérique), du 25 au 28 septembre 1990, pour poursuivre la coopération entreprise sur la modélisation des photodiodes (radiométrie).

M. J. Clare (DSIR, Lower Hutt, Nouvelle-Zélande), le 1^{er} octobre 1990 (radiométrie, photométrie).

Mme F. Vrabie Ionescu (INM, Bucarest, Roumanie), du 11 au 19 décembre 1990, pour rassembler des informations sur la radiométrie.

Mme Haulie (CSIR, Pretoria, Afrique du Sud), le 24 septembre 1990 (thermométrie).

7. Rayonnements ionisants (J. W. Müller)

L'organisation et l'analyse des comparaisons internationales continuent à être un moyen efficace pour assurer l'uniformité mondiale des mesures de rayonnements ionisants. Par ailleurs, des progrès sérieux ont été accomplis dans divers domaines, par exemple par l'utilisation du « scaling theorem » et de la calorimétrie pour les mesures en dosimétrie ou par un contrôle du fonctionnement de la nouvelle méthode des parités dans les statistiques de comptage. Pour répondre à la demande de nombreux participants, le BIPM a entrepris l'extension du Système international de référence aux radionucléides émetteurs de particules α et β en utilisant la technique du scintillateur liquide.

7.1. Dosimétrie (M. Boutillon et V. D. Huynh)

7.1.1. Rayonnement gamma du ^{60}Co et rayons X (M. Boutillon et A.-M. Perroche)

i) Dose absorbée dans l'eau (^{60}Co)

— Détermination ionométrique

La mesure ionométrique de la dose absorbée dans l'eau a été effectuée à la profondeur de référence de 5 g cm^{-2} pendant une période de deux ans. Chaque détermination journalière est fondée sur une moyenne d'environ 60 mesures du courant d'ionisation, avec un écart relatif de quelques 10^{-5} . Les résultats font apparaître une bonne stabilité, bien qu'une légère dérive d'environ 0,05 % par an ait été détectée et ne soit pas entièrement expliquée. Le débit de dose absorbée à la position de référence est déterminé avec une incertitude totale de 0,3 %. Des mesures ont été effectuées aussi à des profondeurs comprises entre 3 g cm^{-2} et 17 g cm^{-2} . L'incertitude augmente avec la profondeur pour deux raisons : le facteur de correction de perturbation, qui est calculé, est déterminé avec moins de précision aux grandes profondeurs et la stabilité des mesures est moins bonne.

Par mesure de contrôle, la valeur ionométrique de la dose absorbée dans l'eau a été comparée aux valeurs obtenues précédemment par le calcul à partir de la dose absorbée dans le graphite ou du kerma dans l'air. L'accord est meilleur que 0,3 %. Il faut cependant remarquer que ce contrôle est incomplet étant donné que certains facteurs sont communs aux diverses méthodes (rapports des pouvoirs de ralentissement de l'eau et du graphite, coefficients d'absorption massique).

Des comparaisons ont été faites entre la méthode ionométrique du BIPM et les méthodes expérimentales utilisées au NPL, à la PTB et au NRC, qui présentent toutes des incertitudes non corrélées. L'accord, de l'ordre de 1 %, est compatible avec les incertitudes estimées par ces laboratoires.

— « *Scaling theorem* »

Le BIPM a effectué une mesure indirecte de la dose absorbée dans l'eau au moyen de la méthode dite du « *scaling theorem* ». Cette méthode, fondée sur la mesure ionométrique de la dose absorbée dans le graphite, a l'avantage de ne nécessiter que de très faibles corrections. Les résultats obtenus sont en bon accord avec ceux de la méthode ionométrique.

— Calorimétrie

Les travaux préliminaires concernant la calorimétrie dans l'eau ont débuté. On a construit un pont de Wheatstone qui comprend un système électronique destiné à compenser les dérives de la température de l'eau. La thermistance utilisée pour mesurer la dose absorbée est placée entre deux feuilles minces de polyéthylène et située sur l'axe du faisceau à une profondeur de 5 g cm^{-2} dans l'eau. Son isolation électrique a été contrôlée. Pour les étalonnages, effectués avec un thermomètre à résistance de platine, la thermistance est placée dans le fantôme d'eau dans les conditions utilisées pour les mesures de dose absorbée, afin que les échanges thermiques soient identiques.

ii) *Mesure du kerma dans l'air*

L'activité de la source qui est utilisée depuis 1968 pour la mesure absolue du kerma dans l'air est actuellement très faible (0,8 TBq) et la reproductibilité des mesures n'est plus suffisante pour les étalonnages. On a donc décidé d'installer l'étalon de kerma dans l'air dans le faisceau de la source de ^{60}Co de 170 TBq. Un ajustement des facteurs de correction à appliquer à l'étalon a été nécessaire pour tenir compte de la différence du spectre entre les deux sources. Un contrôle a été effectué en étalonnant trois chambres Shonka dans ces nouvelles conditions ; on a trouvé que leur facteur d'étalonnage présentait une différence de 0,1 % par rapport à la valeur précédente ; cette différence est compatible avec les incertitudes estimées.

iii) *Comparaisons et étalonnages*

Une nouvelle comparaison d'étalons de kerma dans l'air a été effectuée entre le NIST et le BIPM dans le domaine des rayons X d'énergie moyenne. Les résultats sont en assez bon accord avec ceux de la première comparaison faite en 1975.

Des chambres d'ionisation servant d'étalons secondaires ont été étalonnées en termes de kerma dans l'air (et de dose absorbée dans l'eau dans deux cas) pour les laboratoires suivants (*voir* Tableau 7.1) :

— Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), Vienne, Autriche,

— Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), Madrid, Espagne,

— Statens Institutt for Strålehygiene (NSIS), Østerås, Norvège,

— Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakości (PKNM), Varsovie, Pologne.

Les chambres d'ionisation du CIEMAT et du NSIS sont étalonnées périodiquement au BIPM en termes de kerma dans l'air et les facteurs d'étalonnage ne varient pas de façon significative.

Une irradiation de dosimètres thermoluminescents (2 Gy) a été faite pour l'AIEA dans le fantôme d'eau du BIPM.

TABLEAU 7.1

Étalonnages effectués au BIPM en 1991

Rayons X 10-50 kV	Kerma dans l'air		Dose absorbée dans l'eau
	100-250 kV	rayonnement γ du ^{60}Co	rayonnement γ du ^{60}Co
	AIEA	AIEA	AIEA
	CIEMAT	CIEMAT	
NSIS	NSIS	NSIS	NSIS
		PKNM	

7.1.2. Mesures neutroniques (V.D. Huynh)

Pour répondre à l'intérêt manifesté par la Section III du CCEMRI pour la mesure et le calcul des spectres de neutrons des sources (d+D) et (d+T) du BIPM, on a étudié un détecteur à scintillation liquide type NE 213, de 5,08 cm de hauteur et de diamètre, équipé d'un discriminateur de forme pour séparer les neutrons et les rayons gamma. L'étude, qui a débuté en 1990 dans le faisceau de neutrons de 14,65 MeV (voir Rapport 1990, p. 56), a été complétée par un travail similaire dans le faisceau de neutrons de 2,50 MeV. Rappelons qu'il s'agissait d'abord de vérifier que l'ensemble du dispositif expérimental fonctionnait correctement et garantissait une bonne séparation des impulsions de neutrons et de rayons gamma, afin d'obtenir un spectre en amplitude pur de neutrons. À titre d'exemple, la figure 7.1 montre la séparation en temps des impulsions de neutrons et de rayons gamma dans le faisceau de neutrons de 2,50 MeV.

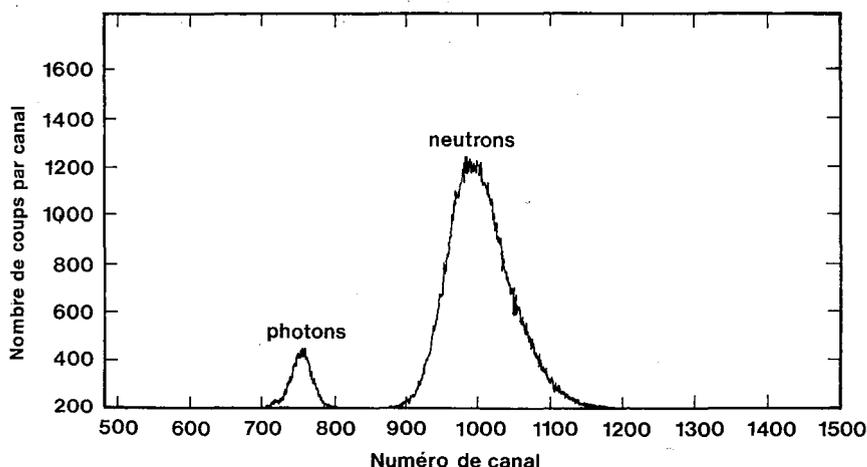


Fig. 7.1. — Séparation en temps des impulsions de neutrons et de rayons gamma dans le faisceau de neutrons de 2,50 MeV.

Dans nos conditions expérimentales, on a déterminé l'efficacité de détection du scintillateur, ε_{LS} , en utilisant les coïncidences existant entre les neutrons en provenance du scintillateur NE 213 et les particules associées provenant du détecteur au silicium. De plus, grâce à la connaissance de l'efficacité mesurée, il est possible de comparer la fluence mesurée par le scintillateur NE 213 à celle qui est mesurée par la méthode absolue de la particule associée. On a obtenu des valeurs de ε_{LS} de 33,6 % et 25,1 %, respectivement pour des seuils correspondant à des énergies d'électrons de 100 keV et 240 keV. L'accord entre les fluences déterminées avec les deux détecteurs est compatible avec les incertitudes de mesure.

7.2. Radionucléides (J. W. Müller)

7.2.1. Mesures d'activité (G. Ratel)

i) Comparaison préliminaire de mesures d'activité du ^{75}Se

Les résultats de la comparaison préliminaire de ^{75}Se qui a eu lieu en 1989 ont fait apparaître quelques problèmes dans les mesures du BIPM. Rappelons que l'utilisation de la méthode des coïncidences nécessite une extrapolation du taux de comptage à une efficacité 1. Cela a été réalisé en faisant varier la pression à l'intérieur du compteur proportionnel de 0,4 MPa à 1,5 MPa. Une fenêtre dans le canal β permettait la sélection des événements dans le pic voisin de 10 keV, figure 7.2. Malheureusement, de cette façon le rapport entre événements retardés et non retardés était modifié et, en conséquence, l'extrapolation était faussée.

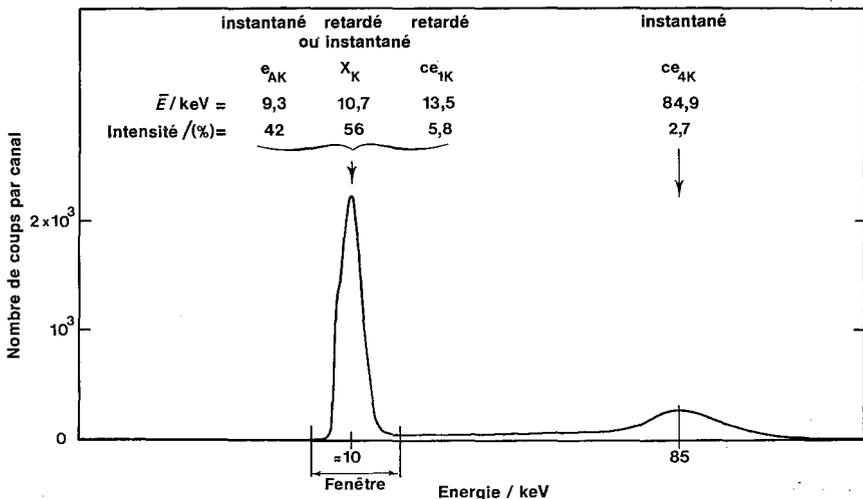


Fig. 7.2. — Spectre du ^{75}Se obtenu avec le compteur proportionnel à pression. Les données nucléaires proviennent des tables du LPRI.

Nous avons fait des mesures complémentaires à une pression de 0,8 MPa, en faisant varier l'efficacité de détection par discrimination en énergie. La figure 7.3 montre les nouveaux résultats du BIPM et ceux des autres laboratoires. Les corrections dues à l'état retardé ont été faites par les participants. La Section II du CCEMRI a jugé satisfaisant l'accord obtenu dans cette comparaison restreinte et a décidé d'organiser une comparaison internationale de mesures d'activité du ^{75}Se . Toutefois, pour augmenter l'exactitude globale, il serait souhaitable de faire des mesures complémentaires des événements retardés.

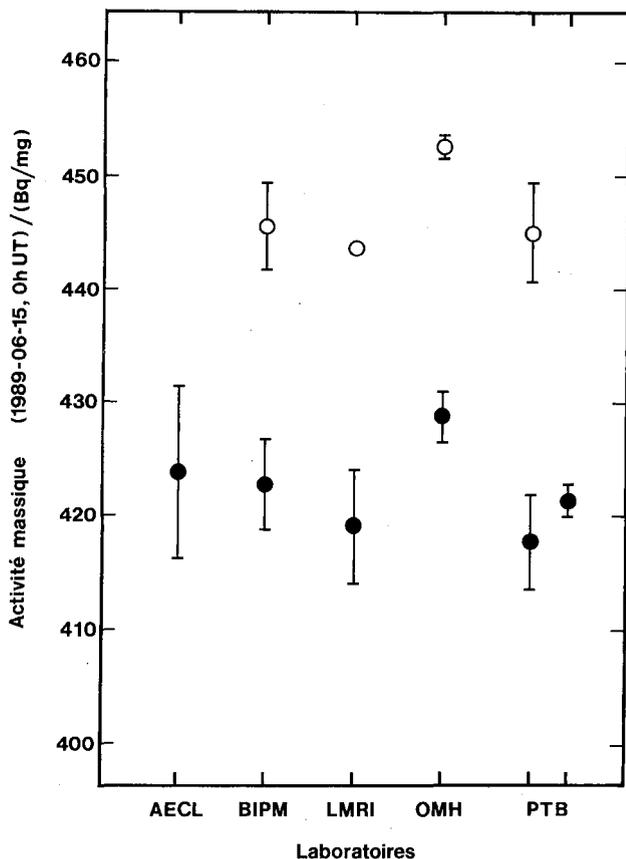


Fig. 7.3. — Résultats de la comparaison restreinte de ^{75}Se obtenus avant (O) et après (●) correction pour les événements retardés.

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

Au cours de l'année passée, douze laboratoires (AECL, BARC, BCMN, ENEA, IRD, LPRI, NIRH, NPL, OMH, PSPKR, PTB et UVVVR) ont expédié au BIPM 19 ampoules contenant 13 radionucléides

(⁴⁶Sc, ⁵⁶Co, ⁵⁷Co, ⁵⁸Co, ⁶⁰Co, ⁹⁵Nb, ⁹⁹Tc^m, ¹¹¹In, ¹³¹I, ¹³³Ba, ¹⁴¹Ce, ¹⁵⁴Eu et ¹⁹²Ir). Cela confirme l'intérêt porté par les laboratoires nationaux au SIR. Les résultats obtenus à ce jour avec des nucléides à période courte (⁹⁹Tc^m, ¹³¹I) sont très satisfaisants. Il serait souhaitable que l'on envoie au BIPM d'autres échantillons de nucléides à période courte, qui sont difficiles à mesurer mais d'une importance capitale en médecine.

iii) *Extension du SIR aux radionucléides émetteurs α et β*

Plusieurs laboratoires nationaux ont demandé à la Section II d'étendre le SIR aux radionucléides qui ne peuvent pas être mesurés avec les chambres d'ionisation. Après une étude approfondie, le Groupe de travail pour l'extension du SIR a proposé que le BIPM utilise la méthode de la scintillation liquide. Le BIPM s'est doté de l'équipement nécessaire et a fait des mesures préliminaires. Un échantillon de ²⁰⁴Tl, qui avait déjà été mesuré par le SIR, a été choisi pour vérifier le fonctionnement du système du fait qu'il émet essentiellement des particules beta (98 %). Les résultats de nos mesures de l'activité massique de la solution ont été comparés avec ceux du LPRI et un accord satisfaisant (0,6 %) a été trouvé.

Comme c'est le cas pour le système actuel, il sera indispensable que tous les participants utilisent le même type d'ampoule et de solutions chimiques « cocktails » recommandées. Dans cette optique plusieurs modèles ont été étudiés. Bien que les différences soient en général faibles, certains types sont jugés préférables et peuvent être recommandés aux laboratoires.

Une comparaison de radionucléides émetteurs de particules beta pures (³H, ¹⁴C et ⁹⁹Tc), organisée par le NIST, a commencé entre six laboratoires (BIPM, CIEMAT, IEA, NAC, NIST et PTB). Le but est de vérifier la stabilité des solutions après transport. La comparaison n'est pas encore terminée.

7.2.2. **Statistiques de comptage** (J. W. Müller)

i) *Méthode des parités*

On a utilisé avec succès la nouvelle méthode des parités qui permet la mesure directe du taux de comptage des coïncidences vraies entre les impulsions beta et gamma provenant de la désintégration en deux étapes d'un radionucléide. En dépit du doute persistant des experts, la méthode fonctionne comme prévu. L'exactitude est comparable à celle que l'on obtient avec la méthode traditionnelle des coïncidences après correction pour les coïncidences fortuites.

La réalisation électronique a nécessité la construction de trois unités principales : deux pour l'enregistrement des parités dans les canaux beta et gamma et une pour la formation de leur somme. Comme seule une

parité impaire produit une impulsion de sortie, le signal correspondant pour la somme est obtenu par anticoincidence.

Quelques problèmes spécifiques sont apparus, auxquels il était indispensable de trouver des solutions exactes. L'un d'entre eux concerne la détermination exacte du retard t qui détermine le temps de mesure. La solution adoptée consiste à utiliser un oscillateur indépendant, de fréquence $\nu_1 < 1/t$, ce qui garantit qu'il y a au maximum une impulsion dans t . On peut alors montrer que le retard t est donné exactement par

$$t = \frac{N_{\text{imp}}}{\nu_0 \nu_1},$$

où N_{imp} est le nombre de fois que la parité a été trouvée impaire, par seconde, et $\nu_0 \geq 1/t$ est la fréquence des impulsions qui contrôlent la parité. Des mesures minutieuses ont montré qu'avec cette méthode on peut déterminer t avec une incertitude relative de 10^{-5} pour un temps de mesure d'environ 2 minutes.

ii) Points d'intersection dans une distribution de Poisson

Il peut paraître surprenant que la distribution de Poisson, qui est sans nul doute la loi statistique la plus étudiée, puisse encore occasionnellement révéler de nouveaux aspects. C'est un fait bien connu que, dans la plupart des applications pratiques, la loi originelle de Poisson doit être quelque peu modifiée, le plus souvent pour tenir compte d'un effet expérimental particulier. Dans ce cas, la probabilité traditionnelle de Poisson

$$P_{\mu}(k) = \frac{\mu^k}{k!} e^{-\mu}$$

d'observer k événements, quand μ est leur espérance mathématique, doit être remplacée par la distribution observable $W(k)$. Pour une faible perturbation p , cela peut être écrit sous la forme

$$W(k) \cong P_{\bar{k}}(k) [1 + F(k, \bar{k}) p],$$

où $P_{\bar{k}}(k)$ est la loi de Poisson, avec le paramètre μ remplacé par la valeur moyenne observée \bar{k} , et $F(k, \bar{k})$ est une fonction de correction. Cette fonction $F(k, \bar{k})$ a été évaluée pour trois types différents de perturbation : une distorsion par un temps mort, une efficacité de détection variable et une décroissance de la source pendant l'observation.

Le résultat surprenant est que, dans tous ces cas, l'équation $F(k, \bar{k}) = 0$ admet les deux solutions

$$k_{\pm} = \bar{k} + \frac{1}{2} \pm \sqrt{\bar{k} + \frac{1}{4}}.$$

Pour ces valeurs de k les distributions W et P se croisent.

Étant donné que les causes de la distorsion sont diverses et que les déviations réellement produites n'ont rien de commun (l'effet peut être du premier ou du second ordre et la déviation, au voisinage de \bar{k} , peut être positive ou négative), la cause de la régularité observée dans la position des points d'intersection k_{\pm} , doit être recherchée dans la loi de Poisson elle-même. Guidés par une analogie avec la distribution normale, nous avons pensé que les points d'inversion de la courbe pourraient être impliqués. En effet, si nous considérons la condition

$$\frac{\partial^2 P_{\mu}(k)}{\partial \mu^2} = 0,$$

nous arrivons à l'équation quadratique

$$k^2 - (1 + 2\mu)k + \mu^2 = 0,$$

à partir de laquelle, en remplaçant μ par \bar{k} , on obtient exactement les deux solutions k_+ and k_- données ci-dessus. Quand ces points d'intersection sont connus, on peut facilement contrôler la présence d'une distorsion éventuelle par un test de signe, sans faire d'hypothèse sur sa nature.

7.3. Publications, conférences et voyages : section des rayonnements ionisants

7.3.1. Publications extérieures

1. BOUTILLON M., Erratum : Gap correction for the calorimetric measurement of absorbed dose in graphite in a ^{60}Co beam, [*Phys. Med. Biol.*, 1989, **34**, 1809-1821], *Phys. Med. Biol.*, 1991, **36**, 566.
2. MÜLLER J. W., Generalized dead times, *Nucl. Instr. and Methods*, 1991, **A301**, 543-551.
3. MÜLLER J. W., How can small distortions be recognized in a Poisson process ?, *ICRU News*, 1991, **1**, 10-14.
4. MÜLLER J. W., Can philosophy be of any use in counting statistics ? *Nucl. Instr. and Methods*, 1991, **A309**, 555.

7.3.2. Rapports BIPM

5. MÜLLER J. W., Is there a shortcut for treating dead times in series ?, *Rapport BIPM-90/6*, novembre 1990, 16 pages.
6. MÜLLER J. W., Propagation of parities, *Working Party Note 233*, décembre 1990, 6 pages.

7. PERROCHE A.-M., GARDEL P., Comparison of the standards of absorbed dose to graphite of the IRA and the BIPM for ^{60}Co γ rays, *Rapport BIPM-90/9*, novembre 1990, 14 pages.
8. RATEL G., Trial comparison of activity measurements of a solution of ^{75}Se , *Rapport BIPM-90/8*, novembre 1990, 28 pages.

7.3.3. Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts)

M. Boutillon s'est rendue :

— à la PTB, Braunschweig (Allemagne), avec D. Carnet et A.-M. Perroche, du 15 au 17 octobre 1990, pour discuter de la détermination par calorimétrie de la dose absorbée dans l'eau ;

— au LPRI, Saclay (France), avec D. Carnet et A.-M. Perroche, le 22 novembre 1990, pour discuter de mesures par calorimétrie ;

— à Elmau (Allemagne), du 10 au 14 septembre 1990, et Aberdeen (Royaume-Uni), du 19 au 23 août 1991, pour participer à la réunion de la Main Commission de l'ICRU.

J. W. Müller s'est rendu :

— à l'Agence internationale de l'énergie atomique, Vienne (Autriche), du 19 au 22 novembre 1990, comme membre du Comité scientifique SSDL de l'AIEA ;

— à l'Atominstut der Österreichischen Universitäten, Vienne, Autriche, le 23 novembre 1990, où il a été invité à un séminaire intitulé « Koinzidenzen ohne Koinzidenzen ».

— au CIEMAT, Madrid (Espagne), pour participer à l'International Conference on Radionuclide Measurements, du 27 au 31 mai 1991, où il a fait une conférence intitulée « Can philosophy be of any use in counting statistics ? » ;

— à Aberdeen (Royaume-Uni), du 17 au 23 août 1991, pour participer à la réunion Committee on Quantities and Units de l'ICRU et à la réunion de la Main Commission de l'ICRU comme représentant du BIPM.

G. Ratel s'est rendu :

— à la PTB, Braunschweig (Allemagne), du 25 novembre au 1^{er} décembre 1990 pour discuter avec M. K. Walz de problèmes d'éta-lonnage dans le cas de radionucléides importants et complexes, ainsi que de la technique du scintillateur liquide avec M. E. Günther et de la méthode de corrélation avec M. H. Janssen ;

— au LPRI, Saclay (France), avec C. Colas, le 13 décembre 1990, pour discuter de problèmes liés à la technique du scintillateur liquide avec trois photomultiplicateurs ;

— au CIEMAT, Madrid (Espagne), pour participer à l'International Conference on Radionuclide Measurements, du 27 au 31 mai 1991, où il a présenté un poster intitulé « Trial comparison of the measurement of the activity of ^{75}Se ».

C. Colas a suivi un stage technique sur « Les mesures d'activité par scintillation liquide appliquées à la biologie » à l'Institut national de sciences et techniques nucléaires, Saclay, du 15 au 19 octobre 1990.

7.4. Activités en liaison avec des organismes extérieurs

J. W. Müller est membre du comité de rédaction de *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*. Il est représentant du BIPM auprès de l'ICRU, membre du comité ICRU « Fundamental Quantities and Units » et 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 Comité scientifique SSDL de l'AIEA et membre du groupe de travail TAG 4 de l'ISO sur l'expression des incertitudes.

7.5. Visiteurs de la section des rayonnements ionisants

7.5.1. Stagiaires

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

M. S. R. Domen (NIST, Gaithersburg, É.-U. d'Amérique) a séjourné au BIPM du 27 février au 1^{er} mars 1991 pour discuter la mesure de la dose absorbée dans l'eau par calorimétrie.

M. P. Bera (AIEA, Vienne, Autriche) est venu au BIPM du 10 au 12 juin 1991 pour l'étalonnage de la chambre d'ionisation de son laboratoire dans le domaine des rayons X de moyenne énergie et dans le rayonnement gamma du ^{60}Co .

M. A. Brosed (CIEMAT, Madrid, Espagne) a séjourné au BIPM du 14 au 21 juin 1991 pour étalonner deux chambres d'ionisation de son laboratoire dans le domaine des rayons X de moyenne énergie et dans le rayonnement gamma du ^{60}Co .

M. H. Bjerke (NSIS, Østerås, Norvège) est venu au BIPM les 1^{er} et 2 juillet 1991 pour étalonner les chambres d'ionisation de son laboratoire dans le domaine des rayons X de basse et moyenne énergie et dans le rayonnement gamma du ^{60}Co .

7.5.2. Visiteurs

Mme M. Sahagia (Institut de physique atomique, Bucarest, Roumanie), 11 octobre 1990.

M. A. J. Wallard (NPL, Teddington, Royaume-Uni), 25 octobre 1990.

M. Weigmann (BCMNI, Geel, Belgique), 4 décembre 1990.

Mme F. Vrabie Ionescu (INM, Bucarest, Roumanie), 12 et 13 décembre 1990.

M. S. Guldbakke (PTB, Braunschweig, Allemagne), 27 février 1991.

M. S. M. Jerome (NPL, Teddington, Royaume-Uni), 22 mars 1991.

M. E. Günther (PTB, Braunschweig, Allemagne), 29 avril 1991, pour des discussions sur l'extension du SIR.

M. W. Richter (PTB, Braunschweig, Allemagne), 29 avril 1991.

M. D. M. Gilliam (NIST, Gaithersburg, É.-U. d'Amérique) et M. N. Takata (ETL, Tsukuba, Japon), 23 mai 1991.

M. T. Genka (Japan Atomic Energy Research Institute, Tsukuba, Japon), MM. C. Mori et H. Miyahara (Dept. of Nuclear Engineering, Nagoya University, Nagoya, Japon), 5 juin 1991.

IV. — PUBLICATIONS DU BIPM

1. Publications générales

Depuis juillet 1990 ont été publiés :

Procès-Verbaux des séances du Comité international des poids et mesures, Tome 58, 79^e session, septembre 1990, 159 pages.

Comité consultatif des unités, 10^e session, 1990, 54 pages.

Comité consultatif de thermométrie, 17^e session, 1989, 79 pages.

Le Système international d'unités (SI), 6^e édition, 1991, 118 pages.

Rapport annuel de la section du temps du BIPM, Vol. 3, 1990, 131 pages.

Circulaire T (mensuelle), 4 pages.

2. Metrologia (D.A. Blackburn)

Le dernier numéro de *Metrologia* publié par Springer-Verlag a été distribué en décembre 1990 et le premier numéro publié par le BIPM en mars 1991.

Les différences entre l'ancien et le nouveau *Metrologia* sont superficielles et ne concernent que le graphisme de la couverture, la typographie et la mise en page des articles. Toutefois les anciens lecteurs remarqueront que la couleur de la couverture est proche de celle des tout premiers numéros publiés pendant la période 1965-1975, et que la typographie utilisée pour le titre de la revue figurant sur la page de couverture n'a pas changé depuis le volume 1. Ce choix est délibéré ; *Metrologia* associe l'innovation et le respect de l'ancien. La politique rédactionnelle reste la même, malgré ces changements dans le graphisme de la publication. Le journal reste l'organe dans lequel les spécialistes de la métrologie font connaître les progrès réalisés en métrologie scientifique fondamentale, décrivent des expériences originales et publient les décisions du CIPM.

Trente-deux articles ont été publiés en 1990, dont neuf en *thermométrie* et neuf dans le domaine des *masses*. Du 1^{er} janvier au 31 décembre 1990, quarante-cinq manuscrits ont été soumis pour publication. Parmi ceux-ci, vingt-huit ont été publiés, huit ont été rejetés et neuf sont encore à l'étude. Du 1^{er} janvier au 31 mai 1991, dix-sept articles ont été soumis à *Metrologia*. À la date du 31 mai 1991, cinq de ces articles ont été acceptés, un a été rejeté et les onze autres sont à l'étude. En plus des quatre numéros habituels de *Metrologia*, deux numéros supplémentaires ont été préparés, l'un consacré aux comptes rendus d'une conférence qui s'est tenue à Davos (Suisse), du 20 au 22 septembre 1990, sur le thème « New Developments and Advances in Optical Radiometry III » et l'autre à un numéro spécial sur les travaux récents en nanométrie.

Mme Caroline Lawrence a été engagée le 1^{er} avril 1991 comme secrétaire de rédaction, pour répondre au surcroît de travail qui résulte de la publication de six numéros par an (au lieu de quatre), sous la responsabilité du BIPM qui prend maintenant à sa charge le travail de publication autrefois assuré par Springer-Verlag.

3. Publications extérieures

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

V. — RÉUNIONS ET EXPOSÉS AU BIPM

1. Réunions

CCEMRI, 21-24 mai 1991.

CCM, 30-31 mai 1991.

CIPM, 26 septembre-2 octobre 1991.

CGPM, 30 septembre-3 octobre 1991.

2. Exposés

Les exposés suivants ont été présentés au BIPM dans le cadre général de l'information du personnel :

D. Ruelle (Institut des hautes études, Gif-sur-Yvette) : Le chaos déterministe : science et fiction, 9 octobre 1990.

R. Felder : À propos de mon stage au JILA, 14 novembre 1990.

R. S. Davis : The search for anomalous weight reduction in a rotating piston gauge — another null result, 12 décembre 1990.

B. Cagnac (Université P. et M. Curie, Paris) : Revue des différentes méthodes permettant la spectrométrie à très haute résolution sans effet Doppler, 16 janvier 1991.

E. R. Williams (NPL, Royaume-Uni) : An electronic kilogram ; reinventing the wheel, 23 janvier 1991.

F. Biraben (Université P. et M. Curie, Paris) : Spectroscopie multiphotonique dans l'hydrogène et mesure de la constante de Rydberg, 13 février 1991.

S. R. Domen (NIST, É.-U. d'Amérique) : A high-purity water calorimeter, 27 février 1991.

C. Thomas : Exactitude des comparaisons de temps par le Global Positioning System, 27 mars 1991.

A. Michaud : Le maser à rubidium, 10 avril 1991.

R. Vatin (Laboratoire primaire des rayonnements ionisants, CENS, Saclay) : Mesures absolues d'activité β à l'aide de scintillateurs liquides, 14 mai 1991.

VI. — CERTIFICATS ET NOTES D'ÉTUDE

Du 1^{er} octobre 1990 au 30 septembre 1991, 47 Certificats et 2 Notes d'étude ont été délivrés.

CERTIFICATS

1990

N ^{os}	
29. Quatre étalons de force électromotrice dans une enceinte thermorégulée, N° 50717	Institut national des mesures, Le Caire, Égypte.
30. Un laser à hélium-néon de longueur d'onde 633 nm	Inspection générale de la métrologie, Bruxelles, Belgique.
31. Quatre étalons de force électromotrice dans une enceinte thermorégulée, N° 03262 B	Institut métrologique tchécoslovaque, Bratislava, Tchécoslovaquie.
32. Cinq étalons de force électromotrice, N ^{os} 48008, 48021, 48032, 48034 et 48038	Centre national de métrologie, Sofia, Bulgarie.
33. Étalon de résistance de 1 Ω , N° 76088 (addition)	Id.
34. Étalon de résistance de 1 Ω , N° 224907 (addition)	Id.
35. Étalon de résistance de 1 Ω , N° 470205 (addition)	Id.
36. Étalon de résistance de 1 Ω , N° 470461 (addition)	Id.
37. Étalon de résistance de 10 k Ω , N° 114764 (addition)	Id.
38. Étalon de résistance de 10 k Ω , N° 114789 (addition)	Id.
39. Étalon de résistance de 10 k Ω , N° 148531 (addition)	Id.
40. Étalon de force électromotrice à diode de Zener, N° 3795009	Inspection générale de la métrologie, Bruxelles, Belgique.
41. Étalon de force électromotrice à diode de Zener, N° 88062732	Laboratório Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, Lisbonne, Portugal.
42. Étalon de force électromotrice à diode de Zener, N° 4810002	Instituto Nacional de Metrologia, Normalizacao e Qualidade Industrial, Rio de Janeiro, Brésil.

43. Étalon de force électromotrice à diode de Zener, N° 4185005 (addition)	EOLAS, Dublin, Irlande.
44. Un laser à hélium-néon de longueur d'onde 633 nm	Bureau fédéral des mesures et métaux précieux, Belgrade, Yougoslavie.
45. Un laser à hélium-néon de longueur d'onde 633 nm	Id.
46. Étalon de résistance de 1 Ω , N° 1816192	Inspection générale de la métrologie, Bruxelles, Belgique.
47. Étalon de résistance de 1 Ω , N° 1816196	Id.
48. Étalon de résistance de 100 Ω , N° 226750	Id.
49. Étalon de résistance de 10 k Ω , N° 043021	Id.
50. Étalon de résistance de 10 k Ω , N° 508004	Id.
51. Étalon de résistance de 1 Ω , N° 1894050	Centro español de metrologia, Madrid, Espagne.
52. Étalon de résistance de 1 Ω , N° 1894056	Id.
53. Étalon de résistance de 10 k Ω , N° 224109	Id.
54. Deux étalons de flux lumineux (2 800 K), N°s G24 et G25	Institut national de métrologie, Bucarest, Roumanie.

1991

1. Étalon de force électromotrice à diode de Zener, N° 3795009 (addition)	Inspection générale de la métrologie, Bruxelles, Belgique.
2. Étalon de force électromotrice à diode de Zener, N° 4915001	Inspection générale de la métrologie, Bruxelles, Belgique.
3. Étalon de résistance de 1 Ω , N° 1611312 (addition)	Bundesamt für Eich-und Vermessungswesen, Vienne, Autriche.
4. Étalon de résistance de 10 k Ω , N° 1784815	Id.
5. Cinq étalons de force électromotrice, N°s 64901, 64092, 71086, 63267 et PTR9-1940	Id.
6. Étalon de résistance de 1 Ω , N° 1799595	Laboratório Nacional de Engenharia e Tecnologia, Lisbonne, Portugal.
7. Étalon de résistance de 10 k Ω , N° 181514	Id.

8. Étalon de résistance de 1 Ω , N° 144487 (addition)	Institut métrologique tchécoslovaque, Brastislava, Tchécoslovaquie.
9. Étalon de résistance de 1 Ω , N° 222039	Id.
10. Étalon de résistance de 1 Ω , N° 1859009	Id.
11. Étalon de résistance de 10 k Ω , N° 117720 (addition)	Id.
12. Étalon de résistance de 10 k Ω , N° 148058	Id.
7. Étalon de résistance de 1 Ω , N° 076124 (addition)	Office des mesures de Hongrie, Budapest, Hongrie.
14. Étalon de résistance de 1 Ω , N° 470419	Id.
15. Étalon de résistance de 10 k Ω , N° 616007	Inspection générale de la métrologie, Bruxelles, Belgique.
16. Quatre étalons de force électromotrice, N°s 32937, 32939, 32949 et 32933	Office des mesures de Hongrie, Budapest, Hongrie.
17. Étalon de force électromotrice à diode de Zener, N° 3855030	National Physical Laboratory, Jérusalem, Israël.
18. Règle de 1 mètre, N° 0127-78, en acier au nickel	Institut de métrologie D.I. Mendéléev, Leningrad, URSS
19. Deux calibres en acier de 500 et 1 000 mm	Institut de métrologie D.I. Mendéléev, Leningrad, URSS
20. Chambre d'ionisation, NE 2561-321	Agence internationale de l'énergie atomique, Vienne, Autriche.
21. Deux chambres d'ionisation, Shonka 346 et Shonka 380	Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Madrid, Espagne.

NOTES D'ÉTUDE

1991

N°s

1. Sur l'étude de la dilatabilité d'une
longueur de 24 m de fil d'invar Imphy Service, Clichy, France.
2. Sur l'étude de la dilatabilité d'une
longueur de 24 m de fil d'invar Imphy Service, Clichy, France.

VII. — 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 1990.

Compte I. — Fonds ordinaires *

RECETTES

	francs-or
ACTIF AU 1 ^{er} JANVIER 1990	10 924 171,95
Recettes budgétaires	20 092 067,80
Taxes sur les achats remboursées	720 255,39
Différences de change	34 244,21
Total	<u>31 770 739,35</u>

DÉPENSES

	francs-or
Dépenses budgétaires	19 346 348,52
Taxes sur les achats remboursables	711 587,15
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1990	31 734,60
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1990	11 681 069,08
Total	<u>31 770 739,35</u>

DÉTAIL DES RECETTES BUDGÉTAIRES

	francs-or
Versement de contributions :	
au titre de l'exercice 1990 16 957 446	} 19 001 064,00
au titre de l'exercice 1989 1 311 851	
au titre de l'exercice 1988 380 077	
au titre de l'exercice 1987 et antérieurs 350 407	
au titre de l'exercice 1991 1 283	
Intérêts des fonds	1 042 244,80
Recettes diverses	48 759,00
Total	<u>20 092 067,80</u>

* Dans ce compte, comme dans les suivants, on utilise le franc-or défini par l'équivalence 1 franc-or = 1,814 52 franc français.

Dépenses du Compte I. — Les dépenses budgétaires en 1990 se sont élevées à 19 346 348,52 francs-or pour un budget voté s'élevant à 19 686 000 francs-or.

DÉTAIL DES DÉPENSES BUDGÉTAIRES

Chapitres	Dépenses de l'exercice	Budget voté	Économies	Dépassements
<i>A. Dépenses de personnel :</i>				
1. Traitements	9 663 111,20	9 605 000	—	58 111,20
2. Allocations familiales et sociales.	1 592 179,69	1 642 000	49 820,31	—
3. Sécurité sociale	986 216,90	983 000	—	3 216,90
4. Assurance-accidents du travail.	96 512,91	96 000	—	512,91
5. Caisse de retraites (a)	1 537 000,00	1 537 000	—	—
<i>B. Dépenses de fonctionnement :</i>				
1. Mobilier	39 456,19	50 000	10 543,81	—
2. Laboratoires et ateliers	938 568,36	930 000	—	8 568,36
3. Chauffage, eau, énergie électrique.	334 503,14	450 000	115 496,86	—
4. Assurances	54 467,30	50 000	—	4 467,30
5. Impressions et publications	51 919,33	155 000	103 080,67	—
6. Frais de bureau	342 196,35	340 000	—	2 196,35
7. Voyages et transports d'appareils.	352 324,21	340 000	—	12 324,21
8. Entretien courant	336 342,91	310 000	—	26 342,91
9. Bureau du Comité	72 000,00	72 000	—	—
<i>C. Dépenses d'investissement :</i>				
1. Laboratoires	1 390 643,59	1 800 000	409 356,41	—
2. Atelier de mécanique	302 906,69	212 000	—	90 906,69
3. Atelier d'électronique	—	—	—	—
4. Bibliothèque	237 276,67	200 000	—	37 276,67
<i>D. Dépenses de bâtiments (gros travaux d'entretien et de rénovation)</i>				
	761 815,82	740 000	—	21 815,82
<i>E. Frais divers (b)</i>				
	256 907,26	174 000	—	82 907,26
Totaux	19 346 348,52	19 686 000	688 298,06	348 646,58
(a) Virement au compte II (Caisse de retraites).				
(b) Comprenant un virement de 2 423 francs-or au Compte IV (Caisse de prêts sociaux).				

Compte II. — Caisse de retraites

RECETTES

	francs-or
ACTIF AU 1 ^{er} JANVIER 1990	14 002 735,45
Retenues sur les traitements	860 534,15
Virement du Compte I	1 537 000,00
Intérêts des fonds	1 210 810,36
Total	<u>17 611 079,96</u>

DÉPENSES

	francs-or
Pensions servies	2 833 659,71
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1990	39 516,41
Remboursement de versements	191 535,00
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1990	14 546 368,84
Total	<u>17 611 079,96</u>

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

RECETTES

	francs-or
ACTIF AU 1 ^{er} JANVIER 1990	75 835,04
Total	<u>75 835,04</u>

DÉPENSES

	francs-or
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1990	207,23
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1990	75 627,81
Total	<u>75 835,04</u>

Compte IV. — Caisse de prêts sociaux

RECETTES

		francs-or
ACTIF AU 1 ^{er} JANVIER 1990	116 526,17 }	283 545,36
Créances au 1 ^{er} janvier 1990	167 019,19 }	87 641,15
Créances nouvelles en cours d'année		
Amortissements partiels des prêts :		
Capital	134 702,16 }	139 583,44
Intérêts	4 881,28 }	
Virement du Compte I		2 423,00
Intérêts des fonds		11 401,84
Total		<u><u>524 594,79</u></u>

DÉPENSES

		francs-or
Prêts consentis en cours d'année		87 461,15
Créances amorties en cours d'année		134 702,16
Créances au 31 décembre 1990	119 958,18 }	302 431,48
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1990	182 473,30 }	
Total		<u><u>524 594,79</u></u>

Bilan au 31 décembre 1990

	francs-or
Compte I « Fonds ordinaires »	11 681 069,08
Compte II « Caisse de retraites »	14 546 368,84
Compte III « Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique »	75 627,81
Compte IV « Caisse de prêts sociaux »	302 431,48
	<hr/>
ACTIF NET	26 605 497,21
	<hr/> <hr/>

Cet actif net se décompose comme suit :

a. Fonds déposés en banque :

	francs-or
1° En monnaie française (1 FRF=0,551 109 935 FO)	583 237,94
2° En monnaie U.S.A. (1 USD=5,129 0 FRF=2,826 642 859 FO)	110 099,22
3° En monnaie suisse (1 CHF=3,980 8 FRF=2,193 858 431 FO)	1 532 698,61
4° En monnaie britannique (1 GBP=9,804 0 FRF=5,403 081 807 FO)	21 305,48
5° En monnaie allemande (1 DEM=3,402 5 FRF=1,875 151 555 FO)	3 863 590,75
6° En monnaie japonaise (100 JPY=3,791 5 FRF=2,089 533 320 FO)	3 397 204,04
7° En monnaie hongroise (1 HUF=0,080 2 FRF=0,044 199 017 FO)	3 497,38
8° En monnaie polonaise (100 PLZ=0,053 8 FRF=0,029 649 715 FO)	228,62
9° En monnaie néerlandaise (1 NLG=3,015 1 FRF=1,661 651 566 FO)	8 631 227,24
10° En ECU (1 XEU=6,980 0 FRF=3,846 747 349 FO)	8 341 773 98

b. Espèces en caisse 675,77

ACTIF BRUT 26 485 539,03

c. Créances de la Caisse de prêts sociaux 119 958,18

ACTIF NET 26 605 497,21



RAPPORT
DU GROUPE DE TRAVAIL *AD HOC*
SUR LA MÉTROLOGIE EN CHIMIE

La réunion du « Groupe de travail *ad hoc* sur les mesures chimiques et physico-chimiques » s'est tenue au NIST les 4 et 5 juin 1991.

M. Lyons ouvre la réunion du groupe de travail et fait un tour de table des membres de ce groupe et de leurs représentants*.

M. Lyons demande à M. Quinn de présenter le BIPM et de faire l'historique des questions relatives à l'uniformité et à la traçabilité des mesures chimiques et physico-chimiques.

M. Quinn rappelle que la nécessité d'uniformiser les mesures pour répondre aux besoins du commerce international a été l'un des éléments moteurs qui ont conduit jadis à la signature de la Convention du Mètre, à l'établissement du CIPM et à la création du BIPM. Au cours des années, le rôle du BIPM a évolué ; conçu à l'origine seulement pour conserver les étalons du mètre et du kilogramme, sa compétence s'est étendue aux étalons d'autres grandeurs, représentatifs d'autres unités du SI, les plus récentes étant les unités utilisées dans le domaine des rayonnements ionisants, et cela toujours en liaison étroite avec les laboratoires nationaux des États membres.

M. Quinn rappelle la discussion qui a été à l'origine de ce Groupe de travail *ad hoc*, mis en place par le CIPM en 1990, pour réfléchir aux demandes d'une coordination mondiale des mesures chimiques et physico-chimiques, (voir *BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 1990, 58, 13-15). Il ajoute que le réseau de traçabilité, tel qu'il existe pour les mesures physiques, n'existe pas pour les mesures chimiques. Le Groupe de travail *ad hoc* doit donc se pencher sur les divers problèmes soulevés.

Le contexte étant ainsi rappelé, M. Lyons donne lecture de la mission du Groupe de travail *ad hoc* sur les mesures chimiques et physico-chimiques : « conseiller le CIPM sur l'opportunité pour le BIPM de jouer un rôle effectif en vue d'assurer l'uniformité et la traçabilité des mesures chimiques et physico-chimiques ».

* Ont participé à cette réunion : MM. J. W. LYONS, président (NIST), P. B. CLAPHAM (NPL), H. S. HERTZ (NIST), M. KUBOTA (National Chemical Laboratory for Industry - Kagaku Gijutsu Kenkyusho), A. MARSCHAL (LNE), K. N. MARSH (Thermodynamics Research Center - Texas A & M University), T. J. QUINN (BIPM), W. RICHTER (PTB), G. SINNOTT (NIST).

Les membres de ce Groupe de travail présentent leurs contributions et une discussion s'ensuit dans le but :

- d'évaluer la nature et la portée des problèmes relatifs à la traçabilité des mesures chimiques et physico-chimiques ;
- d'identifier l'organisation internationale la mieux qualifiée pour traiter ce problème ;
- de proposer un mode opératoire pour trouver un début de solution à ce problème.

Chacun de ces points est détaillé ci-dessous.

Nature et portée du problème

Le Groupe de travail a considéré l'obstacle réel que constitue pour le commerce international l'absence d'une coordination internationale assurant l'uniformité et la traçabilité des mesures chimiques et physico-chimiques. Les études sur l'évolution générale des conditions de l'environnement reposent sur des résultats fiables et exacts obtenus par les chercheurs dans le monde entier, mais cette fiabilité dépend elle-même de la compatibilité des mesures, où l'on puise les données pour effectuer des simulations globales. Ces problèmes peuvent être réglés en édictant des normes réglementaires concernant à la fois le contenu chimique des produits faisant l'objet du commerce international et les limites imposées dans l'intérêt de l'environnement, de la santé ou de la sécurité. Il n'existe pas pour les mesures chimiques de structures similaires à celles mises en place par le CIPM et le BIPM pour assurer la traçabilité des mesures physiques.

Le Groupe de travail pense que les problèmes de traçabilité des mesures chimiques se posent principalement pour les mesures quantitatives des composants chimiques, et il a donc décidé de limiter à l'analyse quantitative ses discussions sur la traçabilité des mesures chimiques. Le Groupe de travail indique que des propriétés physico-chimiques de matériaux, comme par exemple la masse volumique ou la pression de vapeur, sont déjà étudiées par le BIPM. Il pense que les différents comités consultatifs du CIPM, y compris éventuellement tout comité consultatif pour la métrologie en chimie qui pourrait être créé, sont les mieux qualifiés pour décider s'il convient ou non d'étendre cette activité à d'autres mesures physico-chimiques.

La difficulté principale à comparer entre elles les mesures chimiques quantitatives provient de la grande variété des substances à analyser et de la complexité, qui en résulte, des méthodes de mesures chimiques à mettre en œuvre. Pour faire face à ce problème, un certain nombre de systèmes nationaux autonomes de traçabilité des mesures chimiques ont

vu le jour. Ces systèmes complexes, mis en place pour assurer la qualité et la traçabilité des mesures chimiques, concernent à la fois les matériaux de référence, les méthodes d'analyse chimique, que ce soient des méthodes de référence ou de validation, et parfois les processus d'accréditation des laboratoires. M. Hertz donne des exemples de réseaux de traçabilité des mesures chimiques. Ce dont on a besoin c'est d'un organisme de haut niveau chargé de faire le lien entre ces différents systèmes autonomes pour parvenir à un accord mutuel et permettre de comparer entre eux les résultats de mesures chimiques.

Le BIPM est-il l'organisme le mieux qualifié pour s'occuper de cette question ?

Le Groupe de travail *ad hoc* a examiné parmi les organismes internationaux de normalisation existants quel est celui qui pouvait assurer la liaison entre les différents systèmes nationaux de traçabilité des mesures chimiques. Il a été reconnu que ce devait nécessairement être un organisme de métrologie scientifique. Les rôles respectifs de l'OIML, de l'UICPA, de l'ISO-REMCO et du BIPM ont été discutés. Les arguments avancés étaient les suivants :

— L'OIML a été créée pour traiter les problèmes spécifiques à la métrologie légale, mais elle n'est pas qualifiée pour fournir les bases scientifiques.

— L'UICPA s'occupe des questions relatives aux masses atomiques, à la terminologie et aux symboles adoptés au niveau international dans le domaine des mesures physico-chimiques. L'UICPA comprend un certain nombre de commissions et de sous-commissions actives dans les domaines de l'analyse chimique en général et de la mise au point d'étalons de référence et de méthodes d'étalonnage spécifiques. En particulier, la sous-commission de chimie physique sur les matériaux de référence en chimie de l'UICPA est chargée de veiller à ce que les sections et les commissions de l'UICPA soient toujours bien au courant de l'évolution des connaissances relatives aux matériaux de référence et aux étalons dans les laboratoires nationaux de métrologie. Toutefois l'UICPA n'est pas en liaison étroite avec les laboratoires d'étalonnage et n'a pas pour vocation d'organiser des comparaisons entre ces laboratoires ; cette union n'est pas non plus compétente pour élaborer et réaliser un programme de recherches expérimentales pour mettre au point des méthodes de référence analytiques. Le travail de l'UICPA est effectué essentiellement sur la base du volontariat.

— L'ISO-REMCO élabore des documents normatifs, mais n'a aucune activité scientifique propre.

— Le BIPM est considéré comme l'organisation la mieux appropriée pour mettre en œuvre le programme fondamental de recherche scientifique nécessaire pour établir les fondements de la traçabilité des mesures chimiques. Le travail du BIPM serait lié à la réalisation de la mole, et devrait exclure les activités qui entrent dans le cadre actuel des divers systèmes nationaux de traçabilité. Il est important que le rôle du BIPM soit strictement limité aux questions essentielles relatives aux méthodes de référence et aux matériaux de référence. Ce point sera développé dans le chapitre suivant.

Le Groupe de travail reconnaît que l'importante question de l'accréditation est probablement plus du domaine de l'ILAC.

Programme à envisager pour le BIPM

Le Groupe de travail est d'accord pour dire que le programme devrait être limité à l'analyse chimique quantitative. Il reconnaît que le nombre des méthodes d'analyse chimique le plus couramment utilisées ne dépasse pas quinze ou vingt. Parmi celles-ci, seules quelques-unes pourraient être considérées comme méthodes de référence. Les méthodes de référence doivent répondre aux critères suivants :

— avoir fait preuve d'une précision et d'une exactitude relativement élevées ;

— ne présenter qu'une faible susceptibilité à des interférences connues ;

— que ces interférences soient suffisamment bien étudiées et décrites pour que l'on puisse appliquer la méthode avec confiance ;

— l'utilité de ces méthodes est de permettre d'évaluer l'exactitude d'autres méthodes et d'attribuer des valeurs de référence à des matériaux de référence certifiés.

Le Groupe de travail a identifié les méthodes de référence d'analyse chimique suivantes : la spectrométrie de masse par dilution isotopique (IDMS), la gravimétrie, le titrage, et la coulométrie.

Le Groupe de travail a émis comme hypothèse de base qu'un programme de coordination internationale ne doit porter que sur une ou deux méthodes de référence. De telles méthodes devraient avoir un large éventail d'applications pratiques, mais pour ce programme international, ces méthodes de référence qui jouent un rôle-clé ne seraient appliquées qu'à un nombre restreint de matériaux de référence. Les laboratoires participants seraient alors capables d'étendre la traçabilité, obtenue au niveau international grâce ce programme, à leurs propres systèmes de traçabilité sur un plus grand nombre de méthodes et de matériaux de référence.

Il est reconnu nécessaire d'établir une hiérarchie entre les matériaux de référence selon la complexité de l'analyse chimique en partant de la plus simple jusqu'à la plus complexe. L'ordre hiérarchique est le suivant :

1. Impuretés dans un gaz pur (par exemple CO_2);
2. Éléments inorganiques dans une solution simple (par exemple, métaux lourds dans l'eau);
3. Composés organiques dans une solution simple;
4. Éléments inorganiques dans une matrice complexe;
5. Composés organiques dans une matrice complexe.

Le BIPM pourrait proposer une comparaison internationale mettant en œuvre l'analyse d'un ou deux matériaux de référence qui jouent un rôle-clé et qui appartiennent à la première ou à la deuxième catégorie ci-dessus, à l'aide d'une méthode de référence telle que la spectrométrie de masse par dilution isotopique. Cela aurait pour objectif de voir, grâce à la collaboration du BIPM et des laboratoires nationaux, si l'hypothèse indiquée plus haut est valable. Le Groupe de travail *ad hoc* a reconnu d'un commun accord que le rôle du BIPM à long terme dépendrait de la nécessité qu'il y aurait de faire des recherches scientifiques en laboratoire pour confirmer la validité des méthodes de référence choisies, comme par exemple la spectrométrie de masse par dilution isotopique, et la sélection d'un petit nombre de matériaux de référence qui jouent un rôle-clé.

Le Groupe de travail a résumé ces discussions et a mis au point des propositions pour le CIPM. Ces résultats sont contenus dans les conclusions et recommandations ci-après.

Conclusions et recommandations

Le Groupe de travail *ad hoc* a conclu que les systèmes nationaux de métrologie en chimie ne sont pas compatibles entre eux au niveau international et que ce manque de compatibilité est un obstacle au commerce international et aux progrès de la coopération internationale dans les questions relatives, entre autres, à l'environnement et à la santé. Le Groupe de travail considère que la compatibilité internationale pourrait être largement améliorée en coordonnant le travail effectué par les laboratoires nationaux sur un nombre restreint de méthodes de référence identifiables et de matériaux de référence pour l'analyse chimique quantitative. Le Groupe de travail pense donc que le BIPM est l'organisation la mieux appropriée pour coordonner cette activité. Le rôle du BIPM doit être limité au travail sur les étalons et à la traçabilité au niveau le plus élevé de la métrologie; le BIPM ne doit travailler qu'avec les laboratoires nationaux de métrologie.

En conséquence, le Groupe de travail *ad hoc* recommande que le CIPM crée un Groupe de travail sur la métrologie en analyse chimique pour traiter du problème spécifique de la traçabilité au niveau international pour les analyses chimiques quantitatives. L'hypothèse de base de la proposition est qu'une action coordonnée au niveau international, limitée à une ou deux méthodes de référence employées très largement et à un nombre restreint de matériaux de référence qui jouent un rôle-clé, permettrait aux laboratoires participants d'étendre la traçabilité, ainsi obtenue au niveau international, à un éventail plus large de méthodes et de matériaux de référence. Le groupe de travail sur la métrologie en chimie tel qu'il est proposé aurait pour mission :

- d'élaborer et de conduire un programme préliminaire de coopération entre les laboratoires nationaux dans le domaine de l'analyse chimique quantitative pour évaluer l'hypothèse de travail ci-dessus ;
- de proposer un programme de travail futur pour le BIPM et les laboratoires nationaux de métrologie ;
- d'envisager la création éventuelle d'un Comité consultatif sur la métrologie en chimie.

Le Groupe de travail sur la métrologie en analyse chimique devrait présenter son rapport au CIPM suffisamment tôt pour lui permettre de prendre une décision en octobre 1994 sur le programme de travail futur.

Le Groupe de travail *ad hoc* note que le BIPM participe déjà à des mesures portant sur certaines propriétés physico-chimiques de matériaux (comme par exemple la masse volumique de l'eau et la pression de vapeur de l'hélium liquide). Le Groupe de travail *ad hoc* recommande que les comités consultatifs du CIPM concernés examinent la possibilité d'étendre ces activités à d'autres mesures physico-chimiques.

FORMULE POUR LA DÉTERMINATION
DE LA MASSE VOLUMIQUE DE L'AIR HUMIDE
(1981/1991)

par R. S. DAVIS *

Introduction

Les comparaisons d'étalons de masse dans l'air demandent généralement l'application de corrections de poussée de l'air. Pour effectuer ces corrections, le BIPM et la plupart des laboratoires nationaux utilisent maintenant la même formule pour la détermination de la masse volumique de l'air humide, ρ [1, 2]. Cette formule fait intervenir la température de l'air, sa pression, son humidité relative (ou la température du point de rosée), sa fraction molaire du dioxyde de carbone et un certain nombre de paramètres considérés comme des constantes.

La formule présentée dans les références [1, 2] est souvent désignée, bien que de manière non officielle, sous le nom de « formule CIPM-81 » pour indiquer que son usage a été recommandé par le Comité international des poids et mesures en 1981 [1].

Depuis sa publication il y a environ dix ans, la connaissance de l'un des principaux paramètres, la constante molaire des gaz, s'est améliorée. De plus, on dispose maintenant de valeurs plus récentes pour d'autres constantes. C'est pourquoi le Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées (CCM), sur la proposition de son Groupe de travail « masse volumique », a estimé, à sa dernière réunion (mai 1991), qu'il serait bon de corriger la valeur de certains paramètres utilisés dans les références [1, 2]. Il a toutefois souligné que la forme de la formule de 1981 et les principes qui ont permis de l'établir demeurent inchangés.

Le CCM a donc proposé que la formule de 1981, modifiée pour tenir compte des nouvelles valeurs de certains paramètres données ci-dessous, soit désignée sous le nom de « Formule pour la détermination de la masse volumique de l'air humide (1981/1991) », en bref dans cette note « formule 1981/91 »**. Cette dernière reste valable pour les

* Président du Groupe de travail « masse volumique » du Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées (CCM).

** Cette formule a été approuvée par le Comité international des poids et mesures (CIPM) lors de sa 80^e session (septembre 1991).

domaines de pression, de température, d'humidité relative (ou de température du point de rosée) et de fraction molaire du dioxyde de carbone mentionnés dans les références [1, 2].

Les différences entre les valeurs numériques obtenues à l'aide de la formule de 1981 et de la formule 1981/91 sont minimes. En fait, on peut constater que : (1) les masses volumiques de l'air calculées à l'aide de la formule 1981/91 ne diffèrent pas significativement de celles calculées à partir de la formule de 1981 ; (2) l'incertitude globale qui résulte de la formule 1981/91 n'est pas significativement améliorée par rapport à celle de la formule de 1981. Le changement a été effectué simplement pour que les valeurs des constantes utilisées dans la formule soient les meilleures dont on dispose aujourd'hui.

1. La formule de 1981

En bref, la formule pour la détermination de la masse volumique de l'air humide de 1981 a la forme suivante :

$$\rho = \frac{pM_a}{ZRT} \left[1 - x_v \left(1 - \frac{M_v}{M_a} \right) \right] \quad (1)$$

où p est la pression, T la température thermodynamique, x_v la fraction molaire de la vapeur d'eau, M_a la masse molaire de l'air sec, M_v la masse molaire de l'eau, R la constante molaire des gaz et Z le facteur de compressibilité.

On admet que M_a est constante, sauf pour tenir compte des variations locales de la fraction molaire du dioxyde de carbone. On suppose que ces variations sont exactement opposées à celles de la fraction molaire de l'oxygène, ce qui conduit à cette relation :

$$M_a = [28,963\ 5 + 12,011(x_{\text{CO}_2} - 0,000\ 4)] \times 10^{-3} \text{ kg/mol} \quad (2)$$

où x_{CO_2} est la fraction molaire du dioxyde de carbone.

La fraction molaire de la vapeur d'eau x_v n'est pas mesurée directement mais déterminée à partir de la mesure soit de l'humidité relative h , soit de la température t_r du point de rosée. Dans les deux cas, il est nécessaire de connaître $p_{\text{sv}}(t)$, la pression de vapeur d'eau saturante dans l'air humide. Celle-ci est calculée à l'aide de la relation :

$$p_{\text{sv}} = 1 \text{ Pa} \times \exp\left(AT^2 + BT + C + \frac{D}{T} \right) \quad (3)$$

Il est aussi nécessaire de connaître le facteur d'augmentation f calculé à partir de la relation :

$$f = \alpha + \beta p + \gamma t^2, \quad (4)$$

où t est la température Celsius.

Rappelons que

$$x_v = hf(p, t) \frac{p_{sv}(t)}{p} = f(p, t_r) \frac{p_{sv}(t_r)}{p}.$$

Finalement, le facteur de compressibilité Z est calculé à l'aide de la relation :

$$Z = 1 - \frac{p}{T} [a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + (b_0 + b_1 t) x_v + (c_0 + c_1 t) x_v^2] + \frac{p^2}{T^2} \cdot (d + e x_v^2). \quad (5)$$

Les valeurs des constantes des relations (3) à (5) sont données aux références [1, 2].

2. Les changements effectués

2.1. Constante molaire des gaz

La formule (1) fait intervenir la constante molaire des gaz, R . Depuis la publication des documents [1, 2], CODATA a recommandé une meilleure estimation de R [3] :

$$R = 8,314\,510 (1 \pm 8,4 \times 10^{-6}) \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1},$$

qui est, en valeur relative, de 12×10^{-6} supérieure à celle utilisée dans les références [1, 2]. L'incertitude de cette nouvelle estimation est 0,27 fois celle attribuée à la valeur de R utilisée dans les références [1, 2]. En dépit de cette amélioration sensible, l'incertitude globale de la masse volumique de l'air calculée reste pratiquement la même.

2.2. Température

La température, qui est une variable, intervient explicitement au dénominateur de la formule (1) et implicitement dans le calcul de p_{sv} , de f et de Z (relations (3) à (5)). Depuis le 1^{er} janvier 1990, l'Échelle internationale de température de 1990 (EIT-90) [4] a remplacé l'Échelle internationale pratique de température de 1968 (EIP-68) et il est utile d'indiquer quelles sont les incidences de ce changement sur la formule pour la détermination de la masse volumique de l'air humide. La formule (1) a été établie en supposant que l'air humide est un gaz

parfait et en effectuant les petites corrections nécessaires pour tenir compte du fait que cela n'est pas tout à fait exact. T est la température thermodynamique. Les températures sont donc mesurées dans l'EIT-90 car ces températures sont censées être plus proches des températures thermodynamiques correspondantes que celles mesurées dans l'EIPT-68.

Les relations (3) à (5) servant à calculer des corrections relativement mineures, les petits changements introduits par l'EIT-90 (environ 5 mK à 20 °C) sont d'importance secondaire. On a cependant utilisé l'EIT-90 pour recalculer les constantes de ces relations, comme cela est expliqué plus en détail au chapitre suivant.

2.3. f , p_{sv} , Z

Comme on l'indique dans les références [1, 2], les relations pour le calcul de p_{sv} , f et Z reposent sur une étude de Greenspan, Wexler et Hyland. Hyland et Wexler ont revu cette étude [5] et nous avons tenu compte de leurs nouveaux résultats. On peut noter que ces résultats dépendent de R et de T . Les auteurs, anticipant le remplacement de l'EIPT-68, ont montré comment il était possible de convertir leurs résultats dans une échelle de température différente. La valeur de R utilisée en [5] est suffisamment proche de la valeur actuellement recommandée par CODATA [3] pour que leurs résultats ne soient pas affectés par ce changement.

3. Nouvelles valeurs des constantes

Les nouvelles valeurs des constantes qui sont introduites dans la formule pour la détermination de la masse volumique de l'air humide (1981/1991) sont données au tableau 1, où sont données aussi, à titre de comparaison, les valeurs utilisées dans la formule originale de 1981. On peut noter que, dans le cas du facteur d'augmentation f , les constantes ne sont pas affectées par les nouveaux calculs.

Dans les références [1, 2], la constante principale de la formule finale pour la détermination de la masse volumique de l'air humide est M_a/R . La valeur de M_a ne change pas par rapport à celle de 1981 mais celle de R est maintenant modifiée, comme nous l'avons dit précédemment au chapitre 2.1.

TABLEAU 1

Valeurs des constantes de la formule pour la détermination de la masse volumique de l'air humide de 1981 et valeurs corrigées de 1991 recommandées dans ce rapport pour la formule 1981/91.

	1981	1991
Pression de vapeur saturante, p_{sv}		
$A/(10^{-5} \text{ K}^{-2})$	1,281 180 5	1,237 884 7
$B/(10^{-2} \text{ K}^{-1})$	- 1,950 987 4	- 1,912 131 6
C	34,049 260 34	33,937 110 47
$D/(10^3 \text{ K})$	- 6,353 631 1	- 6,343 164 5
facteur d'augmentation, f		
α	1,000 62	1,000 62
$\beta/(10^{-8} \text{ Pa}^{-1})$	3,14	3,14
$\gamma/(10^{-7} \text{ K}^{-2})$	5,6	5,6
facteur de compressibilité, Z		
$a_0/(10^{-6} \text{ K Pa}^{-1})$	1,624 19	1,581 23
$a_1/(10^{-8} \text{ Pa}^{-1})$	2,896 9	- 2,933 1
$a_2/(10^{-10} \text{ K}^{-1} \text{ Pa}^{-1})$	1,088 0	1,104 3
$b_0/(10^{-6} \text{ K Pa}^{-1})$	5,757	5,707
$b_1/(10^{-8} \text{ Pa}^{-1})$	- 2,589	- 2,051
$c_0/(10^{-4} \text{ K Pa}^{-1})$	1,929 7	1,989 8
$c_1/(10^{-6} \text{ Pa}^{-1})$	- 2,285	- 2,376
$d/(10^{-11} \text{ K}^2 \text{ Pa}^{-2})$	1,73	1,83
$e/(10^{-8} \text{ K}^2 \text{ Pa}^{-2})$	- 1,034	- 0,765
constante des gaz, R		
$R/(\text{J mol}^{-1} \text{ K}^{-1})$	8,314 41	8,314 510
constante principale, $M_a(x_{\text{CO}_2} = 0,000 4)/R$,		
dans la formule pour la détermination de la masse volumique de l'air humide		
$M_a R^{-1}/(10^{-3} \text{ kg K J}^{-1})$	3,483 53	3,483 49

4. Effet des changements

Il est dit dans l'introduction que les différences entre la formule pour la détermination de la masse volumique de l'air humide de 1981 et la formule 1981/91 sont minimes. Le tableau 2 le montre en comparant les résultats obtenus avec les paramètres de 1981 et avec ceux de 1981/91 donnés au tableau 1. Pour ces calculs, la fraction molaire du dioxyde de carbone est supposée égale à 0,000 4 et l'EIT-90 est utilisée dans tous les cas. Dans ces exemples, on a choisi arbitrairement l'humidité relative plutôt que la température du point de rosée.

TABLEAU 2

Exemples comparant les résultats obtenus à l'aide de la formule pour la détermination de la masse volumique de l'air humide (1981) et de la formule 1981/91. La masse volumique de l'air ρ (kg m^{-3}), la pression de vapeur saturante p_{sv} (Pa), et le facteur de compressibilité Z sont calculés en fonction de la pression p , de la température t et de l'humidité relative h . Dans tous les calculs, on utilise l'EIT-90. Dans ces exemples, la fraction molaire du dioxyde de carbone a été prise égale à 0,000 4.

	1981	1981/91
$p = 100\,000$ Pa		
$t = 20$ °C		
$h = 0,50$		
ρ	1,183 507	1,183 472
p_{sv}	2 338,6	2 339,2
Z	0,999 603	0,999 619
$p = 110\,000$ Pa		
$t = 20$ °C		
$h = 0,10$		
ρ	1,306 622	1,306 582
p_{sv}	2 338,6	2 339,2
Z	0,999 590	0,999 608
$p = 100\,000$ Pa		
$t = 15$ °C		
$h = 0,90$		
ρ	1,202 443	1,202 408
p_{sv}	1 705,3	1 705,7
Z	0,999 539	0,999 555
$p = 60\,000$ Pa		
$t = 25$ °C		
$h = 0,50$		
ρ	0,694 179	0,694 162
p_{sv}	3 168,8	3 169,8
Z	0,999 759	0,999 769

Dans tous les exemples donnés au tableau 2, la masse volumique de l'air calculée à partir des valeurs des constantes de la formule 1981/91 est inférieure en valeur relative d'environ 3×10^{-5} à celle obtenue à partir des valeurs de 1981. Alors que ces différences se situent à l'intérieur du domaine d'incertitude attribué à cette formule, elles sont appréciables si l'on considère la précision des valeurs portées dans les tableaux des références [1, 2]. On peut noter que le changement sur la valeur calculée de la masse volumique de l'air dû à l'introduction de la valeur la plus récente de R de CODATA est sensiblement égal au changement dû aux nouvelles valeurs de Z .

5. Propositions

Compte tenu des considérations exposées ci-dessus, le CCM a soumis les propositions suivantes au CIPM, qui les a approuvées lors de sa 80^e session (septembre 1991).

1. La forme de toutes les relations citées dans les références [1, 2], qui entrent dans le calcul de la masse volumique de l'air humide, reste inchangée.
2. Les valeurs de certaines constantes citées dans les références [1, 2] doivent être corrigées, comme cela est indiqué au tableau 1 de ce document.
3. La formule pour la détermination de la masse volumique de l'air humide, dont la forme est donnée dans les références [1, 2], mais avec les valeurs modifiées des constantes du tableau 1 de ce document, doit être désignée sous le nom de « Formule pour la détermination de la masse volumique de l'air humide (1981/1991) ».
4. L'EIT-90 doit être utilisée dans la formule 1981/91.
5. L'incertitude globale pour la masse volumique de l'air calculée à l'aide de la formule 1981/91 est pratiquement égale à celle obtenue à l'aide de la formule de 1981.

Remerciements. Nous tenons à remercier P. Carré, retraité du BIPM, qui a effectué les calculs et les analyses pour établir la formule pour la détermination de la masse volumique de l'air humide (1981/1991).

Bibliographie

- [1] Formule pour la détermination de la masse volumique de l'air humide (1981), *BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 1981, **49**, C1-C15.
- [2] GIACOMO P., Equation for the determination of the density of moist air (1981), *Metrologia*, 1982, **18**, 33-40.
- [3] COHEN E. R., TAYLOR B. N., The 1986 adjustment of the fundamental physical constants, *CODATA Bulletin*, novembre 1986, n° 63 (Pergamon, Oxford/New York).
- [4] PRESTON-THOMAS H., The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90), *Metrologia*, 1990, **27**, 3-10.

- [5] HYLAND R. W., WEXLER A., Formulations for the thermodynamic properties of the saturated phases of H₂O from 173.15 K to 473.15 K, *ASHRAE Trans.*, 1983, **89**, Part IIA, 500-519.

HYLAND R. W., WEXLER A., Formulations for the thermodynamic properties of dry air from 173.15 K to 372.15 K, at pressures to 5 MPa, *ASHRAE Trans.*, 1983, **89**, Part IIA, 520-535.

NOTICE NÉCROLOGIQUE

Leslie E. HOWLETT

1904-1992

Leslie E. Howlett d'Ottawa (Canada), est décédé le 21 janvier 1992 dans sa quatre-vingt-huitième année. Il fut membre du Comité international des poids et mesures (CIPM) de 1955 à 1968 ; il fut aussi président du Comité consultatif pour la définition du mètre (CCDM) à partir de 1956. Il devint vice-président du CIPM en 1960 et président en 1964. Il fut nommé membre honoraire lorsqu'il quitta le Comité en 1968.

Après avoir terminé ses études, qu'il fit successivement dans les universités de British Columbia, Toronto et McGill, Howlett entra en 1931 au Conseil national de recherches du Canada. Pratiquement toute sa carrière se déroula au sein de cette institution. Il commença par créer au NRC, de toute pièce et tout seul, un laboratoire d'optique. Ce n'est qu'en 1932 qu'il obtint l'aide d'un technicien. Lorsque la guerre éclata en septembre 1939 ce laboratoire comportait quatre personnes. Pourtant, sous la direction de Howlett, ce fut là que prit naissance l'industrie optique canadienne, alors qu'auparavant dans le pays il n'y avait pas la moindre production dans ce domaine. Dès la fin du mois d'avril 1940, une grande variété d'instruments furent construits et des milliers de composants optiques de précision ont été fabriqués au cours de la guerre.

La plupart de ces recherches en optique de précision comportaient des essais, des mesures et des étalonnages. L'intérêt que portait Howlett à ces aspects de son travail trouva toute sa dimension lorsque, en 1948, il fut chargé, comme directeur adjoint, de la recherche appliquée dans la Division of Physics. Cela revenait, en fait, à prendre en charge le laboratoire national du Canada pour les étalons. Il devenait ainsi tout naturellement un candidat qualifié pour entrer au CIPM. Lorsqu'au sein du NRC fut créée la Division of Applied Physics, Howlett en devint le directeur, fonction qu'il occupa jusqu'à sa retraite.

C'est pendant que Howlett occupait ce poste que le Canada passa progressivement de l'état d'utilisateur d'étalons de commerce et de topographie, dont la précision n'est pas très grande, à celui d'un pays

possédant un laboratoire national reconnu dans le monde entier. Tandis qu'il était membre du CIPM, il appuya avec enthousiasme la création au BIPM d'un laboratoire des rayonnements ionisants. Il fut aussi un ardent défenseur de l'introduction dans le SI de la métrologie quantique qui conduisit à l'adoption, en 1960, alors qu'il était président du CCDM, de la définition du mètre fondée sur le krypton 86, et, en 1967, de la définition de la seconde fondée sur le césium 133. Il assumait la responsabilité de la revue *Metrologia*, sous les auspices du CIPM, puisqu'il fut l'éditeur de cette revue dès la création de celle-ci en 1965 jusqu'à son départ en retraite. Pour toutes ces activités et pour bien d'autres qui y étaient liées, le Canada et les milieux intéressés par la métrologie se souviendront avec gratitude de lui et de ses travaux.

H. PRESTON-THOMAS
Février 1992



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; new buildings were constructed in 1963-1964 for the ionizing radiation laboratories, in 1984 for the laser work and in 1988 a new building for a library and offices was opened.

* As of 31 December 1991 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, Germany, Hungary, India, Indonesia, Iran, Ireland, Israel, Italy, Japan, Korea (Dem. People's Rep.), Korea (Rep. of), Mexico, Netherlands, New Zealand, Norway, Pakistan, Poland, Portugal, Romania, Spain, South Africa, Sweden, Switzerland, Thailand, Turkey, U.S.S.R., United Kingdom, U.S.A., Uruguay, Venezuela, Yugoslavia.

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

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

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

1. The *Comité Consultatif d'Électricité (CCE)*, set up in 1927.
2. The *Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie (CCPR)*, new name given in 1971 to the *Comité Consultatif de Photométrie* set up in 1933 (between 1930 and 1933 the preceding committee (CCE) dealt with matters concerning Photometry).
3. The *Comité Consultatif de Thermométrie (CCT)*, set up in 1937.
4. The *Comité Consultatif pour la Définition du Mètre (CCDM)*, set up in 1952.
5. The *Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde (CCDS)*, set up in 1956.
6. The *Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CEMRI)*, 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 1991

President

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

Secretary

2. J. KOVALEVSKY, Astronomer, Observatoire de la Côte d'Azur, avenue N. Copernic, 06130 Grasse, France.

Members

3. W. R. BLEVIN, Chief of the Division of Applied Physics, CSIRO, P.O. Box 218, Bradfield Road, Lindfield NSW 2070, Australia.
4. J. DE BOER, Institute of Physics, University of Amsterdam, Valckenierstraat 65, Amsterdam-C, Netherlands.
5. A. BRAY, Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Strada delle Cacce 73, 10135 Turin, Italy.
6. P. B. CLAPHAM, Director, National Physical Laboratory, Teddington TW11 0LW, United Kingdom.
7. K. IZUKA, Special Adviser, Agency of Industrial Science and Technology, 3-1 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100, Japan.
8. H. H. JENSEN, Professor Emeritus, H. C. Oersted Institutet, Universitetets Fysiske Laboratorium, Universitetsparken 5, 2100 København, Denmark. *Associate-Secretary*.
9. S. K. JOSHI, Director General, Council of Scientific and Industrial Research, Anusandhan Bhavan, Rafi Marg, New Delhi 110001, India.

10. J. W. LYONS, Director, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899, USA.
11. T. PLEBANSKI, Chairman, Committee on Metrology and Scientific Instrumentation, Polish Academy of Sciences, Palac Kultury i Nauki, Office No. 2321, P.O. Box 24, 00901 Warsaw, Poland.
12. H. PRESTON-THOMAS, Institute for National Measurement Standards, National Research Council of Canada, Ottawa K1A 0S1, Canada. *Vice-President.*
13. V. I. POUSTOVOIT, Vice-President, GOSSTANDART, Leninski prosp. 9b, 117049 Moscow, USSR.
14. O. SALA, Professor, Department of Nuclear Physics, Universitaria Armando Salles de Oliveria, Caixa Postal 20516, 01498 São Paulo, Brazil.
15. K. SIEGBAHN, Institute of Physics, University of Uppsala, Box 530, 75121 Uppsala 1, Sweden.
16. J. SKÁKALA, Professor, Slovak Technical University, Nám. Slobody 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, People's Republic of China.

Honorary members

1. E. AMBLER, The Belvedere (No. 626), 1600 N. Oak Street, Arlington, VA 22209.
2. L. M. BRANSCOMB, Box 309, Concord, Massachusetts 01742.
3. J. V. DUNWORTH, The Warbuck, Kirk Michael, Isle of Man.
4. L. E. HOWLETT, 1702-71 Somerset Street W, Ottawa, Ontario K2P 2G2*.
5. M. KERSTEN, Am Hohen Tore 4A, 3300 Braunschweig.
6. F. J. LEHANY, 5 Gladstone Avenue, Hunters Hill, NSW 2110.

* The BIPM has heard with regret of the death on the 21 January 1992 of L. E. Howlett.

STAFF
OF THE
BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
on 1 January 1992

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

Dr R. S. Davis ⁽¹⁾, Mr A. Picard
Mrs J. Coarasa, Mr J. Hostache

Times scales : Dr C. Thomas

Mr J. Azoubib, Dr W. Lewandowski, Mr G. Petit
Miss H. Konaté, Mr P. Moussay, Mrs M. Thomas
Dr B. Guinot ⁽²⁾

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 R. Goebel
Mr C. Garreau, 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 Z. Yin ⁽¹⁾
Mr D. Carnet, Mr C. Colas, Mr L. Lafaye, Mr C. Veyradier

⁽¹⁾ Research Fellow.

⁽²⁾ Part time, special service.

Secretariat : Miss J. Monprofit

Mrs D. Le Coz, Mrs D. Müller ⁽³⁾
Mrs L. Delfour, Mrs M. Petit

Metrologia : Dr D.A. Blackburn

Mrs C. Lawrence

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 ⁽⁴⁾, Mr C. Neves ⁽⁴⁾

Directors emeritus : Mr Ch. Volet, Dr J. Terrien ⁽⁵⁾, Prof. P. Giacomo

Principal Metrologist emeritus : Mr G. Leclerc

Metrologist emeritus : Mr H. Moreau

⁽³⁾ On attachment to the Ionizing Radiations section.

⁽⁴⁾ Also caretakers

⁽⁵⁾ The BIPM has heard with regret of the death on the 3 March 1992 of J. Terrien.

AGENDA

1. Opening of the meeting by the President, quorum, approval of the agenda.
 2. Report of the Secretary.
 3. Report on the activities of the bureau of the Comité (October 1990 - September 1991).
 4. 19th CGPM, discussion on points of the agenda.
 5. Comités Consultatifs :
 - Reports of presidents of the Comités Consultatifs to the CGPM,
 - Report of meeting of the CCEMRI and the CCM,
 - Presidency of CCE,
 - Future meetings.
 6. Work of the BIPM: Director's Report.
 7. Metrology in chemistry, Report of the CIPM *ad hoc* Working Group.
 8. Medical insurance for BIPM staff.
 9. Financial and administrative affairs
 - « Rapport aux Gouvernements » for 1990,
 - Quitus for 1990,
 - Progress report on the 1991 exercise.
 10. Other business.
-

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

80th Meeting
(26 September - 2 October 1991)

PROCEEDINGS OF THE SESSIONS HELD AT SÈVRES AND PARIS

D. Kind, President

The Comité International des Poids et Mesures (CIPM) held its 80th meeting on Thursday 26, Friday 27 September, and Wednesday 2 October 1991. In all, four sessions were held, the first three at the Pavillon de Breteuil, Sèvres, and the fourth at the Centre de Conférences Internationales in Paris.

Present: Messrs. BLEVIN, BRAY, CLAPHAM, DE BOER (2 October), IZUKA, JENSEN, KIND, KOVALEVSKY, LYONS, PLEBANSKI, POUSTOVOIT, PRESTON-THOMAS, SIEGBAHN, SKÁKALA, STEINBERG, WANG, QUINN (Director of the BIPM).

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

Apologies for absence were received from: Messrs. DE BOER (for 26 and 27 September), JOSHI and SALA.

1. Opening of the meeting ; quorum ; agenda

The President opened the 80th meeting of the Comité International des Poids et Mesures and welcomed the members present, in particular the two members recently elected, Dr Clapham and Dr Poustovoit, and the guests. He noted that the quorum was satisfied, according to Article 12 of the Convention du Mètre.

He thanked the Director and the staff of the Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) for their work in preparing for this committee and for the 19th Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM).

The agenda was adopted after various changes in the order of items had been agreed.

The President then invited the Secretary of the Comité to present his report.

2. Report of the Secretary of the CIPM (October 1990 - September 1991)

The Secretary of the CIPM, Prof. Kovalevsky, then presented his report.

Member States of the Convention du Mètre

We were informed by the French Government that New Zealand joined the Convention du Mètre in May 1991. New Zealand's contribution for 1991 (0,49 % of the total dotation) together with the entrance fee, equal to the contribution for 1991, has been received at the BIPM. The German Democratic Republic, having joined the Federal Republic of Germany in October 1990, no longer figures on the list of members of the Convention whose number thus remains at 47.

Membership of the CIPM

Vacancies left by the resignations of Dr P. Dean and Dr A. I. Mekhannikov were filled by the election of Dr P. B. Clapham (Director of the NPL, Teddington) and Dr V. I. Poustovoit (Vice-President of GOSSTANDART, Moscow). There are at present no vacancies on the Comité.

Meetings of Consultative Committees and Working Groups

— The CCM held its 4th meeting on 30 and 31 May 1991. The meeting was preceded by meetings of Working Groups on 28 and 29 May.

— The CCEMRI held its 12th meeting on 24 May 1991 preceded by meetings of its three Sections, held concurrently from 21 to 23 May.

All meetings took place at the Pavillon de Breteuil.

Financial Report

The Table below shows the situation of the assets of the BIPM, in gold francs, on 1 January of the year noted at the head of each column.

Accounts	1988	1989	1990	1991
I. — Ordinary funds ...	13 743 538,35	11 685 088,87	10 924 171,95	11 681 069,08
II. — Pension fund	13 160 434,56	14 369 021,18	14 002 735,45	14 546 368,84
III. — Special fund for the improvement of scientific equipment.	214 847,73	78 764,20	75 835,04	75 627,81
IV. — Staff loan fund ...	230 719,45	260 806,64	283 545,36	302 431,48
V. — Building reserve fund.	1 359 042,99	83 232,12	0,00	0,00
Totals	28 708 583,08	26 476 913,01	25 286 287,80	26 605 497,21

The President then asked the Secretary to present his report on the activities of the bureau of the CIPM.

3. Report on the activity of the bureau of the CIPM
(October 1990 - September 1991)

Three meetings of the bureau of Comité have taken place since the last meeting of the CIPM. Two were held at the Pavillon de Breteuil and one in Berlin. The principal subjects dealt with by the bureau were the following.

19th Conférence Générale

For each Conférence Générale two documents are always distributed in advance to member governments, the *Convocation* and the *Programme de Travail et Budget du Bureau International des Poids et Mesures*. In addition, any formal proposals by member nations, sent to the BIPM at least six months before the Conference, are also distributed. For the 19th Conférence Générale no such proposals were received.

The *Convocation* must be distributed nine months before the Conference, thus its content is discussed and approved by the Comité at its meeting in the year before the Conference. The detailed *Programme de Travail et Budget* is distributed in March, six months before the Conference. Its content is then reviewed and approved by the bureau of the Comité. For the 19th Conférence Générale, a brief review of the programme of work foreseen at the BIPM was given by the Director at the 1990 meeting of the CIPM and published in the *Procès-Verbaux*.

As well as the documents distributed in advance, copies of the reports to the Conférence Générale of the President of the CIPM and the Presidents of Comités Consultatifs are distributed at the Conference. The bureau examines drafts of all of these reports, particular attention being paid to that of the President of the Comité.

Practical arrangements for the running of the Conference are also reviewed by the bureau of the Comité. Among these, this time, was a report by the Director on discussions with the French Ministère des Affaires Étrangères on Ministerial representation at the first, formal, session and a report by the Secretary on proposals by the Académie des Sciences for assuring the Presidency of the Conference. The President of the Académie, Professeur Jean Hamburger, will preside at the first session and for all the remaining sessions he has delegated Professeur André Maréchal (member of the CIPM from 1964 to 1977) to represent him. The Ministre des Affaires Étrangères himself will be in New York for the General Assembly of the United Nations during the week of the Conference and he has asked Mr H. Curien, Ministre de la Recherche et de la Technologie, to open the Conference.

Membership of the CIPM

Possible future candidates for membership of the CIPM were discussed with a view to ensuring that the names of one or two suitable candidates are always available. Two new members were elected during the year (see the Report of the Secretary of the CIPM).

Metrology in chemistry

The bureau discussed a report by the Director on the outcome of the meeting of the CIPM *ad hoc* Working Group established by the Comité in 1990 to advise on whether the BIPM should take a significant role in metrology in chemistry. The bureau expressed general agreement with the proposals of the *ad hoc* Working Group.

Medical insurance and Statute of the personnel of the BIPM

In the course of the year, discussions were held on two issues concerning the personnel of the BIPM. These related to medical insurance and to consequential changes in the Statute of the personnel.

i) Medical insurance for the staff of the BIPM

Medical insurance (as well as industrial injury, death and disability insurance) is at present provided for staff of the BIPM and their dependants through the French Sécurité Sociale and a Mutuelle by a special arrangement made with the French government. Under this arrangement, the BIPM makes a contribution amounting to the equivalent of about 12,2 % of the total of BIPM salaries and each member of

staff contributes a further 7,4 % of salary. This makes a total contribution equivalent to about 19,6 % of salaries, equal in 1991 to some 2 000 000 gold francs or some 10 % of the BIPM budget.

Following notice, given by the Sécurité Sociale in October 1990, of proposed increases in contributions for 1991, the Director began exploring the possibility of providing medical and other cover through a private insurer. It appears that many other international organizations in France have adopted this solution. The European Space Agency (ESA) has used private insurance to cover all its staff, in France and elsewhere, for more than twenty years. It has done this with full satisfaction and at a cost less than half of that estimated for the Sécurité Sociale. After taking advice from ESA and also from the European Telecommunications Satellite Organization (EUTELSAT), another but smaller international organization based in Paris, the Director began discussions with the private insurance company used by ESA and EUTELSAT with a view to obtaining a quotation for the BIPM. Of particular help was the advice from EUTELSAT since this organization, once linked to the Sécurité Sociale on terms similar to those agreed for the BIPM, changed to private insurance in 1986. The private insurance used by these two organizations is arranged through a Belgian firm of international insurance brokers, Van Breda and Co., of Antwerp. The experience of ESA and EUTELSAT concerning the insurance arranged through Van Breda is wholly satisfactory. This, together with the large number of other international organizations using Van Breda, gives us confidence in their good standing.

The quotation now obtained for private insurance through Van Breda for medical, industrial injury, death and disability insurance for the BIPM staff (i.e. *fonctionnaires du BIPM* as defined in the *Statut du personnel*) and their dependants provides, in all essentials, cover equal to or better than that obtained through the Sécurité Sociale and the Mutuelle. It offers this for a total cost of 7,7 % of BIPM salaries (compared with the present total cost of 19,6 % of salaries).

The Director, with the unanimous support of the Staff Statutes Commission, proposes that the quotation for private insurance from Van Breda be accepted. The bureau supports this proposal and recommends it to the Comité.

ii) *Modifications to the Statut du personnel: list of staff categories at the BIPM, medical insurance, long-service leave*

The bureau discussed modifications proposed by the Director to the list of staff categories that appears in the Staff Statutes of the BIPM. These modifications are proposed with the agreement of the Staff Statutes Commission, and are designed to bring up to date a list which, in its present form, no longer adequately reflects either the qualifications or the tasks undertaken by a significant fraction of the current staff.

Also included are minor consequential changes that will be required in the Staff Statutes themselves, if the proposal to transfer medical insurance from the French Sécurité Sociale to Van Breda is accepted, and a change in the text concerning long-service leave. The bureau supports the proposed changes.

The President remarked that some of these items, in particular the questions related to medical insurance and to staff categories, would be discussed in detail later.

4. Discussion of points of the agenda for the 19th Conférence Générale

Dr Quinn presented the provisional agenda of the 19th Conférence Générale and gave details of the practical arrangements for the Conférence, some of which had already been mentioned in the Secretary's report on the activities of the bureau of the Comité.

Dotation

The President reminded members of the CIPM that an *ad hoc* Working Group for the dotation of the BIPM is established, soon after the opening of the Conference, to prepare the vote on the dotation that normally takes place on the last day of the Conference.

Dr Quinn remarked that, for the composition of this Working Group, it is necessary to take into account the size of the contributions of member nations as well as some geographical equilibrium, and that it is advisable to invite those countries which have expressed objections to the dotation to participate in this Working Group. He proposed that the composition of the Working Group be similar to the one established at the 18th Conférence Générale, but with two or three changes. After some discussion, it was agreed to delete Brazil, Bulgaria and Romania and to propose the following list to the Conference : Canada, China (People's Rep. of), Czechoslovakia, Denmark, France, Germany, Japan, Mexico, Spain, United Kingdom, USA and USSR.

Dr Quinn also remarked that the adherence of New Zealand to the Convention du Mètre, would, if past practice was followed, increase the total dotation by 0,49 %. A short document had been prepared on this point for the Conférence Générale.

The President reminded members that an annual increase in the dotation of 7 % for the four year period 1993-1996, plus a special increase of 625 000 gold francs for the work required of the Time Section, had been proposed. He asked members to give an indication of the position of their governments on this proposal. Members from

Australia, Canada, Czechoslovakia, United Kingdom and the USA said that their governments were concerned about any increase in real terms in the BIPM dotation.

Iran

Dr Quinn informed members of the CIPM on the communication he had received from Iran in July 1991, in which Iran expressed the wish « to reinstate membership to the Convention du Mètre ».

A discussion followed concerning the general problem of member countries that have not paid their contribution during many years and the Director of the BIPM was asked to take this matter up with the French Ministère des Affaires Étrangères.

5. Comités Consultatifs

Since the last meeting of the CIPM the Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CCEMRI) had held its 12th meeting and the Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées (CCM) had held its 4th meeting. Discussions of the work of the Comités Consultatifs concerned the reports to the Conférence Générale, detailed consideration of the meetings of the CCEMRI and the CCM, the appointment of a President for the Comité Consultatif d'Électricité and the dates of future meetings.

5.1. Reports of the Presidents of the Comités Consultatifs to the Conférence Générale

It was agreed that reports of the Comités Consultatifs would be presented to the Conférence Générale as follows :

CCDM	Prof. Kind,
CCM	Prof. Bray,
CCDS	Prof. Kovalevsky,
CCE	Dr Skákala,
CCT	Dr Preston-Thomas,
CCPR	Dr Blevin,
CCEMRI	Dr Quinn (in the absence of Prof. Sala),
CCU	Prof. de Boer.

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

In the absence of Prof. Sala, Dr Quinn presented the report of 12th Meeting of the Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CCEMRI) that took place in May 1991.

He noted that, as requested by the CIPM, the three sections of the CCEMRI met simultaneously in the same week, just before the plenary session of the CCEMRI. The composition of the CCEMRI had been enlarged by inviting four experts to take part. Their presence was found to be very helpful.

Reports were presented from the three sections: I—X and γ rays, electrons; II—Radionuclide measurements; III—Neutron measurements. Section I reviewed work on air kerma standards, water calorimetry and graphite/air stopping power ratios. Section II reported on a trial comparison of ^{75}Se activity concentration, progress in the extension of the Système International de Référence to beta rays and low-energy photons, and new results in counting statistics. Section III described neutron spectrometry with an organic scintillator, fast neutron fluence measurements and future needs in neutron dosimetry. Members of the BIPM staff reviewed some of their recent work. Four recommendations concerning new investigations were adopted for submission to the CIPM (*see below*). Improvements for the format of the next meeting of the Committee and its sections were suggested.

The Recommendations of the CCEMRI were read to the Comité. Recommendation R 1 (1991), on the extension of γ -ray standards to include ^{137}Cs , and Recommendation R 2 (1991), on measurements in brachytherapy, were approved. The CIPM took note of Recommendation R 3 (1991), on measurements in proton therapy, an expensive and as yet not widely used method, and Recommendation R 4 (1991), on neutron spectrometry, a field of activity that will have to be re-examined in the context of the long-term programme.

Dr Clapham and Dr Lyons remarked that Recommendations R 3 (1991) and R 4 (1991) appear to require additional work at the BIPM and asked if this would imply that some other work will cease. Dr Blevin said that choices will have to be made and the programme of work adjusted accordingly. Dr Quinn was asked to report back on this subject at the next meeting of the CIPM.

Dr Quinn answered that current work is concentrated on absorbed dose to water and on ^{137}Cs : the work on calorimetry will probably proceed more slowly in the future.

5.3. Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées

Prof. Bray, President of the Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées (CCM), presented the report of the fourth meeting of the CCM that took place on 30 and 31 May 1991 at Sèvres, preceded by meetings of Working Groups.

He presented a brief report on the activities of the Working Groups of the CCM, with particular attention to those of the Working Group on mass standards. These include cleaning and other surface investigations of Pt-Ir standards, and the preliminary results of the third periodic verification of national prototypes of the kilogram, which is expected to be finished by the end of 1992. Other Working Groups are concerned with density (modification of the *Equation for the determination of the density of moist air (1981)* approved by the CIPM); force (international comparisons of force standard deadweight machines and hydraulic and lever-amplification machines) and high pressures, medium pressures and low pressures. The new Low Pressures Working Group was constituted by merging the previous Working Groups on Low Pressures and Very Low Pressures.

Finally, Prof. Bray reported on the Balance Club meeting, mentioning the tests undertaken on the Mettler HK 1000 MC balance used at the BIPM and the construction of a second flexure-strip balance at the BIPM.

The President underlined the importance of the work on instrumentation. Dr Quinn remarked that the improvements in precision that have been obtained are proving very useful; they allow humidity and other surface effects to be measured, and allow the observation of drifts in the mass of Pt-Ir prototypes that, in the past, could only be deduced on the basis of long-term measurements.

Methods potentially capable of providing a new definition of the kilogram were discussed, but it was concluded that it would be premature, at present, to create a Working Group on this subject.

The Recommendations of the CCM were read. Recommendation G 1 (1991), on the density of air (see *Equation for the determination of the density of moist air (1981/1991)*, page 203), and Recommendation G 2 (1991), on the density of mercury, were approved by the CIPM.

A discussion followed on the activities of the national laboratories (Australia, Germany, Japan, USA) regarding density measurements.

5.4. Presidency of Comités Consultatifs

As a meeting of the Comité Consultatif d'Électricité (CCE) is planned for June 1992, a president has to be appointed for the CCE. It was agreed that Prof. Kind, President of the Comité Consultatif pour la Définition du Mètre (CCDM) would take the presidency of the Comité Consultatif d'Électricité, and Dr Clapham would take that of the CCDM.

5.5. Future meetings of the Comités Consultatifs

The president reminded the Presidents of the Comités Consultatifs that dates had to be set for future meetings. The following were agreed :

CCDM	9-11 September 1992
CCDS	March 1993 (preceded by the Working Group on TAI)
CCE	15-17 June 1992 (the beginning of the week following the CPEM)
CCEMRI	1993
CCM	1993
CCPR	September 1994
CCT	no date for the moment
CCU	no date for the moment.

6. Work of the BIPM : Report of the Director

Since this is the year of a Conférence Générale, the CIPM meets on only two days at Sèvres and there is no time for the usual presentation of work by the staff of the BIPM. Instead the Director makes a short presentation of the scientific work carried out since the previous meeting (*see* the Director's report). In his presentation, Dr Quinn emphasized the many outside activities and contacts maintained by the staff, including visits to laboratories and conferences, publications and visitors to the BIPM.

Dr Siegbahn thanked the staff of the BIPM for their work, and encouraged publication and the participation of staff on the editorial boards of scientific journals.

The President and Prof. Bray congratulated the Director for his short, precise and concrete report. Prof. Kind encouraged the BIPM to increase the volume of its work on frequencies in the visible region of the spectrum.

7. Metrology in chemistry

Report of the *ad hoc* Working Group

Dr Lyons reported on the conclusions of the meeting of the *ad hoc* Working Group on Metrology in Chemistry held at the NIST on 4 and 5 June, 1991. (See Report on page 197).

A long discussion followed. Prof. Kind underlined that, in the field of metrology in chemistry, traditional borders between physics and chemistry are losing their meaning. The possibility that the BIPM might supervise work on metrology in chemistry, in connection with the SI, was discussed.

Dr Plebanski drew attention on the fact that the role of analytical reference materials is not transferable from one country to another and that there is a lack of international compatibility and uniformity. Prof. Bray and Dr Iizuka agreed.

Prof. Wang said that BIPM should concentrate on the seven fundamental units and leave other measurements to others. He stressed the importance of the mole and related quantities. Dr Poustovoit agreed.

Dr Blevin stressed that the BIPM should confine its attention to units, primary standards and measurements techniques closely associated with these standards, and should not extend its activities into general measurements and techniques. He said the problem with chemical analysis is the absence of methods which allow traceability to primary standards, and agreement on statements of uncertainties.

Dr Steinberg emphasized the need to undertake cooperative work with national laboratories and international organizations concerned with these problems.

Members of the CIPM (Dr Blevin, Dr Clapham, Prof. Kovalevsky, Dr Preston-Thomas) underlined the implications of this new work in terms of the competence, resources and additional staff that would be needed if the BIPM were to enter this field. Two or three persons might be necessary. It was concluded that, although it is premature for the BIPM itself to develop expertise in metrology in chemistry, the Working Group should continue.

In conclusion, the CIPM approved the first term of reference proposed for Working Group (see page 201), but did not approve the second and the third. It was decided that the Working Group will be called the « Working Group on Metrology in Chemistry » and Dr Lyons was asked to chair it. The membership of the Working Group was to remain the same, but CIPM members were invited to designate additional experts and other specialists they considered necessary. The Working Group should initiate some international comparisons among national laboratories, in collaboration with specialists from other competent laboratories and relevant international bodies. This programme of

international comparisons would be limited to a few reference methods of wide application applied to a few key reference materials. The intention is to discover if such a limited programme can lead to improved traceability for a much wider range of methods and materials. The CIPM should be kept informed on the progress of the work.

The CIPM noted the remarks of the *ad hoc* Working Group concerning the measurement of certain properties of materials by means of physical methods and drew the attention of its Comités Consultatifs to the desirability of continuing, and even extending, this type of activity.

8. Medical insurance for the BIPM staff

Dr Quinn described in detail the proposal introduced earlier by the Secretary of the Comité (*see* page 122) for a change in the arrangements for medical insurance of the BIPM staff.

He drew attention to the fact that the new scheme will apply to all staff (i.e. *fonctionnaires du BIPM* as defined in the *Statut du personnel*) employed by the BIPM, and their dependants, and will continue after their retirement, regardless of where in the world they ultimately reside. This represents a significant improvement in conditions for those staff who choose to live outside France when they retire. At present, retired staff who choose to live in France can continue medical insurance under the French Sécurité Sociale, by means of personal contributions of about 2 % of their pensions, but they cease to have any link to the Sécurité Sociale through the BIPM. Retired members of BIPM staff who choose to reside outside France must, under the present system, make their own arrangements for medical insurance. As proposed, the new scheme will apply only to BIPM pensioners who retire after 1 January 1992.

The proposal put to the Comité by Dr Quinn has the unanimous support of the Staff Statutes Commission. Its terms are :

- (a) that the CIPM approve in principle the transfer of medical, industrial injury, death and disability insurance for BIPM staff to private insurance on the basis of the quotation now received from Van Breda ;
- (b) that the total cost of the new scheme, at present 7,7 % of salaries, be divided between the BIPM and the staff in the ratio two thirds to one third, at present 5,2 % and 2,5 % respectively, and that future pensioners contribute 2 % of their pensions, a percentage that should be kept, as far as possible, fixed (*see* (e) below) ;

- (c) that for at least the first three years of operation of the new scheme the estimated savings to the annual budget (estimated at about 770 000 gold francs in 1992) be used principally to fund a new Compte (Compte VII) : this will be used as specified in (d) and (e) below ;
- (d) that the CIPM give a guarantee that, in the event of failure of the private medical insurance scheme, medical cover for the staff and future pensioners of the BIPM will be provided out of BIPM funds until such time as new cover can be arranged. The capital in the new Compte VII will provide the basis for such a guarantee ;
- (e) that the interest on the capital in Compte VII be made available to subsidize future pensioners' contributions, and keep them, as far as possible, at 2 % of pensions, and to smooth out fluctuations in annual premiums resulting from any unexpected, large, medical expenses ;
- (f) that a Statutory Commission be created to advise the Director on the management of the medical insurance scheme, this commission to be made up of :
 - the Director,
 - the Administrator,
 - five elected members of the staff, one of whom shall be the staff delegate to the broker Van Breda ;
- (g) that the new scheme shall come into operation on 1 January 1992, or as soon as possible thereafter, subject to completion of negotiations on the contract with the insurers and withdrawal from the French Sécurité Sociale and Mutuelle ;
- (h) that the Comité give its approval to a number of consequent modifications to certain paragraphs in the Staff Statutes in which the French Sécurité Sociale and Mutuelle are specifically mentioned.

The Comité then discussed the proposal. Dr Clapham, while agreeing with the proposal in general, thought that a limit to the size of the new Compte VII should be set so that it does not become too big. It was agreed that the Comité would keep the size of Compte VII under review. Dr Blevin asked whether other quotations had been obtained. Dr Quinn replied that no other quotation had been obtained since he and the bureau had been satisfied by the comparisons with other international organizations and, taking into account the volume of work required to arrive at the present proposal, a second one did not seem

justified. Dr Blevin said he was satisfied with this reply and considered the proposal to be a very good one.

The proposal was adopted, taking note of the remarks by Dr Clapham concerning the size of Compte VII.

9. Financial and administrative affairs

The President welcomed Miss Perent, the 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 1990*, and the report of the auditors for 1990. The reports were approved unanimously and the required formal discharge was given to the Director and to the administrator of the BIPM.

The progress report on the provisional budget for 1991 was discussed and approved. Dr Quinn informed the Comité that the shortfall in income due to delay and non-payment of contributions from the member States is expected to amount to 4 % of the total in 1991, which is larger than in recent years.

A draft budget for 1992 was presented. Dr Quinn drew the attention of the Comité to the reduction in proposed spending on building maintenance. The present amount is considered inadequate in the long term, as very few resources are now available for modernization of essential services such as air conditioning.

Prof. Wang asked about the programme for the refurbishment of the upper Caveau aimed at improving facilities for the storage of the international prototypes of the metre and the kilogram. Dr Quinn replied that, as the third periodic verification of the national prototypes of the kilogram is not due for completion before the end of 1992, this refurbishment was not envisaged in the draft budget for 1992. It will be considered in the 1993 budget.

The draft budget for 1992 was approved.

BUDGET FOR 1992

INCOME

gold francs

Budgetary income :

1. Contributions from Member States	20 427 606
2. Interest on capital	1 090 000
3. Verification taxes	110 000
	<hr/>
Total	<u>21 627 606</u>

EXPENDITURE

A. Staff expenses :

1. Salaries	11 029 000	}	16 072 000
2. Family and social allowances	1 916 000		
3. Social Security	1 161 000		
4. Industrial injuries insurance	201 000		
5. Pension fund	1 765 000		

B. Operating expenses :

1. Furniture	30 000	}	3 002 000
2. Laboratories and workshops	1 014 000		
3. Heating, water, electrical energy	429 000		
4. Insurance	63 000		
5. Printing and publications	208 000		
6. Office expenses	386 000		
7. Travel expenses and freight charges ...	412 000		
8. General maintenance	400 000		
9. Bureau du Comité	60 000		

C. Capital expenditure :

1. Laboratories	1 730 000	}	2 034 000
2. Mechanical workshop	83 000		
3. Library	221 000		

D. *Buildings* (major maintenance and renovation) 389 606

E. *Miscellaneous and unforeseen expenses* 130 000

Total 21 627 606

Metrologia

The CIPM decided in 1990 that the budget for *Metrologia* should be presented separately on Compte VI. The provisional budget for 1991 and the draft budget for 1992 were thus presented. They are at present deficit budgets, due mainly to expenses incurred in producing the extra issues (one Conference issue and one Review issue) designed to attract new readers.

The extra issues planned for 1992 are the proceedings of the 6th European Frequency and Time Forum and a special issue on Electromagnetic Metrology due to come out just before the CPEM.

The Comité approved the draft budget for *Metrologia* for 1992, but recommended that an attempt be made to reduce the production costs of authors' reprints.

Proposed modifications to the Statut et Caisse de retraite et de prévoyance du personnel du Bureau International des Poids et Mesures

Dr Quinn presented proposals for modifications to the *Statut et Caisse de retraite et de prévoyance du personnel du Bureau International des Poids et Mesures* concerning: medical and other insurance consequent upon the proposed change to private insurance, a few minor modifications concerning long-service leave and resignation and, most particularly, staff grades and categories. These modifications were drawn up in consultation with the Staff Statutes Commission and are put forward with its support.

The list of staff titles and grades given in Article 2 of the *Statut du personnel du Bureau International des Poids et Mesures* no longer reflects the qualifications and activities of a significant number of the staff of the BIPM and the following list is proposed in its place:

TITLE	GRADES	CATEGORY
Directeur		
Sous-Directeur		
Physicien chercheur principal	12, 13	A
Physicien principal	10, 11	A
Physicien	8, 9, 10	A
Assistant	7, 8, 9, 10	A
Technicien métrologiste	9, 10	B
Technicien principal	7, 8, 9	B
Technicien	5, 6, 7	B
Mécanicien hautement qualifié	8, 9, 10	B
Mécanicien principal	7, 8	B
Mécanicien	5, 6, 7	B

Électricien	4, 5, 6, 7, 8	B
Maçon	4, 5, 6, 7, 8	B
Menuisier	4, 5, 6, 7, 8	B
Jardinier	4, 5, 6, 7, 8	B
Administrateur	9, 10, 11	A
Secrétaire comptable	6, 7, 8	B
Secrétaire de direction	8, 9, 10	A
Secrétaire de rédaction	7, 8, 9	A
Bibliothécaire	7, 8 (9)	B(A)
Secrétaire principal	7, 8	B
Secrétaire	4, 5, 6, 7	B
Gardien	3, 4, 5, 6	C
Agent d'entretien	3, 4, 5, 6	C

The principal differences between this list and the old one are the following :

— Three broad categories of staff are now recognized

- A : professional, having a university degree or equivalent,
- B : technical or executive,
- C : service.

These three categories are equivalent to those existing in the Coordinated International Organizations. Other changes include :

— The titles *métrologiste* and *métrologiste principal* have been deleted. There is now a much sharper distinction than there used to be between staff recruited as professionals in category A and those recruited as technicians in category B. Those who, in the past, have made good careers here as *métrologistes* and *métrologistes principaux* and ended up after thirty or more years of service in positions of high responsibility, but were recruited with little or no higher education, would be unlikely to meet today's entry requirements for young recruits.

— The title *assistant*, a category A title, has been included for those who have been recruited with a higher diploma or its equivalent and look promising, but do not yet have the Ph. D. and research experience required for entry as *physicien*.

— The title *technicien métrologiste* has been added to the technician category for the small number of technicians who, either towards the end of their career or after achieving some higher technical qualification at an earlier stage, are considered to merit promotion to grade 10.

— The title *mécanicien hautement qualifié* covering the grades 8, 9 and 10 has been added to the *mécanicien* category to take account of the higher qualifications now required of the head of the workshop (at

present designated *technicien principal*), and, in due course, the qualifications that may be required of others resulting, for example, from the installation of numerically-controlled machine tools.

— The title *administrateur* now extends to grade 11 reflecting the higher responsibility now given to this post as does the extension to grade 8 of the range of *secrétaire comptable*.

— The posts in the secretariat have been modified to include *secrétaire de direction* and *secrétaire de rédaction* (editorial assistant), both category A posts, and *bibliothécaire*, which may be category A or B depending upon the qualification and specific job description of the person occupying it.

Dr Quinn noted that, in the present organizational structure of the BIPM, the six heads of the scientific sections and the administrator provide the principal channels of responsibility to the Director in the management of the BIPM. This has rendered obsolete the title of *adjoint* previously synonymous with the titles *physicien chercheur principal*, *physicien principal* and *métrologiste principal*. It is proposed, therefore, to delete the title *adjoint* from Article 2 of the statute and elsewhere where it appears and to replace it by *physicien chercheur principal* or *physicien principal*.

There then followed a short discussion during which Dr Blevin remarked that the number of titles seemed large for the small number of staff employed at the BIPM, but that since the proposal obviously resulted from detailed discussions with the staff he did not want to press his point of view. The proposals on the *Statut et Caisse de retraite et de prévoyance du personnel du Bureau International des Poids et Mesures*, and those related to the changes in medical insurance, long service leave and notice of resignation were adopted by the Comité.

Family Allowances

The BIPM family allowances have been about 3 % below those of the Coordinated Organizations in recent years and the Staff Salaries Commission has asked for an increase of 3 % to remove the difference. Dr Quinn said that his most recent information from the Coordinated Organizations was that there would be no increase in family allowances this year, in which case the BIPM family allowance on 1 January 1992 would be about 1 % below those of the Coordinated Organizations. He asked the Comité for an increase of 2 % to take effect from 1 January 1992. This was agreed.

10. Other business

10.1. Changes in membership of the CIPM

Prof. Jensen informed members of the CIPM of his intention to resign at the end of this meeting, just after the Conférence Générale. Taken with the resignation of Dr Joshi, previously communicated by letter, which also takes effect after the Conférence Générale, this means that two seats will shortly be vacant on the CIPM.

Dr Preston-Thomas and Prof. Bray then declared their intention to retire before the 1992 meeting of the CIPM.

Possible candidates were then discussed.

The President expressed the hope that future candidates to the CIPM would consider their membership of the CIPM as a long-term commitment, a period of five years being a minimum. This view was strongly supported by members of the Comité.

Dr Quinn expressed his most particular thanks to Prof. Jensen and Prof. de Boer for their help and advice on questions of units, saying he would greatly miss the presence of Prof. Jensen on the Comité. Prof. de Boer said he had not expected Prof. Jensen to resign from CIPM and so had not prepared a speech. He reminded the Comité, however, of the work of Prof. Jensen on ISO/TC-12 and said he will regret his absence as a friend, as a very good theoretician and as a physicist specialized in the questions of nomenclature. These remarks were warmly applauded by other members.

10.2. Contribution of Professor Giorgi to metrology

Prof. Bray asked that an appropriate recognition be made of the contribution of Prof. G. Giorgi to electrical metrology and the SI, on the occasion of the next revision of the SI booklet. In the meantime a brief text was circulated containing additional information on the proposal.

The President said he is well aware of the contribution of Prof. G. Giorgi. When the SI booklet is revised, it would be appropriate for the Comité Consultatif des Unités (CCU) to include an historical introduction on the SI, mentioning G. Giorgi.

10.3. Next CIPM meeting

The CIPM decided that the dates of the next CIPM meeting will be as follows :

29 September to 1 October 1992.

11. Consequences of the Conférence Générale

Election of the bureau of the CIPM

The final session of the CIPM, following the election and re-election of members by the 19th Conférence Générale, began under the presidency of the most senior member of the CIPM, Prof. de Boer.

After counting the votes, by secret ballot, the bureau of the Comité was constituted as follows :

<i>President :</i>	D. Kind
<i>Vice-Presidents :</i>	H. Preston-Thomas J. Skákala
<i>Secretary :</i>	J. Kovalevsky.

The President closed the 80th session of the CIPM thanking everyone present for having contributed to a successful meeting.

Recommendations of the Comités Consultatifs approved by the Comité International des Poids et Mesures at its 80th Meeting

Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants

Extension of γ -ray standards to include ^{137}Cs

RECOMMENDATION R 1 (1991)

The Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants,

considering that the ^{137}Cs gamma-ray beams are widely used as references in the calibration of radiation protection dosimeters,

recommends that standards laboratories and the BIPM

— extend the existing energy range of air-kerma standards to include ^{137}Cs gamma rays, and

— develop facilities for calibrations and for comparisons.

Measurements in brachytherapy

RECOMMENDATION R 2 (1991)

The Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants,

recognizing

- that the required quantity for use in brachytherapy is absorbed dose to water or tissue, and
- that the ICRU recommends air-kerma rate to characterize the sources used for such purposes,

recommends that standards laboratories and the BIPM

- i) develop air-kerma measuring techniques appropriate for these sources,
- ii) develop convenient techniques (such as the use of re-entrant ionization chambers) for transferring such calibrations to the wide variety of sources used in brachytherapy, and
- iii) investigate measuring methods for absorbed dose to water from such sources.

Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées

Density of air

RECOMMENDATION G 1 (1991)

The Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées,

considering that

- in 1981 the CIPM adopted the equation for the determination of the density of moist air, proposed by the CCM,
- this equation included a certain number of constants and parameters whose values were specified,
- since 1981 the values of some of these constants and parameters have become better known, in particular an improved value for the gas constant was recommended by CODATA in 1986 and the CIPM adopted the ITS-90,

recommends that the text adopted in 1981 be modified to take account of these changes.

Density of mercury

RECOMMENDATION G 2 (1991)

The Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées,
considering that

— the uncertainty in the density of mercury is the largest contributing factor to the uncertainty in the most accurate pressure measurements in the neighbourhood of 100 kPa,

— the density of mercury can vary significantly from sample to sample due to naturally occurring variations in isotopic composition,

— the accurate comparisons of the relative densities of individual samples of mercury as well as the determination of the absolute density of a reference sample remains an important task for metrology,

— scientific and industrial requirements for accurate pressure measurement in the above-mentioned range continue to increase,

recommends that national laboratories maintain their existing capabilities in this field and if possible increase them with the aim of ultimately attaining an uncertainty in our knowledge of the absolute density of mercury samples of a few parts in 10^7 at the level of one standard deviation.

DIRECTOR'S REPORT
ON THE ACTIVITY AND MANAGEMENT
OF THE BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
(October 1990 - September 1991)

I. — STAFF

Promotions and changes of grade

Claudine THOMAS, *physicien*, was promoted to the grade of *physicien principal* by a vote of the CIPM taken during its session of September 1990 and appointed head of the Time section from 1 October 1990.

Raymond FELDER, *métrologiste*, was promoted to the grade of *physicien*.

Roland GOEBEL, *technicien principal*, was promoted to the grade of *métrologiste*.

These last two changes took effect from 1 January 1991.

Appointment

Caroline LAWRENCE, born 8 October 1950 in Hexham (United Kingdom), previously Assistant Editor at UNESCO, was appointed part-time *assistante* from 1 April 1991, to act principally as Editorial Assistant for *Metrologia*.

Research Fellows

The appointment of Richard DAVIS, Research Fellow in the Mass section since 28 May 1990, was extended for a period of one year.

Alain MICHAUD, born 12 December 1958 in Murdochville (Canada), Master's degree student at the University of Laval (Canada), was appointed as a Research Fellow in the Length section from 21 January 1991 for a period of one year.

Zaizhe YIN, born 2 July 1964 in Beijing (People's Republic of China), physicist at the National Institute of Metrology (People's Republic of China) was appointed as a Research Fellow in the Ionizing Radiations section from 9 April 1991 for a period of one year.

Departure

Bernard GUINOT, Research Fellow with the grade of *physicien chercheur principal*, retired on 30 September 1990, after six years of distinguished service as head of the Time section during which he oversaw the installation of the Time section at the BIPM and the taking over of responsibility for TAI and UTC. By decision of the CIPM, on a proposal of the Director, he was invited to remain on a part-time basis on *service spécial* with no administrative responsibility for a period of one year from 1 October 1990.

Transfer to a permanent post

Carlos DIAS NUNES, contractual employee since 1 March 1989 as *aide-jardinier*, was confirmed on 1 January 1991, in the same employment with the grade of *agent d'entretien*.

II. — BUILDINGS

Observatoire

Continuation of the repairs of the roof.

Replacement of electrical fittings in the corridors and a covered way.

Installation of a Faraday cage.

Grand Pavillon

Redecoration and repair of electrical fittings in the stair-well.

Repair of the shutters.

Ionizing Radiations building

Redecoration of one office.

Neutron building

Redecoration of the laboratory.

Outbuildings and park

Replacement of damaged drains.

Replacement of fences.

Restoration of the 17th century road along the Allée du Mail.

III. — SCIENTIFIC WORK

1. General introduction

In the report of 1990 I dealt at some length on the present definition of the unit of mass, in particular on the desirability of having an independent method to monitor its long-term stability and on the prospects for a new definition. The results so far obtained from the third periodic verification of national prototypes of the kilogram and described in this year's report, on twenty of the forty or so prototypes participating, reinforce the views that were then expressed. The average of the masses of these twenty prototypes, together with those of the official copies of the international prototype, appear to be changing systematically with respect to that of the international prototype. The average difference now amounts to about $30 \mu\text{g}$ (3 parts in 10^8). While firm conclusions must await the completion of the third verification, towards the end of 1992, the present tentative conclusion is unlikely to change significantly. The development of a method to monitor the mass of the international prototype of the kilogram in terms of atomic or fundamental constants at the level of about 1 part in 10^8 is thus very desirable. In this report the results are also presented on measurements of the effect of variations in ambient humidity on the mass of diamond-machined Pt-Ir mass standards. The observed effects are very reproducible, but ten times smaller than those previously obtained for Pt-Ir standards in other laboratories. It is thought that the difference may be accounted for by the much smoother surface obtained by diamond machining.

The international comparison of iodine cells organized by the BIPM among member laboratories of the CCDM has now been completed and the results are being evaluated. For more than three quarters of the cells participating in the comparison, the spread of measured frequency values does not exceed 10 kHz or 2 parts in 10^{11} of the frequency, a very satisfactory result. The first comparison has been made between the two BIPM lasers stabilized on iodine at a wavelength of $\lambda = 612 \text{ nm}$ using iodine cells inside and outside the laser cavity. Larger frequency differences than expected were obtained. This result does not support the idea that lasers stabilized on external iodine cells are more reproducible than those having the more usual configuration in which the iodine cell is inside the laser cavity. Work is continuing to find the origin of the observed frequency differences. In addition to new work on a CO_2 laser, this year has seen the beginning of work at the BIPM using diode lasers as stable frequency sources. A diode laser

is being set up, stabilized at a wavelength of $\lambda = 852$ nm by saturated absorption of caesium. Calibration of line scales and long end gauges continues using the interference comparator.

The time scales TAI and UTC have been established and disseminated to participating laboratories throughout the world. Since last year's report there has been a further increase, this time of about 25 %, in the number of laboratories using GPS for time transfer. The conformity of the scale interval of TAI with the SI second still rests almost entirely on the data from the primary frequency standards, operating as clocks, of a single laboratory, the PTB. A tendency for the TAI rate to decrease with respect to that of the PTB standards was corrected in February and April 1991 by two "steering" corrections of 0,75 parts in 10^{14} (in normalized value). Studies have continued on the optimization of algorithms for time scales. A study of correlation among the clocks contributing to TAI, called for by the CCDS, has indicated that the most significant source of correlation is to be found in variations of local environmental conditions. The most significant of these is probably seasonal variations in relative humidity. In the domain of time links, work is still dominated by the consequences of the improvement of GPS time comparisons, but new work is beginning using the GLONASS system. Confirmation has now been given by the US Department of Defence that GPS will be degraded by the application of "Selective Availability". This will lead to a significant increase in the long-term work load for the BIPM in extracting the best possible information from degraded data. Among the other activities of the Time Section are studies of two-way time transfer using geostationary satellites, conceptual problems in time scales, the provision of an accurate time scale for pulsar studies and the progressive establishment of a time laboratory at the BIPM. Thanks to generous loans by laboratories and commercial companies we now have a caesium clock, some GPS receivers and various associated systems for ionospheric measurements.

For laboratories equipped with them, the development of 1 V Josephson arrays has definitively rendered obsolete international comparisons of national standards of the volt carried out by travelling Weston cells or Zener-diode based devices. The BIPM has successfully carried out highly accurate comparisons with the PTB and the DFM using a transportable 1 V Josephson array system. The uncertainties of the comparisons and the differences measured were, for both these laboratories, equal to or less than 1 nV. Similar comparisons have been arranged with the NPL, the NIST and the NRC. These will take place before the end of 1991. The ability to make such accurate comparisons, and the fact that the agreement seems so good, will have far reaching consequences for the dissemination of the volt not only among national standards laboratories but also among many advanced industrial

companies. In resistance metrology, the first high-accuracy measurement of the quantized-Hall resistance using low frequency a.c. has been carried out using a cryogenic current comparator. This has led to the development of a new room-temperature measurement system for the comparison of standard resistors. Although a few results from national laboratories have still to come in, the 1990 international comparison of $1\ \Omega$ and $10\ \text{k}\Omega$ resistance standards based on the quantum-Hall effect is now effectively complete. The results are very satisfactory showing, in many cases, agreement among national laboratories and the BIPM at the level of a few parts in 10^8 . Work has continued on the application of some of the new high-temperature superconductors to electrical metrology. In particular their use as electromagnetic shields shows promise for some critical applications.

In the Radiometry section, work has begun in preparation for the international comparison of the spectral responsivity of silicon photodiodes in the wavelength range from 250 nm to 1000 nm decided by the CCPR. For this, the BIPM will be the pilot laboratory. Preliminary measurements at the BIPM have already begun using the new monochromator and wide band sources. The results show good agreement with those already obtained using a tunable-laser source. Other work carried out this year has concerned surface effects on silicon photodiodes, related principally to relative humidity of the ambient atmosphere, computer modelling of the self-calibration method, and a preliminary experimental and theoretical study of the diffraction of white light at circular apertures.

In the field of Ionizing Radiations, work on the dosimetry of ^{60}Co γ rays and X rays has included extended measurements of the absorbed dose to water. The results show agreement, to within about 1 %, with those made at the NPL, the PTB and the NRC, and is within the uncertainties estimated by these laboratories. Absorbed dose to water has also been measured indirectly, with good results, using the so-called scaling-theorem method, and preliminary work has begun in the field of water calorimetry. Comparisons of air-kerma standards have been carried out between the BIPM and the NIST for medium energy X rays. Neutron measurement studies have been made of a liquid-scintillation detector and its efficiency has been determined. In radionuclides, the results of the trial ^{75}Se comparison carried out in 1989 have been re-examined and the reason for the existence of a small offset in the BIPM result has been found and corrected for by new measurements. The SIR, established to measure the activity of γ -ray emitting radionuclides, is being extended to include β and α emitting radionuclides by installing a liquid-scintillation system. A preliminary comparison to check the new system is being organized for some pure β -particle emitting radionuclides. This year, twelve laboratories have submitted

thirteen radionuclides for measurement with the SIR. Work has also continued on counting statistics. The new «parity method» allows direct measurements to be made of the number of true coincidences between β and γ pulses originating from the two-stage decay of a radionuclide. Recent studies of the Poisson distribution have revealed an important feature hitherto unrecognized.

The arrangement of this Report closely resembles that of last year. The report of each Section's work is self contained and includes publications, travel, lectures, etc. To avoid duplication, when a visit includes a lecture it may appear either under the heading of «Lecture» or «Travel» depending upon the main purpose of the visit.

1.1. Publications, lectures, travel not directly related to individual sections

1.1.1. External publications

1. QUINN T. J., The metre and the pendulum, *Nature*, 1990, **348**, 480.
2. QUINN T. J., News from the BIPM, *Metrologia*, 1991, **28**, 3-7.
3. QUINN T. J., Temperature, 2nd edition, Academic Press (London), 1990, 507 p.

1.1.2. Travel (committees, visits to laboratories and institutions)

T. J. Quinn visited

— Turin (Italy) 6 December 1990 and 21 June 1991, to take part in meetings of the Scientific Council of the IMGC;

— Geel (Belgium) 17 January 1991, to visit the CBNM to discuss metrology in chemistry;

— Berne (Switzerland) 9-11 April 1991, to attend a meeting of EUROMET;

— Ottawa (Canada) 16-19 April 1991, to attend a meeting of the NRC Advisory Committee for the Institute for National Measurements Standards;

— Washington (USA) 3-5 June 1991, to take part in the meeting of the CIPM *ad hoc* Working Group on metrology in chemistry;

— Stanford (USA) 6-7 June 1991, to visit the Department of Physics and give a lecture entitled «The beam balance and the weighing of spinning gyrosopes»;

— Braunschweig and Berlin (Germany) 25-29 June 1991, for a meeting of the bureau of the CIPM.

1.2. Activities related to external 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 Advisory Committee for the Institute for National Measurements Standards of the NRC (Ottawa) and the Comité Scientifique of the Laboratoire de l'Horloge Atomique (Orsay).

P. Giacomo (directeur honoraire) continues to represent the BIPM in the preparation of the 2nd edition of the *International vocabulary of basic and general terms in metrology*.

2. Length (J.-M. Chartier)

2.1. General remarks

An important fraction of our effort this year has been devoted to classical length measurements with the calibration of two lines scales and two end gauges. This work takes a long time if the required precision is to be achieved, due essentially to the aging of the comparator and to the low quality of some of the standards to be checked.

The precision with which a laser may be stabilized on an absorption line is essentially determined by the quality of the absorption cell. From our acquired experience, we have learned that the iodine cells used in the visible domain can be appreciably contaminated. This contamination begets a frequency shift of an amount which depends of the level of impurities contained in the cell. The BIPM considered it essential to organize an extensive comparison of iodine cells involving the member laboratories of the CCDM before the next CCDM meeting, in September 1992. Ten laboratories as well as the BIPM participated, between November 1990 and May 1991, and thirty-five cells have been studied. The frequency values obtained from three quarters of the cells lie within a spread of $\pm 2 \times 10^{-11}$ in relative value.

Three laser comparisons at $\lambda = 633$ nm have been carried out at the BIPM involving the national laboratories of Belgium, South Africa and Korea (Rep. of). A fourth comparison, carried out at the Statens Provningsanstalt (SP) in Borås, Sweden, involved the national laboratories of Sweden, Denmark, Finland, Germany, and the BIPM.

After his return from the Joint Institute for Laboratory Astrophysics (Boulder, USA), where he spent one year, R. Felder restarted the BIPM He-Ne lasers stabilized on the saturated absorption of methane and

checked a laser of this type constructed by the VNIIFTRI (USSR) for the BIPM. This laser will greatly strengthen our group of reference lasers.

The first results of the BIPM laser comparison at $\lambda = 612$ nm have been obtained and exhibit larger frequency differences than those observed at $\lambda = 633$ nm. So far, the expected superiority in frequency reproducibility of lasers using an external cell over those using an internal cell has not been demonstrated.

The construction of our first CO₂ laser is in progress and we hope to begin the first tests before the end of this year. For our work at $\lambda = 543$ nm, we have started the construction of two new lasers as one of our two stabilized lasers is out of order.

As diode lasers have been shown to exhibit interesting metrological qualities we have taken advantage of the experience of the LHA (Orsay, France) in the field of extended-cavity lasers and have undertaken the development of lasers for use at $\lambda = 852$ nm stabilized on the saturated absorption of caesium. A. Michaud (Université Laval, Canada), a research fellow at the BIPM for one year, is in charge of this task.

2.2. Classical length measurement (L. Robertsson, J.-M. Chartier)

One line scale of 1 m and two gauges of 500 mm and 1 000 mm from the USSR, and one line scale of 1 016 mm from the Korea (Dem. People's Rep. of) have been calibrated. Concerning the latter, we were only able to measure the length between the lines at 0 and 1 000 mm. This scale was found to be significantly curved and exhibited a reduction in length of more than 8 μ m relative to the calibration made at the BIPM in 1984.

The invar line scale No. 10230 belonging to the CERN and left at the BIPM for many years was returned on 18 June 1990.

2.3. Lasers

2.3.1. Iodine stabilized He-Ne lasers at $\lambda = 633$ nm using internal cells (J.-M. Chartier, L. Robertsson)

i) *Comparisons between the BIPM lasers*

Three BIPM reference lasers (Nos. 2, 4 and 10) have been compared among themselves several times. The observed frequency differences were within ± 5 kHz. After working without modification for nineteen years, we were obliged to replace the gain tube of laser No. 2. This replacement does not seem to have affected its frequency by more than 5 kHz

(1 part in 10^{11} in relative terms). The gain tube of the laser used on the transportable gravimeter has also been replaced.

We took this opportunity to improve the performance of the electronic servo-mechanisms. No significant change in frequency was found after these modifications.

ii) *International comparisons*

Three comparisons have been carried out at the BIPM with the national laboratories of Belgium (IGM), South Africa (CSIR) and Korea (Rep. of) (KSRI). One laser from each laboratory was compared against BIPM reference laser No. 4 by the beat frequency technique; the results gave:

$$\begin{aligned} f_{\text{IGM}} - f_4 &= + 5,7 \text{ kHz}, & s &= 2,6 \text{ kHz}, & n &= 18 \\ f_{\text{CSIR3}} - f_4 &= - 9,5 \text{ kHz}, & s &= 0,8 \text{ kHz}, & n &= 12 \\ f_{\text{KSRI1}} - f_4 &= + 6,7 \text{ kHz}, & s &= 3,1 \text{ kHz}, & n &= 18 \end{aligned}$$

where s is the estimation of the standard deviation of one measurement, and n is the number of measurements.

Four countries and the BIPM took part in a comparison at Borås (Sweden). Each country was represented by one or several lasers as follows: Sweden by lasers SP1 and SP2, Denmark by lasers DK1, DK2 and DK3, Finland by laser HUB, Germany by the lasers PTB01/89 and PTB03/86 and the BIPM by lasers Nos. 4 and 10. The frequency differences obtained between each laser and laser No. 4 are given below:

$$\begin{aligned} f_{\text{SP1}} - f_4 &= + 0,2 \text{ kHz}, & s &= 5,2 \text{ kHz}, & n &= 3 \\ f_{\text{SP2}} - f_4 &= - 2,5 \text{ kHz}, & s &= 5,0 \text{ kHz}, & n &= 7 \\ f_{\text{DK1}} - f_4 &= + 5,6 \text{ kHz}, & s &= 0,4 \text{ kHz}, & n &= 4 \\ f_{\text{DK2}} - f_4 &= + 41,2 \text{ kHz}, & s &= 1,5 \text{ kHz}, & n &= 8 \\ f_{\text{DK3}} - f_4 &= - 5,3 \text{ kHz}, & s &= 3,4 \text{ kHz}, & n &= 6 \\ f_{\text{HUB}} - f_4 &= - 2,0 \text{ kHz}, & s &= 7,1 \text{ kHz}, & n &= 11 \\ f_{\text{PTB01/89}} - f_4 &= + 7,2 \text{ kHz}, & s &= 0,3 \text{ kHz}, & n &= 8 \\ f_{\text{PTB03/86}} - f_4 &= - 6,7 \text{ kHz}, & s &= 3,1 \text{ kHz}, & n &= 10 \\ f_{10} - f_4 &= - 2,4 \text{ kHz}, & s &= 2,4 \text{ kHz}, & n &= 6 \end{aligned}$$

The modulation amplitudes of the DK1 and DK2 lasers were not adjustable and had, respectively, the values 5,5 MHz and 4,6 MHz peak to peak explaining, in part, the observed frequency differences.

iii) *Others*

During the last international comparison of absolute gravimeters at the BIPM, two years ago, the low quality of the frequency reproducibility of some stabilized lasers used in the gravimeters as wavelength reference was demonstrated. To improve this situation, and to avoid limitations

in the accuracy of the absolute measurements of gravity due to incorrect wavelength references, we have built a small iodine-stabilized laser showing a relative frequency reproducibility of about 1 part in 10^{10} . This new laser was tested successfully on a JILA absolute gravimeter in January 1991 at Boulder (USA).

Twenty iodine cells have been filled. The frequency of the half of them has been checked and no cell shows a frequency shift greater than 10 kHz.

2.3.2. Iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda = 612$ nm using internal and external cells (L. Robertsson, R. Felder)

Studies of the frequency reproducibility and stability of the reconditioned lasers at $\lambda = 612$ nm have begun. The frequency differences measured between the hyperfine components and the appearance of the components in the iodine spectra have been found to show significant differences between lasers using internal (BIOR1 or BIOR2) and external iodine cells (BIOR3).

This is due to the fact that the spectroscopic parameters used, which influence the shape and position of the resonances differ for the two types of systems. Since the optimal working conditions for these two types of systems are not the same, it is to be expected that the observed frequencies also will differ.

To illustrate this fact, we have in figure 2.1., displayed, for the components a_1 to a_{15} in the transition R(47) 9-2, the frequency differences :

$$\Delta f_{a_i}(1) = f_{a_i}(\text{BIOR1}) - f_{a_i}(\text{BIOR3}) + C_1$$

and

$$\Delta f_{a_i}(2) = f_{a_i}(\text{BIOR2}) - f_{a_i}(\text{BIOR3}) + C_2,$$

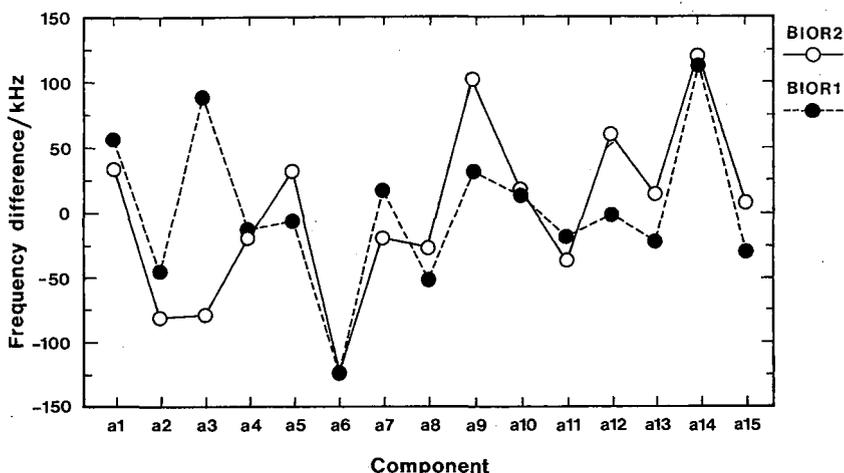


Fig. 2.1. — Frequency difference, for each component a_1 to a_{15} between BIOR1 or BIOR2 and BIOR3.

where C_1 and C_2 have been chosen so to make

$$\sum_{i=1}^{15} \Delta f_{a_i}(1) = 0 \quad \text{and} \quad \sum_{i=1}^{15} \Delta f_{a_i}(2) = 0.$$

However, it can be seen that individual components still show deviations from the BIOR3 value of up to ± 150 kHz. Even the two internal-cell lasers working under similar conditions show significant differences for perturbed peaks, e.g. the components a_3 . The frequency difference between lasers BIOR1 and BIOR2 for the a_7 components, normally used as the reference, was found to be about -92 kHz or 2 parts in 10^{10} , thus showing a poorer reproducibility than that obtained with the 633 nm systems. Such big deviations have already been noticed for the orange internal-cell lasers. The standard deviation of one measurement in a series of nine such frequency determinations, during one week, giving a measure of repeatability, was found to be about 2 kHz or 4 parts in 10^{12} . The short term stability of the beat frequency of the two lasers was typically 3×10^{-12} for one second reaching a floor in the range 3×10^{-13} to 8×10^{-13} after some 1 000 seconds, depending on the choice of component.

The difference in frequency of BIOR2 and BIOR3 was found to be -23 kHz for the a_7 components. It should be remembered that the results of a comparison between these lasers is somewhat dependent of the choice of working point. In this case the modulation amplitude and iodine pressure for BIOR1 and BIOR2 were 7 MHz peak to peak and 0,5 Pa, respectively. The corresponding values for BIOR3 were 3 MHz peak to peak and 5,0 Pa.

In the near future we shall start systematic measurements of the spectra of the two types of laser. Also the frequency dependence of the iodine pressure and modulation width will be studied.

2.3.3. Iodine-stabilized argon lasers at $\lambda = 515$ nm using an external cell (L. Robertsson, S. Picard, R. Goebel)

During the year the major part of the work on iodine-stabilized argon lasers has been concerned with the development of the electronics needed for the stabilization of the laser frequency. Since the preliminary results obtained at the end of 1990, small changes have been made to the design parameters of the fast feed-back loop for the stabilization of the laser to the external Fabry-Perot resonator. A new interferometer, with a higher quality factor ($Q = 4 \times 10^8$), has been installed and, consequently, the sideband frequency has been changed.

2.3.4. Methane-stabilized He-Ne lasers at $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$ using internal cells (R. Felder)

Our work on methane-stabilized He-Ne lasers was brought to a halt by the absence of R. Felder who spent a year at the Joint Institute for Laboratory Astrophysics (USA). On his return the general installation for laser comparison by the beat frequency method had to be completely restarted. The laser heads were cleaned and realigned and the discharge tubes regenerated. The servos were checked and their electronic circuits reajusted.

The whole optical set-up was rearranged in order to receive the portable frequency standard we bought from the VNIIFTRI (Moscow, USSR). The acceptance tests for this new laser, similar to the one that the VNIIFTRI used in joint experiments with the BIPM over the last five years, were carried out at the BIPM in the period 18-30 March 1991. This procedure included familiarization with the control circuitry and the use of the equipment, as well as frequency measurements against our reference lasers.

From the preliminary results, we note that the measured frequency differences between this new apparatus and our reference lasers were all within 1 kHz (1 part in 10^{11}). These results confirm earlier measurements at the NRC and at the PTB.

2.3.5. CO₂ laser at $\lambda = 10,6 \mu\text{m}$ (S. Picard)

The stabilization of a CO₂ laser is a project which has long been under consideration by the CIPM. At the end of 1989 the decision was made to begin development of a laser system of this type.

The construction of a stabilized CO₂/OsO₄ system has progressed during 1990-1991. The laser was completely assembled for the first time during spring 1991. Some mechanical modifications are however necessary (May 1991) and the construction of the electronic frequency control is still at an early stage. The construction of the Fabry-Perot cavity will begin later this year.

2.3.6. International comparison of iodine cells (J.-M. Chartier, S. Picard)

An international comparison of iodine cells took place at the BIPM from November 1990 to May 1991, its aim being to study the influence of impurities on the hyperfine frequencies and to measure the frequency shift of the cells sometimes used to realize national frequency standards (*see* also 2.3.1.). Ten member laboratories of the CCDM participated. Thirty-five cells were measured using two techniques: by studying the frequency shift of hyperfine components using stabilized He-Ne lasers at $\lambda = 633 \text{ nm}$, and by monitoring impurity levels in iodine cells using induced fluorescence at $\lambda = 502 \text{ nm}$.

Our results confirm the observation that impurities in the cells perturb the hyperfine frequencies in iodine. The relation between frequency shift and measured impurity level behaves in a similar manner for cells filled at different laboratories. The relationship is consistent enough to allow estimation of the frequency shift of cells that cannot be measured by an intra-cavity stabilized laser and is shown in figure 2.2. A BIPM report containing all details will be published later and presented at the next CCDM.

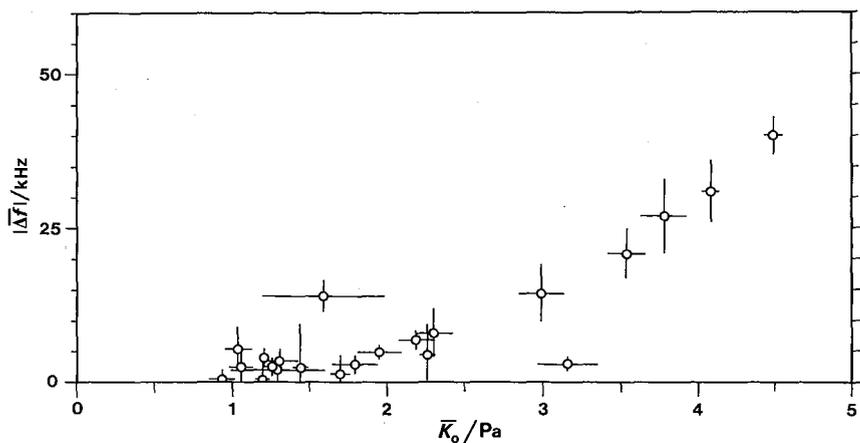


Fig. 2.2. — Diagram showing the connection between the absolute value of the hyperfine component frequency shift of iodine, $|\Delta f|$, and the impurity level in iodine glass cells (represented by an equivalent pressure \bar{K}_0) for 22 iodine cells measured by the two different techniques used in the comparison.

2.4. Publications, lectures, travel : Length section

2.4.1. External publications

1. CHARTIER J.-M., Behaviour of Stabilized Lasers Used in Absolute Gravimeters, *Bulletin d'information du Bureau gravimétrique international*, 1990, **67**, 163-167.
2. PENDRILL L. R., CHARTIER J.-M., FRENBERG M., ROBERTSSON L., Intercomparison of Optical Frequencies at 473 THz of $^{127}\text{I}_2$ -Stabilized He-Ne Lasers from the Swedish National Testing and Research Institute and the Bureau International des Poids et Mesures, *Metrologia*, 1991, **28**, 95-98.
3. PENDRILL L. R., CHARTIER J.-M., FRENBERG M., ROBERTSSON L., Intercomparison of Optical Frequencies of I_2 -Stabilized He-Ne Lasers at BIPM, *SP Report*, 1990, **24**, 1-21.

4. BÉTEND-BON J.-P., WOSINSKI L., BREIDNE M., ROBERTSSON L., Fiber Optic Interferometer for Testing Conic Section Surfaces, *Appl. Optics*, 1991, **30**, 1715-1722.
5. CHARTIER J.-M., ROBERTSSON L., FREDIN-PICARD S., Recent Activities at BIPM in the Field of Stabilized Lasers — Radiations Recommended for the Definition of the Meter, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1991, **IM-40**, 181-184.

2.4.2. BIPM Reports

6. ROBERTSSON L., An Expression for the Third Harmonic Line Shape of Inhomogeneously Broadened Resonances, *Rapport BIPM-90/11*, December 1990, 2 pages.
7. PICARD-FREDIN S., RAZET A., On the Hyperfine Structure of Iodine : 2. To Calculate Hyperfine Constants on the Basis of Experimental Data, *Rapport BIPM-91/2*, March 1991, 23 pages.

2.4.3. Lectures and presentations

J.-M. Chartier

— At the Observatoire de Paris, 5 June 1991, as representative of the BIPM at the *Journée mètre et système métrique* where he gave a presentation entitled « Les définitions successives du mètre ».

S. Picard

— At Font-Romeu (France), 17-21 June 1991 where she participated in the TENICOLS and gave a joint presentation with J.-M. Chartier and A. Chartier entitled « Recent Results from an International Comparison of Iodine Cells ».

2.4.4. Travel (committees, visits to laboratories and institutions)

J.-M. Chartier and L. Robertsson visited the Swedish National and Research Institute at Borås, Sweden for a comparison of lasers involving Sweden, Denmark, Finland, Germany and the BIPM from 20 August to 3 September 1990.

J.-M. Chartier and L. Robertsson visited the JILA (Boulder, USA) to test a new He-Ne laser stabilized at $\lambda = 633$ nm built by the BIPM and intended for use on absolute gravimeters, from 14 to 18 January 1991.

R. Felder, at the invitation of Prof. Bagaev, visited the Institute of Thermophysics in Novosibirsk (USSR), 13-24 May 1991 where he gave a lecture « Frequency reproducibility of portable (He-Ne)/CH₄ lasers and present status of the determination of the absolute frequency of

the methane molecule transition », and the Lebedev Institute in Moscow (USSR), where he gave a lecture « Role and organisation of the BIPM ; results of recent relative and absolute frequency measurements on (He-Ne)/CH₄ lasers ».

R. Felder visited the Joint Institute for Laboratory Astrophysics (USA) during August and September 1991, where he continued his experiment on small portable (He-Ne)/I₂ lasers at $\lambda = 612$ nm.

2.5. Visitors to the Length section

2.5.1. Guest workers

Mr H. Pirée (Administration du commerce, Inspection générale de la métrologie, Brussels, Belgium) stayed at the BIPM 2-6 July 1990 to compare an iodine stabilized laser at $\lambda = 633$ nm of his laboratory against a BIPM reference laser and 19-21 November to test a beat frequency system.

Dr A. Michaud (Université Laval, Canada) stayed from January 1991 until January 1992 as research fellow at the Length section, he was specially involved in the field of laser diodes.

Dr O. Cramer (CSIR, South Africa) stayed 18-29 March 1991 for a laser comparison between the CSIR and the BIPM at $\lambda = 633$ nm.

Dr Yu. S. Domnin and A. S. Oboukhov (VNIIFTRI, USSR) spent the two weeks 18-30 March checking a methane stabilized laser at $\lambda = 3,39$ μ m built by the VNIIFTRI for the BIPM.

Dr H. S. Suh (KSRI, Rep. of Korea) participated 14-28 April 1991 in a comparison of lasers between the KSRI and the BIPM at $\lambda = 633$ nm.

Mr S. Baytaroglu (National Institute of Metrology, Turkey) stayed at the BIPM 22-28 May 1991 to discuss the realization of iodine stabilized lasers and to participate in a comparison of iodine cells.

2.5.2. Visitors

Dr A. J. Wallard (NPL, Teddington, United Kingdom), 25 October 1990.

Dr M. Bredne (Institute of Optical Research, Stockholm, Sweden), 13 November 1990.

Dr F. Vrabie Ionescu (Institute for Atomic Physics, Bucharest-Magurele, Romania), 12 December 1990.

Dr Balzamo (IMGC, Turin, Italy), 18 December 1990.

Dr J. Faller (JILA, Boulder, USA), 25 January 1991.

Dr Ing. H. Kunzmann (PTB, Braunschweig, Germany), 30 January 1991.

Dr G. P. Barwood (NPL, Teddington, United Kingdom), 31 January 1991.

Mr P. Gain (Sextant-Thomson, France), 11 March 1991.

Dr S. Jerome (NPL Teddington, United Kingdom), 22 March 1991.

Mr D. Boiciuc (National Institute of Measures, Bucharest, Romania), 2 April 1991.

Dr J. Guedelha (Instituto Português da Qualidade, Lisboa, Portugal), 9-10 April 1991.

Dr A. Lepek (INPL, Jerusalem, Israel), 18 April 1991.

Dr T. Gustafsson (CEN, Saclay, France), 25 April 1991.

Dr C. Sallot (Quantel, Les Ulis, France), 2 May 1991.

Dr Z. Referowski (Polski Komitet Normalizacji Miar I Jakości, Warsaw, Poland), 24 May 1991.

Dr O. Acef (LPTF, Paris, France), 3 June 1991.

Dr L. Pendrill (SP, Borås, Sweden), 28-29 May and 10 June 1991.

3. Mass and related quantities (G. Girard)

The third periodic verification of national prototypes of the kilogram has continued this year and has reached the half-way stage with the completion of measurements on twenty of the forty prototypes participating. Other work includes the study of surface effects on platinum-iridium standards, the design of a new balance based on our experience with the flexure-strip balance, and a study of the Mettler HK 1000 MC balance.

3.1. Third periodic verification of national prototypes of the kilogram (G. Girard)

The third verification of national prototype kilograms has continued. These have been divided into groups of ten, based on their order of arrival at the BIPM. The national prototypes are first compared, in the state in which they arrive at the BIPM, with two platinum-iridium standards. They are then subjected twice to a process which involves cleaning with an alcohol-ether mixture followed by washing in steam [1] and compared with two official copies of the international prototype, Nos. 8(41) and 32, which have also received the same preliminary cleaning and washing.

The study of the first two groups of prototypes has been completed*. From the weighings carried out before and after cleaning and washing, one may deduce the effect of this treatment.

* Because the third periodic verification of national prototypes has not yet been completed, the results already obtained may be subject to minor adjustments. For this reason, the results given here do not include the identifying number of each prototype.

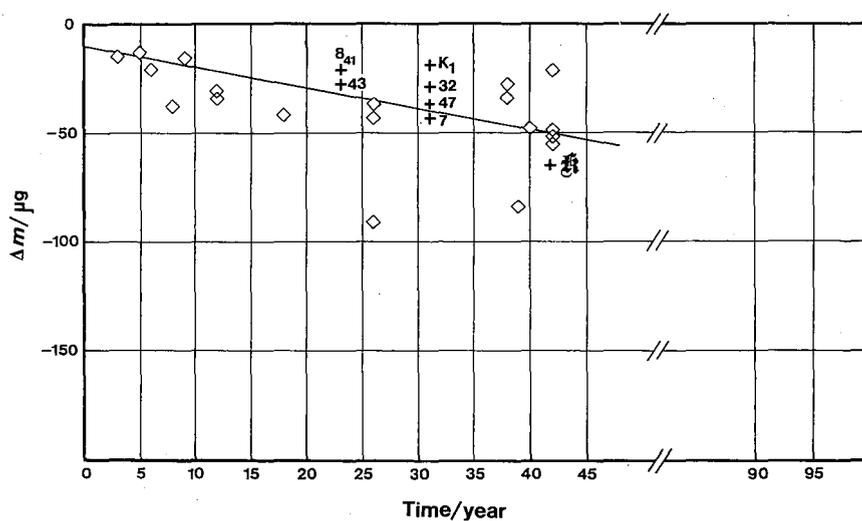


Fig. 3.1. — Change in mass, Δm , on cleaning and washing platinum-iridium prototypes as a function of the number of years since the last cleaning and washing.
(\diamond national prototypes; + international prototype and its six official copies.)

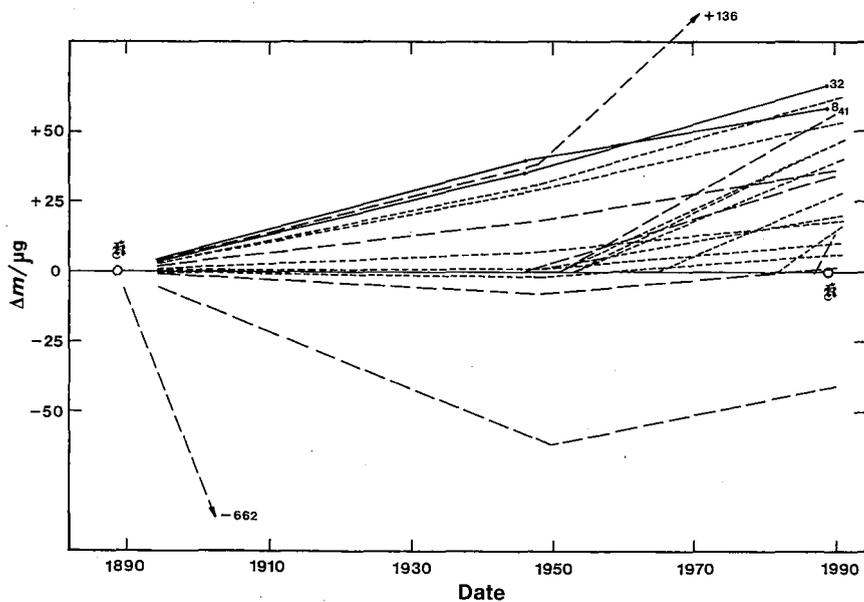


Fig. 3.2. — Evolution of the mass of twenty national prototypes (— first group; - - - second group) and two of the official copies (No. 8(41) and No. 32) of the international prototype (—) with respect to that of the international prototype.

Figure 3.1 shows, for the twenty national prototypes already studied, the change of mass upon cleaning and washing as a function of the number of years since the last cleaning and washing. The effect of this treatment on the international prototype and its official copies is also shown in the figure. The line, with a slope of -1 microgram per year, is taken from figure 2.2 of the Director's report 1989, p. 130. One should note that the effect of cleaning and washing is a function both of the conditions in which the standard is stored and used and of its surface quality. Account could also be taken of whether the standard has been used more or less intensively as this may modify the effect, but this is not done here.

Figure 3.2 shows the progression in mass, with respect to the international prototype, of the twenty national prototypes and official copies Nos. 8(41) and 32 since their manufacture (only prototypes Nos. 1 to 40 were compared with the international prototype in 1889; the second periodic verification was carried out between 1946 and 1953).

3.2. Mettler HK 1000 MC balance and fabrication of new prototypes (G. Girard)

The Mettler HK 1000 MC balance is now housed in an airtight enclosure. The carousel used to exchange masses has been modified: standards now rest on three stainless steel balls. The various parameters needed for calculation of the air density are acquired automatically during the weighing thus permitting an immediate calculation of the mass of the unknown standards in terms of the reference standards.

Many tests have been carried out with this balance. In comparisons of four stainless steel standards, the repeatability and the reproducibility are characterised by standard deviations of around $0,4 \mu\text{g}$ and $1,5 \mu\text{g}$ respectively. We have also made comparisons between a platinum-iridium prototype and three stainless steel standards. In this case the repeatability and the reproducibility of the platinum-iridium standard are characterized by standard deviations of around $0,8 \mu\text{g}$ and $3 \mu\text{g}$ respectively, taking one of the stainless steel standards as reference.

Quite recently, the beam release has been automated thereby ensuring that its movement is always smooth. The automated release improves the weighings which follow and also allows us to perform, without human intervention, as many weighings as we wish.

A detailed document giving the results obtained with the Mettler HK 1000 MC balance was presented to the CCM for the meeting in May, 1991 (document CCM/91-17).

Four new platinum-iridium prototypes (Nos. 77 to 80) have been completed (density determination, manufacture, final surface finish, adjustment) starting with the same ingot as was used for prototypes Nos. 75 and 76.

3.3. The new flexure-strip balance, FB-2 (T. J. Quinn, A. Picard)

The prototype flexure-strip balance, which we now call the FB-1, has demonstrated a repeatability of weighings in air of 1 kg Pt-Ir prototypes at least ten times better than that obtainable with the NBS-2 knife-edge balance. The FB-1 was designed, however, for the comparison of only two masses. To take full advantage of the capabilities of a flexure-strip balance we have begun the construction of a second one, to be called the FB-2, designed to compare up to eight 1 kg masses.

The FB-2 will have a beam, flexure-strips, pan suspensions and electronic servo-control system effectively identical with those of FB-1. The principal difference will be in the mass exchanger. This will be a circular carousel designed to carry the eight masses. As for FB-1, the new balance will be fully automated and enclosed in a chamber suitable for vacuum operation. It will be equipped with security devices additional to those of FB-1 to guard against damage to mass standards that can result from computer or mechanical failure. The new balance is expected to come into operation during 1992.

3.4. Surface effects on Pt-Ir mass standards (T. J. Quinn, R. S. Davis, A. Picard)

The study of the influence of ambient humidity on the mass of Pt-Ir prototypes, mentioned as just beginning in the report of 1990, p. 121, has produced some interesting results. The masses of two

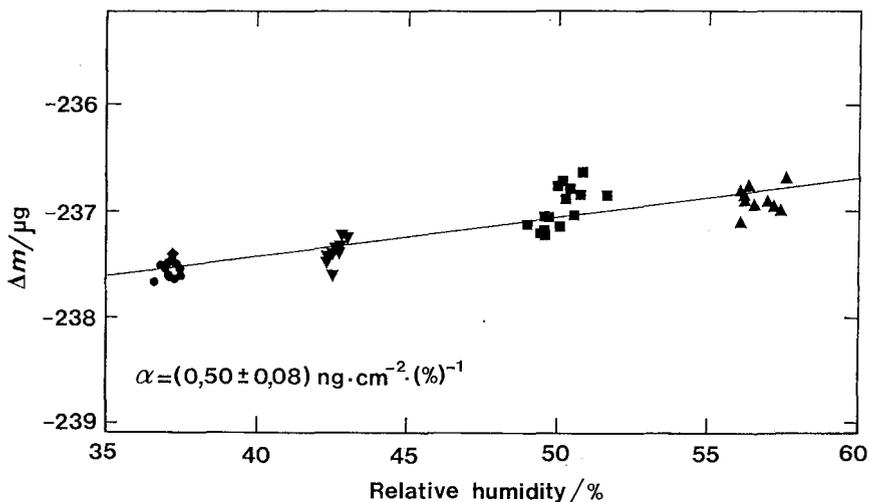


Fig. 3.3. — The change in mass difference, Δm , as a function of humidity, between two Pt-Ir 1 kg artefacts one having twice the surface area of the other. Symbols represent corrected data for air buoyancy and for temperature, pressure and time effects.

diamond-machined Pt-Ir 1 kg standards, one made up of four disks having twice the surface area of the other, have been compared in humid air at a pressure of about 100 kPa using the flexure-strip balance. Measurements were made over a period of about three months at relative humidities of 38 %, 42 %, 50 % and 56 % and again at 38 %. The results are shown in figure 3.3. The influence of ambient humidity is much smaller, by about a factor of ten, than we had expected on the basis of earlier measurements made elsewhere. Although this may be due to the much smoother surfaces obtained by diamond machining, compared with those previously used, we have as yet no direct experimental evidence to support this conclusion. Measurements are continuing to investigate the effects of temperature and pressure including, in due course, measurements in vacuum.

3.5. Single-crystal silicon flexures (T. J. Quinn, R. S. Davis, A. Picard, C. C. Speake *)

Last year (*see* Report 1990, p. 122) we reported that during his stay at the JILA in 1989 C. Speake made a vertical pendulum glued onto a flexure made from a single crystal of silicon. This pendulum, now at the BIPM, has been mounted in a vacuum chamber to carry out anelasticity measurements. The preliminary results obtained using a flexure element 20 μm thick, 2 mm long and 40 mm wide, show that its anelasticity is perhaps two orders of magnitude smaller than that of a Cu-Be flexure.

This work has been interrupted since we are unable to avoid accidental breakage of the delicate flexures and all are now broken. We await a new supply. Meanwhile the pendulum has been rebuilt to a new design which we hope will be less prone to cause fracture of the flexure.

3.6. Study of the magnetic forces on balances (R. S. Davis)

The remarkably high precision of the BIPM 1 kg flexure-strip balance and its reliance on powerful but unshielded magnets for servocontrol have led us to re-examine possible sources of unwanted magnetic interactions. This study was carried out both theoretically and experimentally. The theoretical analysis leads to the conclusion that, even though the magnets used for servocontrol are unshielded, they will not introduce any serious problems as long as reasonable precautions are taken. These precautions centre around the scrupulous elimination of all feebly magnetic materials from the moving parts of the balance

* School of Physics and Space Research, University of Birmingham, U.K.

(principally the mechanism which transports the masses to be determined and the mechanism which raises and lowers the sensitivity mass). The masses themselves should also be considered as moving parts of the balance, but the limits on their susceptibility are already known to be sufficiently stringent to avoid problems.

In order to screen materials used in the sensitive parts of balances, a simple device was designed and constructed. The configuration of this apparatus seems novel and is a direct result of the theoretical analysis described in the previous paragraph. The device, which measures the force of attraction between a dipole magnet and the sample, consists principally of a commercial one-pan analytical balance (already on hand) and a pair of magnets identical with those used to servocontrol the BIPM 1 kg flexure balance. The device is sensitive enough to react quantitatively to the paramagnetism of platinum and operates at sufficiently low fields to avoid saturating feebly magnetic materials such as so-called « non-magnetic » stainless steels. A wide range of sample dimensions can be accommodated. Susceptibilities ranging over three orders of magnitude have been measured with an absolute accuracy which is estimated at about 20 % in all cases.

3.7. Gravimetry (A. Sakuma)

Preparations are being made to establish two new absolute gravity stations in France, at Clermont-Ferrand (altitude 401 m) and at the summit of the Puy-de-Dôme (altitude 1 464 m). This work, which will employ the BIPM transportable absolute gravimeter, is being carried out in collaboration with the Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), Orléans. The purpose of the two new stations is to provide a calibration base having a large difference in g ($2,3 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-2}$) between two stations situated close to one another (about 10 km). It is hoped to establish this difference with a relative uncertainty of about 1 part in 10^5 . The new calibration base will complement the six stations established in the years before 1983 namely : Sèvres, Orléans, Toulouse, Marseille, Dijon and Nancy.

3.8. Publications, lectures, travel : Mass section

3.8.1. BIPM Report

1. GIRARD G., The washing and cleaning of kilogram prototypes at the BIPM. BIPM, 1990, 19 pages.

3.8.2. Travel (committees, visits to laboratories and institutions)

G. Girard and R. S. Davis attended an EUROMET meeting on mass and related standards at the NPL (United Kingdom), 5-6 December 1990. G. Girard gave an invited talk on the cleaning of mass standards and R. S. Davis an invited talk on stability studies of diamond-turned Pt-Ir.

R. S. Davis attended a meeting on Mass Measurements: Principle and Practices sponsored by the U.S. Institute of Nuclear Materials Management, Atlanta (USA), 22-24 April 1991 and gave an invited talk on the role of standards in quality control.

3.9. Visitors to the Mass section

Mrs F. Vrabie Ionescu (INM, Bucharest, Romania), 13 December 1990.

Dr B. P. Kibble (NPL, Teddington, United Kingdom) and Dr E. R. Williams (NIST, Gaithersburg, USA), 23 January 1991.

Mr P. Pinot (INM, Paris), 27 February 1991.

Mr Baytaroglu (National Institute of Metrology, Istanbul, Turkey), 26 April 1991.

Mr N. Bignell (CSIRO, Lindfield, Australia), 27 May 1991.

Mr Shi Changyan and Mrs Sun Ruixian (NIM, Beijing, People's Republic of China), 3 June 1991.

4. Time (C. Thomas)

4.1. International Atomic Time (TAI) and Coordinated Universal Time (UTC)

The time scales TAI and UTC have been maintained and distributed by the usual means. The most important new aspect of our current work is the increasing volume of GPS data we receive and process, the number of collaborating laboratories equipped with GPS time receivers having increased by 25 % since September 1990.

As in the previous years, we deplore the fact that the conformity of the TAI scale interval with the SI second still rests almost entirely on the data of a single laboratory, the PTB, where the primary standards are much more accurate than those elsewhere. A tendency of the TAI frequency to decrease with respect to the PTB standards has been compensated by two frequency «steering» corrections of $0,75 \times 10^{-14}$ (in normalized value) in February and April 1991. Some new primary-

frequency standards, which use optical preparation and detection of atoms, are now under development; their expected accuracy should compare with that of the PTB standards and the result of their evaluation will be of great interest in the coming few years.

4.2. Algorithms for time scales (J. Azoubib, C. Thomas, P. Tavella *)

A comparative study of the NIST algorithm, for estimation of the time scale AT1, and the BIPM algorithm ALGOS, for estimation of TAI, has shown that the two algorithms rest on the same basic ideas, in particular on the definition of the time scale as a weighted average of clock readings. The prediction of clock rates and the specification of the weighting procedure are different however, being adapted to the duration of the measurement cycle and to the delay which can be accepted before the time scale is made available [1].

We remain confident that the design of ALGOS is properly optimized for long-term stability and that it is particularly efficient for minimizing the annual fluctuation and drift of the resulting time scale. A theoretical and numerical study of the clock-ensemble correlation has shown this effect to be negligible, even if the number of contributing clocks happens to decrease [2]. This is linked to particular features of the design of the ALGOS weighting procedure. Some updates now under study, however, take into account the large reduction in the noise of time comparisons due to extended use of GPS. In addition, more naturally drifting clocks, such as hydrogen masers, contribute to TAI. Specific frequency prediction and weighting procedures, now under study, should allow a better use of these clocks.

The possible use of Kalman filtering technique for time scale generation is still of interest. The Kalman filter is optimum in the least-squares sense, being linear, recursive and well adapted to filter out white noise. Associated with an equation of definition for the ensemble time, it appears to be of value in cases where measurement noise is non-negligible or when contributing clocks experience white frequency modulation [3].

A report of the correlations among the clocks contributing to TAI was called for by the 11th meeting of the CCDS. Such correlations may have their origins in external phenomena such as the noise of the time comparisons or the noise of TAI itself, but the main cause of real correlations is change in the environment of the clocks, especially the variation of relative humidity [19].

* Guest worker.

4.3. Time links (W. Lewandowski, G. Petit, C. Thomas)

In the domain of time links, our research activity is still dominated by the improvement of GPS time comparisons [4]. We also remain vigilant about the development of GLONASS and of two-way time transfer experiments.

4.3.1. Global Positioning System (GPS)

The current computation of GPS time comparisons incorporates a number of refinements. For most links we now use strict common views (synchronization within 1 s) in order to remove the clock-jitter noise brought about by a possible voluntary degradation (Selective Availability, SA) of GPS Block II satellite signals [5]. The degree of smoothing of raw GPS data has also been adjusted according to the length of the baseline between stations. It appears that the precision of one single measurement [UTC(Lab1) – UTC(Lab2)] is now about 2 ns for short distances and about 8 ns for long distances.

The coordinates of GPS antennas, already homogenized by the BIPM in June 1990 in a common reference frame (ITRF88), are still the subject of continuous improvement. Work continues, in particular for laboratories newly equipped with GPS.

Another part of our current work is to check the differential delays between GPS receivers operating on a regular basis in collaborating laboratories. Since early April 1991, we have organized three campaigns of receiver calibration: between OP (Paris, France) and NIST (Boulder, USA), between OP, TAO (Tokyo, Japan) and CRL (Tokyo, Japan), and between OP, OCA (Grasse, France) and TUG (Graz, Austria).

We also continue to organize international synchronization of GPS measurements by issuing satellite tracking schedules.

Further improvement of GPS time comparisons would call for the use of precise satellite ephemerides and of measured ionospheric delays along the satellite line of sight. Precise ephemerides from the Defence Mapping Agency (USA) are still regularly received at the BIPM but they cannot yet be employed in current work because they reach us too late. Measured ionospheric delays are used operationally only for the link OP-TAO.

Precise ephemerides and measured ionospheric delays have been used for deferred-time studies, in particular to assess the precision and accuracy of the GPS common-view time transfer technique over long distances. Such a study was first carried out for the link OP-NIST [6], then for a combination of three links, OP-NIST, NIST-CRL and CRL-OP, which allows us to test the closure condition [7, 8]. It has been shown that, under these conditions, the precision of a single measurement is of about 4 ns and that the closure condition is fulfilled

to within a few nanoseconds on daily averages. This allows us to compare the day-to-day performance of the best atomic clocks presently available.

Efforts at the BIPM are also being directed towards a better standardization of GPS time receivers. Fresh anomalies have been found in software implemented in current receivers, for instance the use of an incoherent time reference for monitoring GPS tracks. In addition, work on receiver hardware remains to be investigated, an unexpected sensitivity of some GPS receivers to external temperature being still observed [9].

4.3.2. Global Navigation Satellite System (GLONASS)

GLONASS is the Soviet satellite system equivalent to the GPS. Observations of GLONASS satellites are now performed by Prof P. Daly, University of Leeds, and by VNIIFTRI, Moscow. This allows the BIPM to establish regular time links between Western Europe and the USSR with an uncertainty of about one hundred nanoseconds. Values of [UTC - GLONASS time] are currently published in *BIPM Circular T*.

An experiment to compare GLONASS and GPS techniques is now being organized jointly by the BIPM, VNIIFTRI and University of Leeds.

4.3.3. Two-way time transfer

Two-way time transfer via telecommunication satellites can be achieved with several hundreds of picoseconds in precision and possibly, but this is not yet proved, several nanoseconds in accuracy. In 1989, the BIPM helped in the development of two-way time transfer experiments by initiating a collaboration between NIST, USNO and several European laboratories. Following this, a two-way experiment was effectively set up, from November 1990 to April 1991, between the Observatoire de la Côte d'Azur (Grasse, France) and the Technical University of Graz (Graz, Austria). The BIPM expertise was then required for GPS data processing for a comparative study of GPS and two-way techniques [10].

4.4. Definition of time scales, relation with astronomy (B. Guinot)

In the framework of the activity of the IAU Working Group on Reference Systems (WGRS), the Sub-group on Reference Frames and Origins, chaired by J. Kovalevsky, and the Sub-group on Time, chaired by B. Guinot, jointly proposed to base their work, in an homogeneous manner, on a space-time metric explicitly recommended. Concerning time, this led to the definition of various scales of coordinate time

whose realization rests on relativistic transformations of TAI. The time scale TAI appears as a realization of an ideal Terrestrial Time (TT). This definition of TAI is compatible with the definition already given by the CCDS in 1980. These proposals are adopted by the WGRS and will be submitted to the IAU General Assembly in August 1991 [11].

A review has begun of the dimensions involved in time scales and in quantities associated with time scales [12]. Activities have been pursued on the definition of Universal Time and on the rotation of the Earth [13, 14]. A study of the measurement of time, partly of historical character, is in progress. Some elements gave rise to publications [15].

4.5. Pulsars (G. Petit, B. Guinot, C. Thomas, P. Tavella)

Millisecond pulsars are galactic objects that exhibit a very stable period of rotation. Their timing by radio-astronomers is presently the most demanding application of a stable time scale and it appears that pulsars may help to monitor the long-term instabilities of atomic time scales. The relationship between atomic time and the rotation of pulsars has been reviewed [16]. Work is in progress to develop a pulsar time scale from the observation of several pulsars. Collaboration with radio-astronomers observing pulsars is under way (loan of a GPS receiver to the Nançay station [18]).

4.6. Other activities

4.6.1. Installation of a time laboratory (C. Thomas)

A commercial caesium clock on loan from the USNO, its associated equipment, a GPS time receiver and an ionospheric measurement system constitute the basic elements of the BIPM time station. Beside this core equipment, we have assembled, thanks to the generosity of several time laboratories and private companies, a set of GPS time receivers and ionospheric measurement systems which are useful for calibration campaigns and for collaboration on specific experiments.

Because of its good long-term stability, the 5 MHz signal sent out from the caesium clock can be used as a frequency reference for experiments developed in other sections of the BIPM. A distribution of this signal inside the BIPM is being set up.

4.6.2. Very Long Baseline Interferometry (G. Petit)

Very Long Baseline Interferometry (VLBI) is the most precise technique available for the realization of reference frames in geodesy and astrometry. It is also one of the applications demanding the best

stability of atomic clocks for averaging times of 1 minute to 1 day. It has potential for use in time comparisons. We make two contributions in this domain. On the one hand, a collaboration has been set up with the Institut Géographique National (France) to process data from the 1989 European mobile VLBI campaign so as to establish the basis for a European geodetic system with centimetre accuracy. Taken together with GPS, this network will allow centimetric positioning throughout Western Europe, including most of the time laboratories. On the other hand, we are interested in VLBI observations of millisecond pulsars. These will be used to link the radio and the dynamical celestial reference frames, and could allow us to identify annual signatures in the pulsar timing data arising from the reference time scale or from the orbit of the Earth.

4.7. Publications, lectures, travel : Time section

4.7.1. External publications

1. TAVELLA P., THOMAS C., Comparative Study of Time Scale Algorithms, *Metrologia*, 1991, **28**, 57-63.
2. TAVELLA P., AZOUBIB J., THOMAS C., Study of the Clock-Ensemble Correlation in ALGOS using Real Data, *Proc. 5th EFTF*, 1991, 435-441.
3. TAVELLA P., THOMAS C., Time Scale Algorithm : Definition of Ensemble Time and Possible Uses of the Kalman Filter, *Proc. 22nd PTTI*, 1990, 157-170.
4. LEWANDOWSKI W., THOMAS C., GPS Time Transfer, *Proceedings IEEE, Special issue on Time*, 1991, **79**, 991-1000.
5. ALLAN D. W., GRANVEAUD M., KLEPCZYNSKI W. J., LEWANDOWSKI W., GPS Time Transfer with Implementation of Selective Availability, *Proc. 22nd PTTI*, 1990, 145-156.
6. LEWANDOWSKI W., PETIT G., THOMAS C., WEISS M. A., The Use of Precise Ephemerides, Ionospheric Data and Corrected Antenna Coordinates in a Long-Distance GPS Time Transfer, *Proc. 22nd PTTI*, 1990, 547-558.
7. LEWANDOWSKI W., PETIT G., THOMAS C., WEISS M. A., GPS Time Closure around the World using Precise Ephemerides, Ionospheric Measurements and Accurate Antenna Coordinates, *Proc. 5th EFTF*, 1991, 215-220.
8. LEWANDOWSKI W., PETIT G., THOMAS C., Accuracy of GPS time comparisons, *Journées 1991, Systèmes de référence spatio-temporels*, Observatoire de Paris, 1991, 51-56.

9. LEWANDOWSKI W., TOURDE R., Sensitivity to the External Temperature of Some GPS Time Receivers, *Proc. 22nd PTTI*, 1990, 307-316.
10. UHRICH P., TOURDE R., GRANVEAUD M., GRUDLER P., BAUMONT F., VEILLET C., FERAUDY D., TORRE J.-M., MANGIN J.-F., GAIGNEBET J., HATAT J.-L., HANSON W., CLEMENS A., JESPERSEN J., LOMBARDI M., KIRCHNER D., THYR U., KIRCHNER G., RESSLER H., KLEPCZYNSKI W. J., WHEELER P. J., POWELL W., DAVIS A., LEWANDOWSKI W., Preliminary comparison of time transfers via LASSO, GPS and two-way satellite, *Proc. 5th EFTF*, 1991, 96-104.
11. GUINOT B., Report of the Sub-Group on Time, *Proc. IAU Coll.*, 1991, **127**, 3-16.
12. GUINOT B., La nature des échelles de temps, définitions, notations, In *Journées 1991, Systèmes de référence spatio-temporels*, Observatoire de Paris, 1991, 3-10.
13. GUINOT B., L'origine non-tournante et la définition du Temps universel, In *Journées 1990, Systèmes de référence spatio-temporels*, Observatoire de Paris, 1990, 139-144.
14. GUINOT B., Une définition conceptuelle du Temps universel et ses conséquences, *Navigation (Inst. fr.)*, 1991, **154**, 283-291.
15. GUINOT B., Le rôle d'André Danjon dans la mesure du temps, In *Journées 1990, Systèmes de référence spatio-temporels*, Observatoire de Paris, 1990, 131-136.
16. GUINOT B., PETIT G., Atomic time and the rotation of pulsars, *Astron. Astrophys.*, 1991, **248**, 292-296.
17. QUINN T. J., The BIPM and the Measurement of Time, *Proceedings IEEE, IEEE Special issue on Time*, 1991, **79**, 894-905.

4.7.2. BIPM Reports

18. PETIT G., Évaluation de l'incertitude de datation pour le chronométrage des pulsars milliseconde à l'Observatoire radioastronomique de Nançay, *Rapport BIPM-91/3*, July 1991, 6 pages.
19. TAVELLA P., THOMAS C., Report on correlations in the frequency changes among the clocks contributing to TAI, *Rapport BIPM-91/4*, July 1991, 49 pages.

4.7.3. Lectures and presentations

W. Lewandowski attended :

— the meetings of the Civil GPS Service Interface Committee (formely Civil GPS Service Steering Committee) in Alexandria (USA), on 16-18 January 1991, in Reston (USA), on 3-7 June 1991, in Albuquerque (USA), on 9-10 September 1991. He gave presentations on

the sensitivity to external temperature of GPS time receivers, on the treatment of GPS data during the implementation of SA, and on the GPS time closure around the world ;

— a workshop on navigation systems at LSRRRI in Leningrad (USSR), on 24-27 June 1991, where he gave a lecture on GPS time transfer. He also visited laboratories producing GLONASS clocks and GLONASS receivers.

G. Petit attended the annual assembly of the Comité National Français de Géodésie et Géophysique, Paris (France), on 15 January 1991, where he presented a report on the activities of the Time section. He also gave a lecture at the Institut Géographique National, Paris (France), on 15 May 1991, on VLBI.

B. Guinot gave a lecture at the Institut Géographique National, Paris (France), on 27 March 1991, on Time.

4.7.4. Travel (committees, visits to laboratories and institutions)

W. Lewandowski visited :

— Tysons Corner (USA) 4-6 December 1990, to attend the 22nd PTTI Meeting ;

— Rockville (USA) 7 December 1990, to visit the National Geodetic Survey and to discuss the possibility of access to GPS broadcast ephemerides recorded in the North Pacific ;

— Besançon (France) 12-14 March 1991, to attend the 5th European Frequency and Time Forum ;

— Grasse (France) 11 April and 15 May 1991, to install a GPS time receiver at the Observatoire de la Côte d'Azur ;

— Moscow (USSR) 18-23 June 1991, to install a GPS time receiver at VNIIFTRI and to discuss on GLONASS time transfer ;

— Archweiler (Germany) 7-9 August 1991, to attend the First GPS IERS and Geodynamics Experiment 1991 meetings ;

— Vienna (Austria) 13-17 August 1991, to attend the 20th General Assembly of IUGG ;

— Graz (Austria) 15 August 1991, to discuss with Dr Kirchner (TUG) the comparison of the two techniques, GPS and two-way, for time transfer ;

— Albuquerque (USA) 11-13 September 1991, to attend the American Institute of Navigation GPS-91 meeting.

G. Petit visited :

— Tysons Corner (USA) 4-6 December 1990, to attend the 22nd PTTI meeting.

— Toulouse (France) 10-11 January 1991, to attend the Conseil Scientifique du Groupe de Recherches de Géodésie Spatiale and to have discussions with L. Boloh and T. Fayard (CNES) on a VLBI pulsar correlator.

— Nançay (France) 22 May 1991, to install a GPS time receiver at the Observatoire Radioastronomique.

— Dwingeloo (Netherlands) 13-14 June 1991, to attend the 8th Working Meeting on European VLBI for Geodesy and Astronomy.

— Buenos-Aires (Argentina) 21 July-1 August 1991, to attend the 21st General Assembly of the IAU.

C. Thomas visited :

— Besançon (France) 10-11 March 1991, to attend the workshop on atomic frequency standards.

B. Guinot visited :

— Virginia Beach (USA) 15-20 October 1990, to participate in the IAU Colloquium 127 on Reference Systems and to chair the Sub-group on Time.

— Neuchatel (Switzerland) 16 November 1990, to participate in the scientific council of the European Forum on Frequency and Time.

— Toulouse (France) 10 January 1991, to participate in the Scientific Council of the Groupe de Recherches de Géodésie Spatiale.

— Paris (France) 20 February 1991, to chair the French Scientific Council of the IERS.

— Besançon (France) 12-14 March 1991, to attend the 4th European Forum on Frequency and Time.

4.8. Activities related to external organizations

W. Lewandowski participates in the work of IUGG.

G. Petit participates in the work of IAU where he is a member of the Working Group on Astronomical Standards. He is a member of the scientific council of Groupe de Recherches de Géodésie Spatiale (France) and a member of the Comité National Français de Géodésie et Géophysique.

C. Thomas participates in the work of IAU. She is a member of the Working Group on Terminologie et Notations en Géodésie (France) and a member of the Comité National Français de Géodésie et Géophysique.

B. Guinot participates in the work of IAU. He is a member of the Scientific Council of the Groupe de Recherches de Géodésie Spatiale (France) and of the European Forum on Frequency and Time. He is Chairman of the French Scientific Council of the Central Bureau of the IERS. He is a member of the Bureau des Longitudes (Paris), a corresponding member of the Académie des Sciences (Paris) and a member of the Academia Europaea.

4.9. Visitors to the Time section

4.9.1. Guest workers

Mrs P. Tavella, (IEN, Turin, Italy), visited on two occasions (5-16 November 1990, 4-11 March 1991) to continue her studies on time scale algorithms.

4.9.2. Visitors

Prof. A. De Marchi (University of Ancona, Ancona, Italy), 18 October 1990 for discussions about primary frequency standards with C. Thomas.

Dr P. Urich (LPTF, Paris, France), 31 January 1991 for collaboration about two-way time transfer with W. Lewandowski, G. Petit and C. Thomas.

Dr M. A. Weiss (Time and Frequency Division, NIST, Boulder, USA), 7 November 1990 and 18-21 March 1991 for discussions about GPS time transfer with W. Lewandowski, G. Petit and C. Thomas.

Dr A. S. Oboukhov and Dr Yu. S. Domnin (VNIFTRII, Moscow, USSR), 19 March 1991, for discussions with C. Thomas about possible loan of equipment.

Dr A. Lepek (INPL, Jerusalem, Israel), 23 April 1991 for collaboration with the Time Section.

Mr M. Imae (CRL, Tokyo, Japan) and Mr K. Takagi (Nihon Tsushinki Company, Kanagawa, Japan), 12-19 September 1991, to install a commercial ionospheric measurement system built in Japan.

5. Electricity (T. J. Witt)

5.1. General remarks

The highlights of the year's activities include the completion of very accurate internal and international comparisons of Josephson-array voltage standards with agreements and uncertainties in the range of 1-10 parts in 10^{10} . In resistance metrology, the first highly accurate a.c. measurements of the quantized Hall resistance (QHR) at low frequencies and with a cryogenic measurement system have been carried out. This led to the development of a new room-temperature measurement system for standard resistors. Nearly all results of the 1990 resistance comparison have now been received from the participating laboratories and in many cases agreement at a level of several parts in 10^8 has been verified.

5.2. Electrical potential

5.2.1. Josephson effect (D. Reymann)

Since last year, a considerable part of our effort has been devoted to Josephson array comparisons. A second Josephson-array voltage standard has been assembled for use as a potentiometer, as a back up standard and for comparisons with other laboratories. The characteristics of this instrument are similar to those of the older one, the main improvement being the use of a phase-lock loop driver, donated to the BIPM by the ETL for millimeter-wave frequency stabilization.

Comparisons have been carried out by two different methods, an indirect one that uses the BIPM voltage transfer standard [2], and a direct one. In the indirect method, the input to the transfer standard that is normally used for the standard cell is connected to the second Josephson standard. One important advantage of the indirect method is that it permits comparisons even when the Josephson arrays are grounded, whereas, in the direct comparison, at least one of the arrays must be kept floating with respect to ground.

Our first comparison was carried out between the two BIPM Josephson-array voltage standards. After this comparison, at the end of January, the Josephson-array voltage standard of the DFM (Denmark) was brought to the BIPM and compared with one of the BIPM instruments [3]. One goal of this work was to carry out a pilot study for EUROMET Project 199, by examining the factors limiting the accuracy of such comparisons. In January, one limiting uncertainty in the DFM Josephson standard was the frequency stabilization. The standard deviation of the mean for a one-minute measurement was typically 4×10^{-9} times the operating frequency.

At the end of May, the BIPM Josephson standard was taken to Braunschweig and compared with the PTB instrument. At the same time, the DFM standard, improved as a result of the January comparison at the BIPM, was also taken to the PTB and a second BIPM-DFM comparison was carried out.

In July, the LCIE Josephson standard was brought to the BIPM and compared with the BIPM instrument. The results of indirect measurements were abnormally scattered, without any clear explanation, and so their statistical weight in the final result is insignificant.

The overall results of these comparisons are listed below, expressed as the difference between the values that would be attributed to a standard cell by the different instruments. The uncertainties are of type A only.

At the BIPM:

$$\begin{aligned}U_{\text{BIPM}(1)} - U_{\text{BIPM}(2)} &= 0,03 \text{ nV}, & \sigma &= 0,12 \text{ nV}. \\U_{\text{DFM}} - U_{\text{BIPM}} &= -0,7 \text{ nV}, & \sigma &= 0,3 \text{ nV}.\end{aligned}$$

At the PTB:

$$\begin{aligned}U_{\text{PTB}} - U_{\text{BIPM}} &= -0,1 \text{ nV}, & \sigma &= 0,1 \text{ nV}. \\U_{\text{DFM}} - U_{\text{BIPM}} &= 0,2 \text{ nV}, & \sigma &= 0,3 \text{ nV}.\end{aligned}$$

At the BIPM:

$$U_{\text{LCIE}} - U_{\text{BIPM}} = -0,1 \text{ nV}, \quad \sigma = 0,1 \text{ nV}.$$

For these measurements, the type-B uncertainties range from 0,3 nV to about 0,8 nV and it is satisfying to see that the observed differences between the different devices are not statistically significant. Nevertheless, it is important to improve the ways laboratories use Josephson-array devices ; many still measure Zener-diode based standards which greatly increase the uncertainties.

Comparisons with other national laboratories are planned to take place before the end of 1991.

5.2.2. Progress in the measurement of Zener-diode based electronic standards

We have thermoregulated the chassis containing the 1,018 V to 10 V comparator. The ratio of the comparator is now reproducible to within a few parts in 10^9 .

In order to ameliorate the reproducibility of the measurements, we recently started a systematic study of differences in the measurement results arising from alternative ways of supplying power to the instruments and of connecting the guard and ground.

5.2.3. Progress in the measurement of bare standard cells

Improvements in the calibration in ITS-90 of the platinum resistance thermometer used to measure the temperature (20 °C) of the BIPM thermoregulated enclosure for bare cells have resulted in a reduction of the uncertainty to 0,5 mK.

5.3. Electrical resistance

5.3.1. Quantum Hall effect (F. Delahaye)

This year a new method of measurement of the QHR was developed at the BIPM. It consists of operating the cryogenic current comparator (CCC) bridge with low-frequency ac instead of dc. The advantage of this is a significant improvement in the signal-to-noise ratio of our measurements, as the use of ac makes the bridge insensitive to drift and to low-frequency $1/f$ noise. We found that the frequency range from 1 Hz to 4 Hz was adequate for these ac measurements: such frequencies are sufficiently high to be outside the $1/f$ noise region but low enough to maintain the accuracy of the CCC bridge. We carried out resistance-ratio measurements between the QHR and a $100\ \Omega$ resistance standard at dc, 1 Hz, 2 Hz and 4 Hz [5]. These measurements are, to our knowledge, the first accurate ac measurements of the QHR. They demonstrate that the quantization of the Hall resistance, observed with ac, and in the frequency range studied here, remains complete to within a few parts in 10^9 .

We think that this new method is advantageous for routine measurements of resistance standards. Consequently we initiated a development programme which aims to provide low-frequency ac calibration of $1\ \Omega$ and $10\ 000\ \Omega$ standards in terms of the QHR. In consequence we have built a double ac source which delivers up to 70 mA and is adequate for calibration of $1\ \Omega$ standards. Also we studied the possibility of replacing the CCC coil and its associated null indicator (a SQUID magnetometer) with a current comparator made of a coil wound on a ferromagnetic core and operating at room temperature. The idea is that the ratio defined by such a coil could be calibrated using the CCC and would probably be stable enough for use over an extended period of time without recalibration. Such a device, which is easy to transport and operate, could also be used for comparisons between laboratories. To define a 1 to 1 ratio we wound a coil on a magnetic core connected to a low-noise ac preamplifier, and successfully operated it at 10 Hz. We found that the level of noise obtained with this room temperature technique is comparable with that obtained with the SQUID. This encourages us to continue work in this direction and, in particular, to build coils with different ratios.

Following our joint order with the LCIE for their supply by the LEP, a relatively large number of GaAs based heterostructures is now available. This year we distributed them among those laboratories who ordered them through the BIPM (it was agreed between LCIE and BIPM that LCIE will distribute the samples to laboratories participating in EUROMET and BIPM to other laboratories). We are now able to

supply unmounted samples in lots of 5 or 10, and samples mounted in TO8 headers in smaller quantities. Mounting can now be done at the BIPM using a thermosonic bonding machine acquired and put into service this year.

5.3.2. The 1990 international comparison of 1 Ω and 10 k Ω standards

Eighteen national laboratories participated in the 1990 international comparison of 1 Ω and 10 k Ω standards. They sent forty-eight 1 Ω and forty-one 10 k Ω travelling standards to the BIPM. Measurements were made, at the BIPM, from 24 September 1990 to 25 November 1990, the mean date of the comparison being 25 October 1990. During this time each travelling standard was measured at least five times with respect to the BIPM reference standards. Our references were themselves measured with respect to a QHR immediately before and after the comparison. We have now received the return measurements from the participating laboratories and have informed them individually of our results. The final report is being prepared. The results will be reasonably good, with agreement at the level of a few parts in 10^8 for a majority of the laboratories claiming uncertainties of this level. We found that travelling effects on the standards were still a limiting factor. From this point of view, the best results are probably those obtained with 10 k Ω standards of type SR 104.

5.4. Studies of applications of high- T_c superconductors in metrology

Recent reports indicate that the magnetic shielding provided by a $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}/\text{Ag}$ composite material may be of interest for certain critical applications in electrical metrology. This material is particularly attractive because it is machinable and is available in finished form from a commercial research laboratory. A test arrangement has been set up and used to evaluate a sample in the form of a closed tube big enough to shield a commercial, low- T_c , rf SQUID. Results from this study should be available shortly.

This year several constriction-type Josephson weak-link devices have been fabricated at the BIPM from $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}/\text{Ag}$ composites. Although the composite material is much easier to form than pure $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, Josephson devices made from it are of limited interest because the normal state conductance is high, making them difficult to couple to an rf field.

Several recent technical innovations have been developed in this work. Silver diffusion contacts now replace the less-reliable indium contacts to evaporated gold pads on $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ samples. The new

method allows leads to be soldered to $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ samples with ordinary solder. With the aid of the BIPM workshop, an acid string saw has been designed, built and successfully used to prepare Josephson devices. The shop has also built an improved hand press for preparation of the blanks from which samples are prepared.

5.5. Automated measurement systems

Over the last ten years a considerable number of routine or tedious measurements in the electricity section have been automated using Hewlett-Packard 80 series computers. As these computers are no longer manufactured, service and spare parts will be increasingly difficult to obtain so new equipment of higher performance has been chosen to replace them. The section has now acquired five low-cost PC compatible computers for use with the HT Basic language and IEEE 488 bus to control measurements and acquire data for newly automated systems. The old computers will be phased out over a period of several years.

5.6. Comparisons and routine calibrations

This year, routine calibrations were carried out on the following systems: thermoregulated enclosure for Iraq; bare cells for Hungary and Austria; Zener diode standards at 1,018 V and 10 V for Belgium, Brazil, Portugal and Israel; 1 Ω resistors for Bulgaria, Belgium, Austria, Portugal, Czechoslovakia and Hungary; 100 Ω resistors for Belgium; and 10 k Ω resistors for Bulgaria, Belgium, Austria, Portugal, and Czechoslovakia.

5.7. Publications, lectures, travel: Electricity section

5.7.1. External publications

1. WITT T. J., REYMANN D., AVRONS D., An Accurate 10-k Ω Resistance Measurement System, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1991, **IM-40**, 271-273.
2. REYMANN D., A Practical Device for 1-nV Accuracy Measurements with Josephson Arrays, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1991, **IM-40**, 309-311.
3. REYMANN D., HOULTOUG J. U., JENSEN H. D., Comparisons of One-Volt Josephson-Array Voltage Standards with Sub-Nanovolt Accuracy, *Metrologia*, 1991, **28**, 99-102.

4. DELAHAYE F., BOURNAUD D., Low-Noise Measurements of the Quantized Hall Resistance using an Improved Cryogenic Current Comparator Bridge, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1991, **IM-40**, 237-240.
5. DELAHAYE F., An ac Bridge for Low-Frequency Measurements of the Quantized Hall Resistance. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1991, **IM-40**, 883-888.
6. DELAHAYE F., L'effet Hall quantique : un procédé pour la réalisation d'une représentation de l'ohm, *Revue Générale de l'Électricité*, 1990, **10**, 21-24.
7. BELLON M., DELAHAYE F., GENEVÈS G., LEFÈVRE J. P., Calcul de la correction d'entrefer d'un électromètre de type Kelvin utilisé pour la détermination directe du volt, *Bulletin du BNM*, 1990, **81**, 15-24.

5.7.2. Lectures and presentations

F. Delahaye attended the 6th EUROMET meeting of experts on the quantum Hall effect (IEN Turin, 29-30 April 1991) where he presented an account of the activities of the BIPM in this field.

5.7.3. Travel (committees, visits to laboratories and institutions)

F. Delahaye visited: Lisbon (Portugal), 1-3 October 1990 and Stockholm (Sweden), 16-19 April 1991 for meetings of the IEC Working Group on the vocabulary of general concepts in Electrotechnology.

T. J. Witt and D. Reymann visited: Braunschweig (Germany), 26-31 May 1991, for a comparison of Josephson arrays, visits and discussion with colleagues at the PTB on voltage and resistance metrology, Josephson arrays and high- T_c superconductivity.

T. J. Witt visited the School of Applied and Engineering Physics, Cornell University, Ithaca, New York (USA), 20 August 1991 for discussions on the Josephson effect in thin film high- T_c superconductors.

5.8. Activities related to external organizations

F. Delahaye is a member of the IEC Working Group on General Concepts in Electrotechnology.

5.9. Visitors to the Electricity section

5.9.1. Guest workers

Mrs M. A. de Oliveira Coutinho (INMETRO, Rio de Janeiro, Brazil), 1-15 October 1990. Measurements of Zener diode voltage standards.

Dr H. D. Jensen and Mr J. U. Holtoug (DFM, Lyngby, Denmark), 28 January-1 February 1991. Comparison of Josephson array voltage standards.

Dr A. Lepek (INPL, Jerusalem, Israel), 15-23 April 1991. Measurements of Zener diode voltage standards and discussions of the quantum Hall and Josephson effects.

Mr J.-P. Lo-Hive (LCIE, Fontenay-aux-Roses, France), 15-18 July and 24 September 1991. Comparison of Josephson array voltage standards and tests of arrays.

5.9.2. Visitors

Mr Dai Runsheng (China secretariat, OIML) and Mrs Guo She Nan (Guangdong Scientific Institute of Metrology, People's Rep. of China), 11 October 1990.

Mr Pirée (IGM, Brussels, Belgium), 21 November 1990.

Mr L. Ribeiro (LNETI, Lisbon, Portugal), 10 December 1990.

Ms B. Johannessen (National Measurement Service, Oslo, Norway), 10 December 1990.

Dr P. Warnecke (PTB, Braunschweig, Germany), 11 December 1990.

Mr H. Witschi (OFM, Wabern, Switzerland), 11 December 1990.

Mr F. Piquemal (LCIE, Fontenay-aux-Roses, France), 13 December 1990.

Mr P. Boynton (NIST, Gaithersburg, USA), 20 December 1990.

Mr K. Birkeland (National Measurement Service, Oslo, Norway), 4 January 1991.

Mr I. Thorén (SP, Borås, Sweden), 8 January 1991.

Mr J. Nicolas (IGM, Brussels, Belgium), 15 January 1991.

Dr B. Kibble (NPL, Teddington, United Kingdom), 24 January 1991.

Mr La Paglia and Mr G. Boella (IEN, Turin, Italy), 30 January 1991.

Dr A. Ploshinsky (VNIIM, Leningrad, USSR), 30 January-2 February 1991.

Mr G. Slanar (BEV, Vienna, Austria), 15 March 1991.

Mr B. Dragos (INM, Bucharest, Romania), 2 April 1991.

Mr A. Mezes (OMH, Budapest, Hungary), 19 April 1991.

Dr G. Genevès and Mr J. P. Lo-Hive (LCIE, Fontenay-aux-Roses, France), 17 May 1991.

Dr S. Hashimoto (Oita-AIST Joint Research Institute, Tokyo, Japan), 10 June 1991.

Dr E. T. Frantsuz (VNIIM, Leningrad, USSR), 16 September 1991.

Dr A. Shenhar (INPL, Jerusalem, Israel), 16 September 1991.

6. Radiometry, photometry, thermometry (J. Bonhoure)

6.1. Radiometry (R. Köhler)

During the CCPR meeting in September 1990 it was decided that an international comparison of the spectral responsivity of silicon photodiodes should be performed. The BIPM will act as the pilot laboratory for this comparison.

The comparison will be done at regularly spaced wavelengths in the range from 250 nm to 1 000 nm, and will require a tuneable source of light over this range. In parallel with the existing experimental arrangement for laser based spectral responsivity measurements, a broad band source has been developed and tested in the radiometry laboratory. It uses either a quartz tungsten halogen lamp or a Hg arc lamp illuminating a double grating monochromator using appropriate optics.

The system is able to produce monochromatic light with a bandwidth of approximately 4 nm in the range 250 nm to approximately 1 000 nm. The power level at the detector position is between 20 μW and 300 μW , depending on the wavelength and the source/grating combination used.

A pyroelectric sensor has been purchased for use as a spectrally flat detector, a necessity for measurements of this type. Comparisons of detectors carried out with the laser-based and monochromator-based set-ups agree to better than 1 part in 10^3 . The repeatability of measurements with a single method are of the order of a few parts in 10^4 .

A series of measurements, related to the problems of surface quality of the diodes and the effects of cleaning of these surfaces before calibration, has shown that the diode surface can adsorb water resulting in a modification of the reflectivity and hence the responsivity of the detectors. Changes of reflectivity as a function of air humidity have been shown experimentally. These results were supported by modelling of the surface properties.

Diffuse reflectivity from photodiode surfaces has been studied by several methods. The most consistent results have been obtained with a method based on a small integrating sphere. Results show that the diffuse reflectivity can vary from 1 to 30 parts in 10^4 depending on the type of photodiode and its history of use.

To characterize photodiodes more precisely the temperature coefficient and the shunt resistance have been measured for a number of photodiodes.

Computer modelling of the self-calibration method has continued and a series of experiments has allowed measurement of the parameters needed for a better model.

Calculations and measurements have been performed as part of a study of diffraction at circular apertures. Although in principle well-known, there is some interest in confirming the calculated effects with smaller uncertainties, especially for broad band radiation (white light). Applications lie in space-based cryogenic radiometers for earth radiation-budget experiments.

These measurements have been carried out using the integrating sphere of the photometry laboratory as a uniform source. Diffracting elements were straight edges, circular and rectangular apertures. The measurements agree well with the theoretical predictions to within about 1 part in 10^3 . This precision however, is not sufficient for the above requirements and a new improved experiment will have to be designed if smaller uncertainties are to be achieved.

6.2. Photometry

Following an instruction of the CCPR about the supply of standard lamps of good quality, a series of measurements concerning the repeatability of the output of Russian and Chinese lamps has begun at the BIPM. We hope to have results by the end of 1991. With regard to the manufacture of a photometric lamp by a French company (*see* Report 1990, p. 135), no artefact is still available.

6.3. Thermometry (J. Bonhoure)

A study is under way to check the long-term stability of the triple point of water cells. Sudden changes of temperature have been observed (up to several tenths of a mK) a possible explanation being the release of strain within the ice. It is necessary to determine whether the method which is used to prepare the mantles of ice is the source of strain.

Other measurements were made to check the thermometer resistance variation (and hence the temperature) as a function of depth of immersion for the sensor in the well of the cell for a triple point of water cell and for a melting point of gallium cell.

6.4. Routine work

Lamps providing standards of luminous flux were calibrated for the national laboratory of Romania.

6.5. Publications, lectures, travel : Radiometry, photometry, thermometry section

6.5.1. External publications

1. KÖHLER R., GOEBEL R., PELLO R., BONHOURE J., Effects of Humidity and Cleaning on the Sensitivity of Si Photodiodes, *Metrologia*, 1991, **28**, 211-215.
2. GEIST J., CHANDLER-HOROWITZ D., KÖHLER R., ROBINSON A. M., JAMES C. R., Numerical Modeling of Short-Wavelength Internal Quantum Efficiency, *Metrologia*, 1991, **28**, 193-196.
3. GEIST J., KÖHLER R., GOEBEL R., ROBINSON A. M., JAMES C. R., Numerical Modeling of Silicon Photodiodes for High Accuracy Applications, Part II, Interpreting Oxide-Bias Experiments, *NIST Journal of Research*, 1991, **96**, 471-479.
4. QUINN T. J., A blackbody source in the range $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$ for the calibration of radiometers and radiation thermometers, *Applied Optics*, 1991, **30**, 4486-4488.
5. QUINN T. J., MARTIN J. E., Cryogenic radiometry: the problem of hydrogen condensation in detectors operated at temperatures below 4 K, *Applied Optics*, 1991, **30**, 2065-2067.
6. QUINN T. J., MARTIN J. E., Cryogenic Radiometry, Prospects for Future Improvements in Accuracy, *Metrologia*, 1991, **28**, 155-161.

6.5.2. BIPM Report

BONHOURE J., PELLO R., La thermométrie au BIPM en 1990, *Rapport BIPM-90/7*, October 1990, 6 pages.

6.5.3. Travel (committees, visits to laboratories and institutions)

J. Bonhoure visited Melbourne and Sydney (Australia), 3-12 July 1991 for the 22nd session of the International Commission on Illumination and a visit to the CSIRO, Division of Applied Physics.

6.6. Activities related to external organizations

J. Bonhoure acts as the expert for French language of the Technical Committee 7.06 « Lighting terminology » of the International Commission on Illumination.

6.7. Visitors to the Radiometry, photometry, thermometry section

Mr F. Miserey (CNAM, Paris, France), 5 January 1991, for discussions about the physical properties of silicon dioxide surfaces.

Dr J. Geist (NIST, Gaithersburg, USA), 25-28 September 1990, to continue the cooperation on the modelling of photodiodes.

Dr J. Clare (DSIR, Lower Hutt, New Zealand), 1 October 1990.

Mrs F. Vrabie Ionescu (INM, Bucharest, Romania), 11-19 December 1990 to collect informations about radiometry.

Mrs Haulie (CSIR, Pretoria, South Africa), 24 September 1990.

7. Ionizing Radiations (J. W. Müller)

The organization and analysis of international comparisons continues to be an efficient means of ensuring worldwide uniformity in the measurement of ionizing radiations. In addition, notable progress has been achieved in such fields as dosimetry, both by the use of the scaling theorem and by calorimetry, and in counting statistics, by a feasibility test of the new parity method. In response to a widespread request from participants the SIR system is being extended to α and β emitting radionuclides by liquid scintillation techniques, the task being implemented at the BIPM.

7.1. Dosimetry (M. Boutillon and V. D. Huynh)

7.1.1. ^{60}Co gamma rays and X rays (M. Boutillon and A.-M. Perroche)

i) *Absorbed dose to water* (^{60}Co)

— *Ionometric determination*

Ionization measurements of absorbed dose to water have been performed at the reference depth of 5 g cm^{-2} over a period of two years: each daily determination is based on the mean of about 60 measurements of the ionization current with a relative standard deviation of a few parts in 10^5 . The results show good stability, but a small drift of about 0,05 % per year is not fully explained. The absorbed dose rate at the reference position is determined with an overall uncertainty of 0,3 %. Measurements have also been performed at depths ranging from 3 g cm^{-2} to 17 g cm^{-2} . The uncertainty increases with depth because the calculated perturbation correction factor is less

accurately known at large depths and because the stability of the measurements is lower.

As a check, the ionometric value of absorbed dose to water was compared with those obtained previously from the absorbed dose to graphite or from the air kerma by calculation. The agreement is better than 0,3 %. One should note, however, that the check is incomplete since some factors enter in all measurements of the comparison (for instance ratios of water to graphite stopping powers and of mass-absorption coefficients).

Comparisons with the experimental methods used at the NPL, the PTB and the NRC, all of which have uncorrelated uncertainties, show an agreement of order of 1 %, which is compatible with the uncertainties estimated by the individual laboratories.

— *Scaling theorem*

The BIPM has completed an indirect measurement of absorbed dose to water by the so-called scaling-theorem method. This method, which is based on the ionometric measurement of absorbed dose to graphite, has the advantage of requiring very small corrections. The results are in good agreement with those of the ionometric method.

— *Calorimetry*

The preliminary work on water calorimetry has started. A Wheatstone bridge has been constructed which incorporates an electronic system for compensating water temperature. The thermistor used to measure the absorbed dose is carefully positioned between two thin foils of polyethylene and located on the beam axis at a depth of 5 g cm^{-2} in water. Its electrical isolation has been confirmed. For calibrations, performed with a platinum thermometer, the thermistor is kept inside the water phantom under the same conditions used for absorbed dose measurements, so ensuring identity of heat flow.

ii) *Air kerma measurement*

The activity of the source used since 1968 for the absolute measurement of air kerma is now very weak (0,8 TBq) and, as a consequence, the present reproducibility of the measurements is too low for use. For this reason the air kerma standard has been set up in the beam of the 170 TBq ^{60}Co source and the correction factors which must be applied to the standard, due to the difference in the source spectrum, have been redetermined. To check three Shonka chambers were calibrated in the same conditions and their calibration factor was found to differ from the previous value by 0,1 %, a difference which is compatible with the estimated uncertainties.

iii) *Comparisons and calibrations*

A second comparison of air kerma standards between the NIST and the BIPM has been performed using medium-energy X rays. The results agree fairly well with those of the first comparison in 1975.

Ionization chambers used as secondary standards have been calibrated in terms of air kerma (and of absorbed dose to water for two of them) for the following laboratories (*see* Table 7.1) :

- International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, Austria,
- Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), Madrid, Spain,
- Statens Institutt for Strålehygiene (NSIS), Østerås, Norway,
- Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakości (PKNM), Warsaw, Poland.

The ionization chambers of the CIEMAT and the NSIS are periodically calibrated at the BIPM in terms of air kerma and the calibration factors do not vary significantly.

An irradiation of thermoluminescent dosimeters (2 Gy) has been performed for the IAEA in the BIPM water phantom.

TABLE 7.1
Calibrations performed at BIPM in 1991

	Air Kerma	⁶⁰ Co	Absorbed dose
X rays		γ radiation	to water
10-50 kV	100-250 kV		⁶⁰ Co γ radiation
	IAEA	IAEA	IAEA
	CIEMAT	CIEMAT	
NSIS	NSIS	NSIS	NSIS
		PKNM	

7.1.2. Neutron measurements (V. D. Huynh)

In view of the interest expressed by the CCEMRI Section III in the measurement and calculation of the spectra of neutrons from the BIPM (d+D) and (d+T) neutron fields, a NE 213 liquid scintillation detector (5,08 cm in both height and diameter), equipped with a pulse-shape discriminator to separate the neutron and gamma-ray pulses, has been studied at the BIPM. The project, which started in 1990 with the 14,65 MeV neutron field (*see* Director's Report, 1990), has been completed by a similar study in the 2,50 MeV neutron field. It should be recalled that the investigation consisted first in checking that the measurement system functions correctly as a whole and second in providing an efficient separation of the neutron and gamma-ray pulses, so showing the pure neutron pulse-height spectra. As an example, a spectrum showing the time separation of the neutron and gamma-ray pulses in the 2,50 MeV neutron field is shown in figure 7.1.

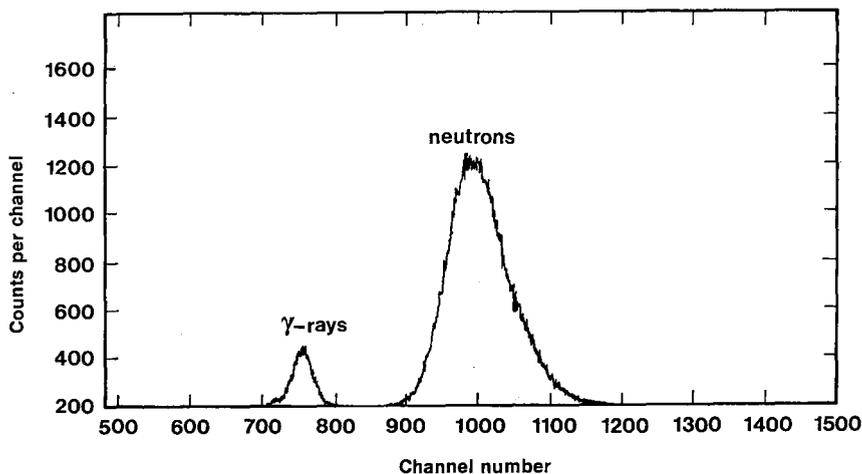


Fig. 7.1. — Time separation of the neutron and γ -ray pulses obtained in the 2,50 MeV neutron field.

In our experimental conditions, the detection efficiency of the scintillator, ε_{LS} , has been determined by using the coincidences which exist between the neutrons from the NE 213 scintillator and the associated particles from the silicon detector. In addition, from knowledge of the measurement efficiency, the fluence measured by the NE 213 scintillator and that measured absolutely by the associated particle method can be compared. These measurements show values of 33,6 % and 25,1 % for ε_{LS} for thresholds corresponding to electron energies of 100 keV and 240 keV, respectively, and agreement between the fluences determined by the two detectors to within the uncertainties of the measurements.

7.2. Radionuclides (J. W. Müller)

7.2.1. Activity measurements (G. Ratel)

i) Trial comparison of ^{75}Se activity measurements

The results of the trial comparison of ^{75}Se which took place in 1989 gave evidence of some problems with the BIPM measurements. We recall that extrapolation of the count rate to an efficiency of 1 is necessary when applying the coincidence method. In our work this was done by varying the pressure in the proportional counter between 0,4 MPa and 1,5 MPa. A window in the β channel allowed us to select events in the peak at about 10 keV, figure 7.2. Unfortunately, in doing this the ratio of delayed to undelayed events was changed, affecting thereby the extrapolation.

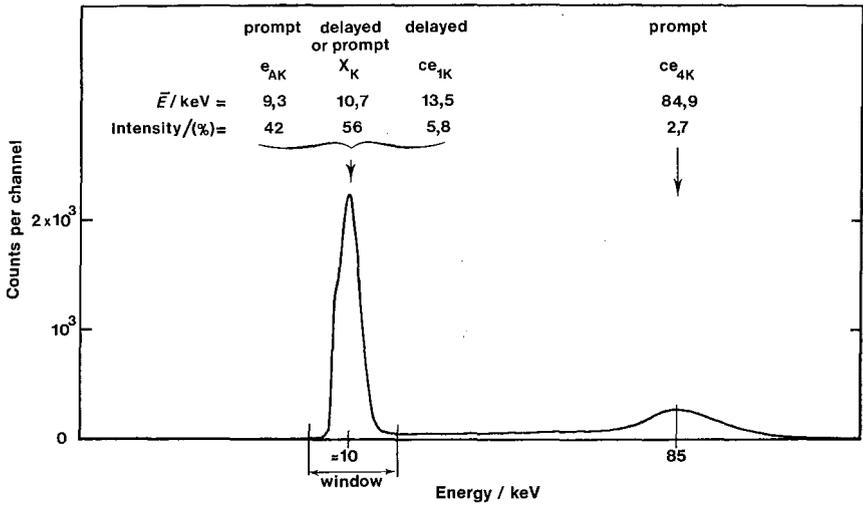


Fig. 7.2. — Spectrum of ^{75}Se obtained with the pressurized proportional counter. The nuclear data are taken from the LPRI tables.

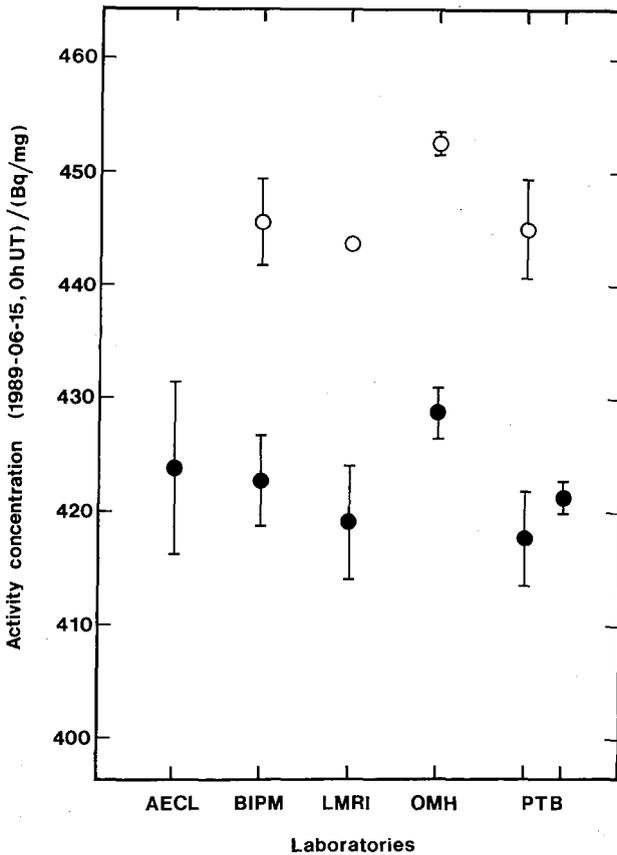


Fig. 7.3. — Results of the ^{75}Se trial comparison obtained before (○) and after (●) correction for delayed events.

We have now carried out additional measurements at a pressure of 0,8 MPa, varying the detection efficiency by energy discrimination. The new BIPM results, together with those of the other laboratories, are shown in figure 7.3. The corrections due to the delayed state have been made by the participants. After considering the satisfactory agreement reached in this trial comparison, Section II of CCEMRI decided to organize a full-scale comparison for ^{75}Se . Additional measurements of the fraction of delayed events are still desirable and would improve the overall accuracy.

ii) *International reference system for measuring the activity of gamma-ray emitting radionuclides (SIR)*

During the past year, twelve laboratories (AECL, BARC, CBNM, ENEA, IRD, LPRI, NIRH, NPL, OMH, PSPKR, PTB and UVVVR) have submitted 19 ampoules with 13 radionuclides (^{46}Sc , ^{56}Co , ^{57}Co , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{95}Nb , $^{99}\text{Tc}^m$, ^{111}In , ^{131}I , ^{133}Ba , ^{141}Ce , ^{154}Eu and ^{192}Ir) to the BIPM. This confirms the interest taken by the national laboratories in the SIR system. The results obtained so far for nuclides with short half-life ($^{99}\text{Tc}^m$, ^{131}I) are very satisfactory. Additional samples of short-lived nuclides, which are difficult to measure but are of vital importance for medical applications, would be welcome.

iii) *Extension of the SIR to β and α emitting radionuclides*

Several national laboratories have asked Section II to extend the SIR system to radionuclides which cannot be measured with an ionization chamber. After careful investigations, the Working Group for the extension of the SIR suggested that the BIPM use the liquid-scintillation method. A commercial device was purchased by the BIPM and preliminary measurements have been carried out. Because it is almost a pure beta emitter ($\sim 98\%$), a sample of ^{204}Tl , which had been already measured in the framework of the SIR, was chosen to test the system. The results of our measurements for the activity concentration of the solution were compared with those given by the LPRI and a good agreement was found (0,6 %).

As for the present SIR system it will be essential that all participating laboratories use the same type of vial and standardized chemical solutions «cocktails». For this purpose various models have been checked. Although, in general, the differences are small, some preferred types can be suggested for general use.

A comparison of pure β -particle emitting radionuclides (^3H , ^{14}C and ^{99}Tc), organized by the NIST, has been started among six laboratories (BIPM, CIEMAT, IEA, NAC, NIST and PTB). The aim is to check the stability of the solutions after dispatch. This comparison is not yet finished.

7.2.2. Counting statistics (J. W. Müller)

i) *The parity method*

The novel method which allows us to measure directly the count rate of true coincidences between beta and gamma pulses originating from the two-step decay of a radionuclide, has been successfully implemented. Notwithstanding persistent doubts among experts, it performs as anticipated. The accuracy is comparable with that obtained by the traditional coincidence method after correction for random coincidences.

The electronic realization required the construction of three basic units: two to record the parities in the beta and gamma channels and one to record their sum. As an odd parity produces an output pulse, the corresponding signal for the sum is obtained by anticoincidence.

Some specific problems have been met for which, since they are critical to the method, exact solutions had to be found. One of them concerns the accurate determination of the delay, t , which determines the measuring time. The solution finally adopted uses an independent oscillator, of frequency $\nu_1 < 1/t$, which ensures that there is at most one pulse within t . One can show that the delay t is then exactly given by

$$t = \frac{N_{\text{odd}}}{\nu_0 \nu_1},$$

where N_{odd} is the number of times the parity has been found to be odd, per second, and $\nu_0 \geq 1/t$ is the frequency of the parity checks. Careful measurements have shown that with this method t can be determined with a relative uncertainty of 10^{-5} in about 2 min.

ii) *Crossing points in a Poisson distribution*

It may be surprising that the Poisson distribution, which is certainly the statistical law most thoroughly studied, can still occasionally reveal new features. It is an empirical fact that for most practical applications the original Poisson law must be modified somewhat, usually to take into account particular experimental effects. In this case, the simple Poisson probability

$$P_\mu(k) = \frac{\mu^k}{k!} e^{-\mu}$$

for observing k events, when μ is the expectation value, has to be replaced by the observable distribution $W(k)$. For a small perturbation p , this can be written in the form

$$W(k) \cong P_{\bar{k}}(k)[1 + F(k, \bar{k})p],$$

where $P_{\bar{k}}(k)$ is the Poisson law, with the parameter μ replaced by the observed mean value \bar{k} , and $F(k, \bar{k})$ is a correction function. For three different forms of perturbation, namely dead-time distortion, variable detection efficiency and source decay during observation, the function $F(k, \bar{k})$ has been evaluated.

The surprising result is that, for all cases, the equation $F(k, \bar{k}) = 0$ admits the two solutions

$$k_{\pm} = \bar{k} + \frac{1}{2} \pm \sqrt{\bar{k} + \frac{1}{4}}$$

For these values of k the distributions W and P cross.

Since neither the causes for the distortion nor the deviations actually produced seem to have anything in common (the effect can be of first or of second order, and the deviation, in the vicinity of \bar{k} , may be positive or negative), the reason for the observed regularity in the position of the crossing points k_{\pm} must be sought in the Poisson law itself. Guided by an analogy with the normal distribution, we suspected that inversion points of the curve might be involved. Indeed, if we consider the condition

$$\frac{\partial^2 P_{\mu}(k)}{\partial \mu^2} = 0,$$

we are led to the quadratic equation

$$k^2 - (1 + 2\mu)k + \mu^2 = 0,$$

from which, upon replacing μ by \bar{k} , one obtains exactly the two solutions k_{+} and k_{-} given above. Once these crossing points are known, the presence of a suspected small distortion can be easily checked by a sign test, without making any assumption about its nature.

7.3. Publications, lectures, travel : Ionizing Radiations section

7.3.1. External publications

1. BOUTILLON M., Erratum : Gap correction for the calorimetric measurement of absorbed dose in graphite in a ^{60}Co beam, [*Phys. Med. Biol.*, 1989, **34**, 1809-1821], *Phys. Med. Biol.*, 1991, **36**, 566.
2. MÜLLER J. W., Generalized dead times, *Nucl. Instr. and Methods*, 1991, **A301**, 543-551.
3. MÜLLER J. W., How Can Small Distortions be Recognized in a Poisson Process?, *ICRU News*, 1991, **1**, 10-14.
4. MÜLLER J. W., Can philosophy be of any use in counting statistics? *Nucl. Instr. and Methods*, 1991, **A309**, 555.

7.3.2. BIPM Reports

5. MÜLLER J. W., Is there a shortcut for treating dead times in series ?, *Rapport BIPM-90/6*, November 1990, 16 pages.
6. MÜLLER J. W., Propagation of parities, *Working Party Note 233*, December 1990, 6 pages.
7. PERROCHE A.-M., GARDEL P., Comparison of the standards of absorbed dose to graphite of the IRA and the BIPM for ^{60}Co γ rays, *Rapport BIPM-90/9*, November 1990, 14 pages.
8. RATEL G., Trial comparison of activity measurements of a solution of ^{75}Se , *Rapport BIPM-90/8*, November 1990, 28 pages.

7.3.3. Travel (committees, visits to laboratories and institutions)

M. Boutillon visited :

— the PTB, Braunschweig (Germany), with D. Carnet and A.-M. Perroche, from 15-17 October 1990, and discussed the calorimetric determination of absorbed dose to water ;

— the LPRI, Saclay (France), with D. Carnet and A.-M. Perroche, on 22 November 1990 to discuss calorimetric measurements ;

— Elmau (Germany), 10-14 September 1990, and Aberdeen (United Kingdom), 19-23 August 1991, to participate in the meeting of the Main Commission of the ICRU.

J. W. Müller visited :

— The International Atomic Energy Agency, Vienna (Austria), 19-22 November 1990, as a member of the SSDL Scientific Committee.

— The Atominstitut der Österreichischen Universitäten, Vienna (Austria), 23 November 1990, where he gave an invited lecture entitled « Koinzidenzen ohne Koinzidenzen ».

— The CIEMAT, Madrid (Spain), where he attended the International Conference on Radionuclide Measurements, 27-31 May 1991, and presented a paper entitled « Can philosophy be of any use in counting statistics ? ».

— Aberdeen (United Kingdom), 17-23 August 1991, to participate in the meeting of the ICRU Committee on Quantities and Units, and in the meeting of the ICRU Main Commission as the BIPM representative.

G. Ratel visited :

— The PTB, Braunschweig (Germany), 25 November-1 December 1990, to discuss with Mr K. Walz some problems arising in the standardization of important and difficult radionuclides. He also discussed the liquid scintillation technique with Dr E. Günther and the correlation method with Dr H. Janssen.

— The LPRI, Saclay (France), with C. Colas, 13 December 1990, to discuss some problems related to the liquid scintillation technique with three photomultipliers ;

— The CIEMAT, Madrid (Spain), 27-31 May 1991, where he attended the International Conference on Radionuclide Measurements and presented a poster entitled « Trial comparison of the measurement of the activity of ^{75}Se ».

C. Colas attended a technical training course « Les mesures d'activité par scintillation liquide appliquées à la biologie » at the Institut National de Sciences et Techniques Nucléaires, Saclay (France), 15-19 October 1990.

7.4. Activities related to external organizations

J. W. Müller is a member of the Board of Editors of *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*. He is the BIPM representative at ICRU and Chairman of the ICRU Report Committee « Fundamentals of Particle Counting applied to Radioactivity Measurements ». He is also a member of the SSDL Scientific Committee for advising the IAEA as well as a member of the ISO Working Group of TAG 4 on the Expression of Uncertainties.

7.5. Visitors to the Ionizing Radiations section

7.5.1. Guest workers

Mme A.-M. Perroche (SCPRI, Le Vésinet) continues her participation in the work of the Ionizing Radiations section (Dosimetry) as she has since 1961.

Dr S. R. Domen (NIST, Gaithersburg, USA) stayed in the Ionizing Radiations Section from 27 February to 1 March 1991 for discussions on absorbed dose to water calorimetry.

Mr P. Bera (IAEA, Vienna, Austria) stayed at the BIPM 10-12 June 1991 to calibrate the ionization chamber of his laboratory in the medium-energy X rays and the ^{60}Co gamma radiation.

Mr A. Brosed (CIEMAT, Madrid, Spain) stayed at the BIPM 14-21 June 1991 for the calibration of two ionization chambers of his laboratory in the medium-energy X rays and ^{60}Co gamma radiation.

Mr H. Bjerke (NSIS, Østerås, Norway) came to the BIPM on 1 and 2 July 1991 for the calibration of the ionization chambers of his laboratory in the low — and medium — energy X rays and the ^{60}Co gamma radiation.

7.5.2. Visitors

Dr M. Sahagia (Institut de Physique Atomique, Bucharest, Romania), 11 October 1990.

Dr A. J. Wallard (NPL, Teddington, United Kingdom), 25 October 1990.

Dr Weigmann (CBNM, Geel, Belgium), 4 December 1990.

Mme F. Vrabie Ionescu (INM, Bucharest, Romania), 12-13 December 1990.

Dr S. Guldbakke (PTB, Braunschweig, Germany), 27 February 1991.

Mr S. M. Jerome (NPL, Teddington, United Kingdom), 22 March 1991.

Dr E. Günther (PTB, Braunschweig, Germany), 29 April 1991, for discussions on the extension of the SIR.

Dr W. Richter (PTB, Braunschweig, Germany), 29 April 1991.

Dr D. M. Gilliam (NIST, Gaithersburg, USA) and Dr N. Takata (ETL, Tsukuba, Japan), 23 May 1991.

Dr T. Genka (Japan Atomic Energy Research Institute, Tsukuba, Japan), Drs C. Mori and H. Miyahara (Dept. of Nuclear Engineering, Nagoya University, Nagoya, Japan), 5 June 1991.

IV. — PUBLICATIONS OF THE BIPM

1. General publications

Since July 1990 the following have been published :

Procès-Verbaux des séances du Comité International des Poids et Mesures, Tome **58**, 79th meeting, September 1990, 159 pages.

Comité Consultatif des Unités, 10th meeting, 1990, 54 pages.

Comité Consultatif de Thermométrie, 17th meeting, 1989, 79 pages.

Le Système International d'Unités (SI), 6th edition, 1991, 118 pages.

Annual Report of the BIPM time section, Vol. 3, 1990, 131 pages.

Circular T (monthly), 4 pages.

2. Metrologia (D. A. Blackburn)

In December 1990 the last issue of *Metrologia* to be published by Springer-Verlag was distributed ; the first issue published by the BIPM was distributed in March 1991.

The new *Metrologia* differs superficially from the old. The cover is new, the typeface has been changed and the layout of articles is a little different. Older readers, however, will notice that the colour of the new cover is close to that used for the original volumes published in the period 1965-1975, and the front title retains the typeface used without change since volume 1. This choice is deliberate; the combination of innovation with respect for older forms characterizes the way *Metrologia* is managed. Underlying the overt changes of style, editorial policy is fixed. The journal remains a primary vehicle through which the metrological community communicates progress in fundamental scientific measurements, reports original experiments and disseminates the decisions of the CIPM.

In 1990, 32 articles were published, the principal topics being *thermometry* (9) and *mass* (9). In the year 1 January to 31 December 1990, 45 manuscripts were submitted for publication. Of these, 28 were published, 8 were refused publication, and 9 remain under consideration. From 1 January to 31 May 1991, 17 articles were submitted. At 31 May 1991, 5 of them had been accepted for publication, 1 had been refused and 11 remain under consideration. In addition to the four regular research issues of *Metrologia*, preparations are in hand for production of the first conference issue and the first review issue. The conference issue will record the proceedings of the meeting held in Davos, Switzerland, 20-22 September 1990, on « New Developments and Advances in Optical Radiometry III »; the review issue will concern recent work in *nanometrology*.

With effect from 1 April 1991, Mrs Caroline Lawrence joined the editorial office as Editorial Assistant. Her appointment reflects the increased activity of the office now that six issues are produced annually and the BIPM takes responsibility for publishing, as opposed to merely editing, *Metrologia*.

3. External publications

A detailed list of external publications is given in the entry for each section.

V. — MEETINGS AND LECTURES AT THE BIPM

1. Meetings

The CCEMRI met from 21 to 24 May 1991.

The CCM met on 30 and 31 May 1991.

The CIPM met from 26 September to 2 October 1991.

The CGPM met from 30 September to 3 October 1991.

2. Lectures

The following lectures were given at the BIPM as part of the regular schedule of seminars.

D. Ruelle (Institut des Hautes Études, Gif-sur-Yvette) : Le chaos déterministe : science et fiction, 9 October 1990.

R. Felder : À propos de mon stage au JILA, 14 November 1990.

R. S. Davis : The search for anomalous weight reduction in a rotating piston gauge — another null result, 12 December 1990.

B. Cagnac (Université P. et M. Curie, Paris) : Revue des différentes méthodes permettant la spectrométrie à très haute résolution sans effet Doppler, 16 January 1991.

E. R. Williams (NPL, United Kingdom) : An electronic kilogram ; reinventing the wheel, 23 January 1991.

F. Biraben (Université P. et M. Curie, Paris) : Spectroscopie multiphotonique dans l'hydrogène et mesure de la constante de Rydberg, 13 February 1991.

S. R. Domen (NIST, USA) : A high-purity water calorimeter, 27 February 1991.

C. Thomas : Exactitude des comparaisons de temps par le Global Positioning System, 27 March 1991.

A. Michaud : Le maser à rubidium, 10 April 1991.

R. Vatin (Laboratoire Primaire des Rayonnements Ionisants, CENS, Saclay) : Mesures absolues d'activité β à l'aide de scintillateurs liquides, 14 May 1991.

VI. — CERTIFICATES AND NOTES OF STUDY

In the period from 1 October to 30 September 1991, 47 Certificates and 2 Notes of study were delivered.

For a list of Certificates and Notes, *see* page 82.

VII. — ACCOUNTS

Details of the accounts for 1990 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 85-89.

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

Two additional tables detail the payments made against budget in 1990 and the balance of accounts at 31 December 1990. This is done under the headings :

DÉTAIL DES DÉPENSES BUDGÉTAIRES	STATEMENT OF BUDGETARY EXPENDITURE
Bilan au 31 Décembre 1990	Balance at 31 December 1990

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.

REPORT
OF THE *AD HOC* WORKING GROUP
ON METROLOGY IN CHEMISTRY

The meeting of the *ad hoc* Working Group on Chemical and Physico-Chemical Measurements was held at the NIST, 4-5 June 1991.

The meeting of the *ad hoc* Working Group (AHWG) on Chemical and Physico-Chemical Measurements was called to order by Dr John Lyons, and introductions of the members and their technical representatives were made*.

Dr Lyons began by asking Dr Quinn to provide a historical context to the issue of uniformity and traceability of chemical and physico-chemical measurements and the background of the BIPM.

Dr Quinn stated that the need for compatibility of measurements for the international trading of goods was a driving force behind the Convention du Mètre and the establishment of the CIPM and the BIPM. The role of the BIPM has over the years expanded from the conservation of the kilogram and the metre to include other SI quantities and units of radiation through the involvement with national standards laboratories of the member states.

Dr Quinn referred to the discussion on worldwide coordination of chemical and physico-chemical measurements that took place at the CIPM in 1990 (see *BIPM Proc.-Verb. Com. Int. Poids et Mesures*, 1990, 58, 98-100), which presents the rationale for the formation of this *ad hoc* Working Group. He added that the network for traceability of physical measurement does not exist for chemical measurements: the AHWG had to reflect on the points raised.

With this background, Dr Lyons read the charge to the *ad hoc* Working Group on Chemical and Physico-chemical Measurements: « To advise the CIPM on whether or not the BIPM should have a significant role in addressing the problem of providing uniformity and traceability in chemical and physico-chemical measurements ».

* Attending: Messrs. J. W. LYONS, Chairman (NIST), P. B. CLAPHAM (NPL), H. S. HERTZ (NIST), M. KUBOTA (National Chemical Laboratory for Industry - Kagaku Gijutsu Kenkyusho), A. MARSCHAL (LNE), K. N. MARSH (Thermodynamics Research Center - Texas A & M University), T. J. QUINN (BIPM), W. RICHTER (PTB), G. SINNOTT (NIST).

After the opening statements made by members of the AHWG a discussion took place encompassing the following :

- an assessment of the nature and scope of the problem of traceability of chemical and physico-chemical measurements ;
- an examination of which international body should address the problem ;
- a proposed approach for working toward a solution to the problem.

The content of each of these points is summarized in the following sections.

Nature and scope of the problem

The AHWG discussed the fact that there are real and present impediments to international trade caused by lack of international coordination, uniformity and traceability for chemical and physico-chemical measurements. Global environmental assessment studies depend on reliable, accurate data obtained by researchers around the world, and such reliability depends on the compatibility of the measurements which comprise the data for global modelling. These issues can be compounded by regulatory specifications placed on both the chemical content of internationally traded goods and the limits imposed by environmental, health or safety concerns. The structure which CIPM and the BIPM have in place for physical measurement traceability, does not exist for chemical measurements.

The AHWG felt that the largest portion of the chemical measurement traceability problem lies with quantitative measurements for chemical composition and, as such, the AHWG agreed to limit its discussion to quantitative analysis when referring to the problem of chemical measurement traceability. The AHWG noted that physico-chemical properties of materials such as density, and vapor pressure are already the subjects of concern to the BIPM. The AHWG agreed that the relevant CIPM consultative committees, including any new chemical metrology committee that may be formed, would be the proper forum for considering whether or not to extend this activity to other physico-chemical measurements.

Comparability of quantitative chemical measurements is characterized by the great variety of substances to be analyzed and the attendant complexity of the chemical measurement methods to be performed. To deal with this problem, a number of national closed systems of chemical measurement traceability have been developed. Within these systems, combinations of reference materials, reference or validated chemical analysis methods, and, in some cases, structures for laboratory conformity assessment have been put in place to ensure the quality and traceability of chemical measurements. Examples of such chemical measurement

traceability networks were provided by Dr Hertz. What is needed is a high-level body to provide the link among these closed systems and so establish mutual acceptance and comparability of chemical measurements.

Is the BIPM the best body to address the problem?

The AHWG considered which of the existing international standards bodies could serve as the link among national systems of chemical measurement traceability. It was recognized that a necessary element of such a link is a science-based laboratory measurement programme. The OIML, IUPAC, ISO-REMCO, and the BIPM were among the organizations discussed as possible bodies to serve in this role. The following points were made:

— OIML was formed to deal specifically with issues of legal metrology, but is not in a position to contribute to the underlying science.

— IUPAC is active in the realization of atomic weights and the development of internationally recognized symbols and terminology as applied to physico-chemical measurements. IUPAC also has a number of commissions and subcommittees active in the area of chemical analysis in general and the development of specific reference standards and standard methods. In particular, the IUPAC Physical Chemistry Subcommittee on Reference Materials in Chemistry has the responsibility for keeping IUPAC divisions and committees abreast of developments in reference materials and standards at the national metrology laboratories. IUPAC, however, is not a body linked closely with standards laboratories for the purpose of organizing interlaboratory comparisons among these laboratories, nor is it a body capable of drawing up and conducting its own programme of experimental work to develop reference analytical methods. The work of IUPAC is done primarily through voluntary contributions.

— ISO-REMCO generates criteria documents, but has no direct science-based activities.

— BIPM was thought to be the best organization to undertake the key programme of scientific work needed to provide the basis for traceability of chemical measurements. BIPM's work would be properly related to realization of the mole, and should be limited to exclude activities presently covered by the various national traceability systems of measurement. It is important that BIPM's role be strictly limited to work on key activities related to reference methods and reference materials. This point is elaborated in the next section.

The AHWG recognized that the issue of conformity assessment is an important one that is probably better addressed by ILAC.

Possible programme for BIPM

The AHWG agreed that the programme should be limited to quantitative chemical analysis. The AHWG recognized that among all the chemical analyses actually carried out, the number of different methods does not exceed fifteen or twenty. Of these methods, only a select few need be considered as reference methods. Reference methods are defined to have the following qualities :

- inaccuracies and imprecisions are proven to be relatively small ;
- there is a low incidence of susceptibility to known interferences ;
- such interferences have been sufficiently studied and documented so as to allow the method to be applied with confidence ;
- the function of such methods is to evaluate the accuracy of other methods and to assign reference values to certified reference materials.

The AHWG identified isotope dilution mass spectrometry (IDMS), gravimetry, titrimetry, and coulometry as reference methods of chemical analysis.

The AHWG established the key hypothesis that a coordinated international programme would involve only one or two of these reference methods. Such methods would have a wide range of practical applications, but for the international programme these key reference methods would be applied to only a selected set of reference materials. Participating laboratories would then be able to extend the international traceability gained by such a programme to their own traceability systems using a wider range of methods and reference materials.

It was agreed that there should be a hierarchy of reference material classification representing the most straightforward to the more complex chemical analysis situation. That hierarchy consists of the following :

1. Impurities in a pure gas (e.g. CO₂) ;
2. Inorganic elements in a simple solution (e.g. heavy metals in water) ;
3. Organic compounds in a simple solution ;
4. Inorganic elements in a complex matrix ;
5. Organic compounds in a complex matrix.

The BIPM might propose an international comparison involving the analysis of one or two key reference materials from the first or second classification using a reference method such as IDMS. Such a programme should examine the validity of the hypothesis outlined above with the participation of the BIPM and the national laboratories. The AHWG

agreed that the prospects for a long term BIPM role depend on the need for scientific laboratory work to support selected reference methods such as IDMS and a few key reference materials.

These discussions were summarized and an agreement as to recommendations to the CIPM was reached. These findings are contained in the following conclusions and recommendations.

Conclusions and recommendations

The *ad hoc* Working Group has concluded that there is a lack of internationally recognized compatibility among national systems of chemical metrology and that this lack impedes international trade and progress on international cooperation in addressing, *inter alia*, environmental, and health problems. The *ad hoc* Working Group considers that a significant contribution to improving such international compatibility could be made by the coordination of international work among responsible national laboratories on a small number of identifiable reference methods and reference materials for quantitative chemical analysis. The *ad hoc* Working Group concludes that the BIPM is the most appropriate organization to coordinate this activity. The BIPM's role must be limited to work on standards and traceability at the highest metrological level, and BIPM should interact only with the national metrology laboratories.

Therefore, the *ad hoc* Working Group recommends that CIPM form a Working Group on Metrology in Chemical Analysis to address the specific problem of international traceability in quantitative chemical analysis. The central hypothesis of this proposal is that coordinated international activities on only one or two reference methods of wide application on a few key reference materials will allow participating laboratories to extend the international traceability thereby gained to a wider range of methods and reference materials. The terms of reference of the proposed Working Group on chemical measurements are to:

- draw up and conduct an exploratory programme of cooperative work among the national metrology laboratories in the area of quantitative chemical analysis to test the above hypothesis;
- propose a future programme of work for the BIPM and the national metrology laboratories;
- consider the possible formation of a Consultative Committee on Chemical Metrology.

The Working Group on Metrology in Chemical Analysis should report in time to allow the CIPM to take decisions on future work in October 1994.

The *ad hoc* Working Group notes that the BIPM is already involved in the measurement of certain physico-chemical properties of materials (e.g., the density of water and the vapour pressure of liquid helium). The *ad hoc* Working Group recommends that the relevant CIPM consultative committees examine the extension of this activity to other physico-chemical measurements.

EQUATION FOR THE DETERMINATION
OF THE DENSITY OF MOIST AIR

(1981/1991)

by R. S. DAVIS *

Foreword

Mass measurements made in air generally require corrections for the effects of buoyancy. In applying these corrections, the BIPM and most national laboratories now use the same equation for the determination of ρ , the density of moist air [1, 2]. The equation requires input values for the air temperature, pressure, relative humidity (or dew-point temperature), and mole fraction of carbon dioxide. In addition to these variable parameters, the equation includes a number of parameters which are assumed to be constant.

The formalism presented in [1, 2] is often, though unofficially, referred to as the CIPM-81 equation to indicate that its use has been recommended by the Comité International des Poids et Mesures [1] and that 1981 was the year of this recommendation.

In the ten or so years since publication of [1, 2] one of the important constant parameters of the equation, the molar gas constant, has become better known. In addition, updated values for some additional constant parameters have become available. For this reason, the Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées (CCM), on the advice of the Working Group on Density, at its last meeting (May 1991) considered that it is worthwhile to amend several of the constant parameters given in [1, 2]. It should be emphasized that both the basic form of the 1981 equation as well as the principles by which it was derived remain unchanged.

The CCM has therefore recommended that the 1981 equation incorporating the amended parameters given below be designated as the « 1981/1991 equation for the determination of the density of moist air », abbreviated in this note to the « 1981/91 equation »**. The 1981/91 equation is valid over the same ranges of pressure, temperature, relative humidity (or dew-point temperature), and carbon dioxide fraction as given in [1, 2].

* President of the Working Group on Density of the Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées (CCM).

** This equation was approved by the Comité International des Poids et Mesures (CIPM) at its 80th meeting (September 1991).

Differences in numerical results obtained from the 1981 and the 1981/91 equations are small. It may be concluded in fact that: (1) air densities calculated using the 1981/91 equation do not differ significantly from those calculated from the 1981 equation; and (2) the overall uncertainty of the 1981/91 equation is not significantly improved over that of the 1981 equation. The reason for making the changes is simply to ensure that the values used for all constant parameters used in the equation are the best currently available.

1. The 1981 Equation

In essence, the 1981 equation for the density of moist air has the following form:

$$\rho = \frac{pM_a}{ZRT} \left[1 - x_v \left(1 - \frac{M_v}{M_a} \right) \right] \quad (1)$$

where p is the pressure, T the thermodynamic temperature, x_v the mole fraction of water vapour, M_a the molar mass of dry air, M_v the molar mass of water, R the molar gas constant, and Z the compressibility factor.

It is assumed that M_a is constant except for local variability of the mole fraction of carbon dioxide. The latter is further assumed to be exactly opposite to variability of the mole fraction of oxygen, leading to an auxiliary equation for M_a :

$$M_a = [28,963\ 5 + 12,011(x_{\text{CO}_2} - 0,000\ 4)] \times 10^{-3} \text{ kg/mol} \quad (2)$$

where x_{CO_2} is the mole fraction of carbon dioxide.

The mole fraction of water vapour x_v is not measured directly. Instead, it is derived either from a measurement of the relative humidity h or from a measurement of the dew-point temperature t_r . In either case, one has need of $p_{\text{sv}}(t)$, the saturation vapour pressure of moist air. In [1, 2], this is calculated from the auxiliary equation:

$$p_{\text{sv}} = 1 \text{ Pa} \times \exp\left(AT^2 + BT + C + \frac{D}{T} \right). \quad (3)$$

Also needed is the enhancement factor f calculated from:

$$f = \alpha + \beta p + \gamma t^2, \quad (4)$$

where t is the temperature in degrees Celsius.

Recall that

$$x_v = hf(p, t) \frac{p_{\text{sv}}(t)}{p} = f(p, t_r) \frac{p_{\text{sv}}(t_r)}{p}.$$

Finally, the compressibility Z is calculated from the following equation :

$$Z = 1 - \frac{p}{T} [a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + (b_0 + b_1 t) x_v + (c_0 + c_1 t) x_v^2] + \frac{p^2}{T^2} \cdot (d + e x_v^2). \quad (5)$$

The constant parameters in (3-5) are specified in [1, 2].

2. The Changes

2.1. Molar gas constant

Equation (1) contains R , the molar gas constant. Since the publication of [1, 2], the CODATA has recommended an improved estimate of R [3] :

$$R = 8,314\,510 (1 \pm 8,4 \times 10^{-6}) \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}.$$

This value exceeds that used in [1, 2] by 12 parts in 10^6 . The uncertainty of the newer estimate is 0,27 times that assigned to the value of R used in [1, 2]. While this is a significant improvement, the overall uncertainty in calculated air density is essentially unchanged.

2.2. Temperature

One may also note that temperature, a variable parameter, appears explicitly in the denominator of (1) and implicitly in the calculation of p_{sv} , f , and Z (3-5). On 1 January 1990, the ITS-90 [4] superseded the IPTS-68 and it is worthwhile mentioning how this change affects the equation for the density of moist air. Equation (1) is derived by assuming that moist air is an ideal gas and then making the relatively small corrections necessary to take account of non-ideality. Thus the temperature T is meant to be the thermodynamic temperature. Temperatures given on the ITS-90 should therefore be used because temperatures on the ITS-90 are closer to the corresponding thermodynamic temperatures than were those on IPTS-68.

Since (3-5) are used for relatively minor corrections, the small change introduced by the adoption of the ITS-90 (about 5 mK at 20 °C) is of secondary importance. We have, nonetheless, used the ITS-90 in recomputing the constant parameters for these equations as discussed more fully in the next section.

2.3. f , p_{sv} , Z

As documented in [1, 2], the formulas for the calculation of p_{sv} , f , and Z are based on the work of Greenspan, Wexler, and Hyland. Hyland and Wexler have recalculated this work [5] and we have incorporated their new results. It may be noted that these results depend on R and on T . These authors, anticipating a modification to the IPTS-68, showed how their results could be converted to a different temperature scale. The value of R used in [5] is sufficiently close to the value now recommended by CODATA [3] that their results are insensitive to this change.

3. New constant values

The amended constant parameters which are appropriate to the 1981/91 equation for the determination of the density of moist air are given in Table 1. The original parameters of the 1981 equation are also given for comparison purposes. One may note that, in the case of the enhancement factor f , the parameters are unchanged by the new calculations.

In [1, 2], the leading constant of the final equation for the determination of the density of moist air is M_a/R . The calculation of M_a remains unchanged from 1981 but the value of R is now amended as noted above in Section 2.1.

4. Effect of the changes

It is stated in the Foreword that the differences between the 1981 and the 1981/91 equations for the determination of the density of moist air are small. Table 2 illustrates this by comparing the results obtained using each set of constant parameters given in Table 1. The mole fraction of carbon dioxide is assumed equal to 0,000 4 for these calculations and the ITS-90 is used in all cases. The choice of relative humidity rather than dew-point temperature as the input parameter for these illustrative examples was arbitrary.

For all examples given in Table 2, air densities calculated from the 1991 constant parameters are smaller by about 3 parts in 10^5 relative to calculations using the 1981 parameters. While these differences are within the uncertainties ascribed to the equation, they are significant with respect to the precision of tabulated values given in references [1, 2]. It may be noted that the change in computed air density due to the introduction of the latest CODATA value for R is roughly equal to the change due to the new Z values.

TABLE 1

Constant parameters specified for the 1981 equation for the determination of the density of moist air and their amended 1991 values as recommended in this report for the 1981/91 equation.

	1981	1991
Vapour pressure at saturation, p_{sv}		
$A/(10^{-5} \text{ K}^{-2})$	1,281 180 5	1,237 884 7
$B/(10^{-2} \text{ K}^{-1})$	- 1,950 987 4	- 1,912 131 6
C	34,049 260 34	33,937 110 47
$D/(10^3 \text{ K})$	- 6,353 631 1	- 6,343 164 5
enhancement factor, f		
α	1,000 62	1,000 62
$\beta/(10^{-8} \text{ Pa}^{-1})$	3,14	3,14
$\gamma/(10^{-7} \text{ K}^{-2})$	5,6	5,6
compressibility factor, Z		
$a_0/(10^{-6} \text{ K Pa}^{-1})$	1,624 19	1,581 23
$a_1/(10^{-8} \text{ Pa}^{-1})$	- 2,896 9	- 2,933 1
$a_2/(10^{-10} \text{ K}^{-1} \text{ Pa}^{-1})$	1,088 0	1,104 3
$b_0/(10^{-6} \text{ K Pa}^{-1})$	5,757	5,707
$b_1/(10^{-8} \text{ Pa}^{-1})$	- 2,589	- 2,051
$c_0/(10^{-4} \text{ K Pa}^{-1})$	1,929 7	1,989 8
$c_1/(10^{-6} \text{ Pa}^{-1})$	- 2,285	- 2,376
$d/(10^{-11} \text{ K}^2 \text{ Pa}^{-2})$	1,73	1,83
$e/(10^{-8} \text{ K}^2 \text{ Pa}^{-2})$	- 1,034	- 0,765
gas constant, R		
$R/(\text{J mol}^{-1} \text{ K}^{-1})$	8,314 41	8,314 510
leading constant, $M_a(x_{\text{CO}_2} = 0,000 4)/R$, in equation for the density of moist air		
$M_a R^{-1}/(10^{-3} \text{ kg KJ}^{-1})$	3,483 53	3,483 49

TABLE 2

Examples comparing results obtained using the 1981 equation for the determination of the density of moist air and the 1981/91 equation. The air density ρ (kg m^{-3}), the vapour pressure at saturation p_{sv} (Pa), and the compressibility factor Z are computed as a function of pressure p , temperature t , and relative humidity h . The ITS-90 is used in all calculations. The mole fraction of carbon dioxide is taken to be 0,000 4 in these examples.

	1981	1981/91
$p = 100\,000$ Pa		
$t = 20$ °C		
$h = 0,50$		
ρ	1,183 507	1,183 472
p_{sv}	2 338,6	2 339,2
Z	0,999 603	0,999 619
$p = 110\,000$ Pa		
$t = 20$ °C		
$h = 0,10$		
ρ	1,306 622	1,306 582
p_{sv}	2 338,6	2 339,2
Z	0,999 590	0,999 608
$p = 100\,000$ Pa		
$t = 15$ °C		
$h = 0,90$		
ρ	1,202 443	1,202 408
p_{sv}	1 705,3	1 705,7
Z	0,999 539	0,999 555
$p = 60\,000$ Pa		
$t = 25$ °C		
$h = 0,50$		
ρ	0,694 179	0,694 162
p_{sv}	3 168,8	3 169,8
Z	0,999 759	0,999 769

5. Proposals

Based on the considerations given above, the CCM submitted the following proposals to the CIPM, which approved them at its 80th Meeting (September 1991):

1. In computing the density of moist air, the functional form of all equations given in [1, 2] should be used without change.
2. Some constant parameters given in [1, 2] should be amended as shown in Table 1 of this article.

3. The equation for moist air having the functional form given in [1, 2], but with the amended constant parameters shown in Table 1 of this article, should be referred to as the 1981/1991 equation for the determination of the density of moist air.
4. The ITS-90 should be used with the 1981/91 equation.
5. The overall uncertainty for air density as calculated using the 1981/91 equation is essentially the same as if the 1981 equation were used.

Acknowledgement. Thanks are due to Mr P. Carré, now retired from the BIPM, for carrying out computations and analyses necessary to derive the 1981/1991 equation for the determination of the density of moist air.

References

- [1] Formule pour la détermination de la masse volumique de l'air humide (1981), *BIPM Proc.-Verb. Com. Int. Poids et Mesures*, 1981, **49**, C1-C15.
 - [2] GIACOMO P., Equation for the determination of the density of moist air (1981), *Metrologia*, 1982, **18**, 33-40.
 - [3] COHEN E. R., TAYLOR B. N., The 1986 adjustment of the fundamental physical constants, *CODATA Bulletin*, November 1986, No. 63 (Pergamon, Oxford/New York).
 - [4] PRESTON-THOMAS H., The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90), *Metrologia*, 1990, **27**, 3-10.
 - [5] HYLAND R. W., WEXLER A., Formulations for the thermodynamic properties of the saturated phases of H₂O from 173.15 K to 473.15 K, *ASHRAE Trans.*, 1983, **89**, Part IIA, 500-519.
HYLAND R. W., WEXLER A., Formulations for the thermodynamic properties of dry air from 173.15 K to 372.15 K, at pressures to 5 MPa, *ASHRAE Trans.*, 1983, **89**, Part IIA, 520-535.
-

OBITUARY

Leslie E. HOWLETT

1904-1992

Dr L. E. Howlett of Ottawa (Canada), who died in his 88th year on 21 January 1992, was a member of the Comité International des Poids et Mesures (CIPM) from 1955 to 1968 and was President of the Comité Consultatif pour la Définition du Mètre (CCDM) from 1956. He was elected Vice-President of the CIPM in 1960 and President in 1964, and was made an honorary member following his retirement in 1968.

After taking degrees from the universities of British Columbia, Toronto and McGill, Howlett joined Canada's National Research Council in 1931, remaining with that institution for virtually all of his working life. He initially set up, singlehandedly, an optics laboratory at NRC, being joined by a technician in 1932. By the beginning of the war in September 1939 the laboratory had a staff of four, and this was the basis from which, under Howlett's direction, and with no prior optical production in the country, a Canadian optical industry was generated, with samples of a variety of optical instruments being completed by the end of April, 1940 and many thousands of precision optical components being manufactured during the course of the war.

Much of this precision optical work involved testing, measurement and calibration. Howlett's interests in such work were substantially enlarged when in 1948 he was put in charge, as Assistant Director, of applied research in the Division of Physics. This was, in effect, to be in charge of Canada's standards laboratory, and he then was naturally a candidate for membership of the CIPM. On the subsequent establishment of the Division of Applied Physics Howlett became its Director, a position he retained until his retirement.

It was under Howlett's direction that Canada progressed from a state of having only commercial and surveying standards of very moderate precision to that of possessing a world class standards laboratory. During the period of his membership of the CIPM, he was an enthusiastic proponent of the establishment of the ionizing radiation

laboratory at the BIPM, and of the introduction of quantum metrology to the SI in the form of the krypton 86 definition of the metre, adopted in 1960 during his presidency of the CCDM, and the caesium 133 definition of the second of 1967. He was responsible for establishing the journal *Metrologia*, under the auspices of the CIPM, being editor from its inception in 1965 until his retirement. For these, and for many other related services, Canada and the world measurement community will remember him and his work with gratitude.

H. PRESTON-THOMAS
February 1992

TABLE DES MATIÈRES
TABLE OF CONTENTS

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

80^e session (septembre - octobre 1991)
80th Meeting (September - October 1991)

	Pages
Liste des sigles utilisés dans le présent volume	v
List of acronyms used in the present volume	v
Le BIPM et la Convention du Mètre	xi
Liste des membres du Comité international	xiii
Liste du personnel du Bureau international	xv
Ordre du jour de la session	xviii
Procès-verbaux des séances, 26, 27 septembre et 2 octobre 1991	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. Discussion sur des points à l'ordre du jour de la 19 ^e Conférence générale .	6
5. Comités consultatifs	7
5.1. Rapports des présidents à la Conférence générale	7
5.2. Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants.	8
5.3. Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées	9
5.4. Présidence de comités consultatifs	10
5.5. Réunions futures des comités consultatifs	10
6. Travaux du BIPM : Rapport du directeur	10
7. La métrologie en chimie, rapport du groupe de travail <i>ad hoc</i>	11
8. Assurance maladie pour le personnel du BIPM	12

9. Questions administratives et financières	14
10. Questions diverses	19
10.1. Membres du CIPM	19
10.2. Contribution de G. Giorgi à la métrologie	19
10.3. Prochaine session du CIPM	20
11. Conséquences de la Conférence générale	20
Recommandations des comités consultatifs approuvées par le CIPM à sa 80^e session.	21
R 1 (1991) : Extension des étalons au rayonnement γ du ^{137}Cs	21
R 2 (1991) : Mesures en curiethérapie	22
G 1 (1991) : Masse volumique de l'air	22
G 2 (1991) : Masse volumique du mercure	23
Rapport du directeur sur l'activité et la gestion du Bureau international des poids et mesures (octobre 1990 - septembre 1991)	25
I. Personnel. — Promotions (C. Thomas, R. Felder, R. Goebel). Engagement (C. Lawrence). Chercheurs associés (R. Davis, A. Michaud, Z. Yin). Départ (B. Guinot). Titularisation (C. Dias Nunes)	25
II. Bâtiments.— Observatoire (réparation de la toiture, réfection de l'électricité dans les couloirs, installation d'une cage de Faraday). Grand Pavillon (réfection de l'électricité et peinture de la cage d'escalier, remise en état des volets). Bâtiment des rayonnements ionisants (réfection d'un bureau). Bâtiment des neutrons (peinture du laboratoire). Extérieurs et parc (remplacement des canalisations endommagées, réparation de clôtures, restauration de la voie datant du 17 ^e siècle le long de l'allée du Mail) ...	26
III. Travaux scientifiques	27
1. Remarques générales	27
1.1. Publications, conférences et voyages ne concernant pas directement une section particulière	30
1.1.1. Publications extérieures	30
1.1.2. Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts)	31
1.2. Activités en liaison avec des organismes extérieurs	31
2. Longueurs	31
2.1. Remarques générales	31
2.2. Mesures de longueur classiques	33
2.3. Lasers	33
2.3.1. Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée de l'iode en cuve interne à $\lambda = 633 \text{ nm}$	33
2.3.2. Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée de l'iode en cuve interne ou externe à $\lambda = 612 \text{ nm}$	34
2.3.3. Lasers à argon asservis sur l'absorption saturée de l'iode en cuve externe à $\lambda = 515 \text{ nm}$	36
2.3.4. Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption du méthane en cuve interne à $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$	36
2.3.5. Lasers à CO_2 à $\lambda = 10,6 \mu\text{m}$	37
2.3.6. Comparaison internationale de cuves à iode	37

2.4. Publications, conférences et voyages : section des longueurs	38
2.4.1. Publications extérieures	38
2.4.2. Rapports BIPM	39
2.4.3. Conférences et exposés	39
2.4.4. Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts)	39
2.5. Visiteurs de la section des longueurs	40
2.5.1. Stagiaires	40
2.5.2. Visiteurs	40
3. Masse et grandeurs apparentées	41
3.1. Troisième vérification périodique des prototypes nationaux du kilogramme	41
3.2. Balance Mettler HK 1000 MC et fabrication de nouveaux prototypes	43
3.3. Nouvelle balance à suspensions flexibles FB-2	44
3.4. Effets de surface sur les étalons de masse en platine iridié	44
3.5. Lames flexibles en monocristal de silicium	45
3.6. Effet des forces magnétiques sur les balances	46
3.7. Gravimétrie	46
3.8. Publications, conférences et voyages : section des masses	47
3.8.1. Rapport BIPM	47
3.8.2. Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts)	47
3.9. Visiteurs de la section des masses	47
4. Temps	47
4.1. Temps atomique international (TAI) et Temps universel coordonné (UTC)	47
4.2. Algorithmes pour les échelles de temps	48
4.3. Liaisons horaires	49
4.3.1. Global Positioning System (GPS)	49
4.3.2. Global Navigation Satellite System (GLONASS)	50
4.3.3. Comparaisons horaires par aller et retour	51
4.4. Définition des échelles de temps, relations avec l'astronomie	51
4.5. Pulsars	51
4.6. Autres activités	52
4.6.1. Installation d'un laboratoire de temps au BIPM	52
4.6.2. Interférométrie à très longue base	52
4.7. Publications, conférences et voyages : section du temps	53
4.7.1. Publications extérieures	53
4.7.2. Rapports BIPM	54
4.7.3. Conférences et exposés	54
4.7.4. Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts)	55
4.8. Activités en liaison avec des organismes extérieurs	56
4.9. Visiteurs de la section du temps	57
4.9.1. Stagiaires	57
4.9.2. Visiteurs	57

5. Électricité	57
5.1. Remarques générales	57
5.2. Potentiel électrique	58
5.2.1. Effet Josephson	58
5.2.2. Progrès dans la mesure des étalons électroniques à diodes de Zener	59
5.2.3. Progrès dans la mesure des piles nues étalons	59
5.3. Résistance électrique	60
5.3.1. Effet Hall quantique	60
5.3.2. Comparaison internationale d'étalons de 1 Ω et de 10 k Ω de 1990	61
5.4. Étude des applications des supraconducteurs à haute température en métrologie	61
5.5. Systèmes de mesures automatiques	62
5.6. Comparaisons et étalonnages courants	62
5.7. Publications, conférences et voyages : section d'électricité	63
5.7.1. Publications extérieures	63
5.7.2. Conférences et exposés	63
5.7.3. Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts)	63
5.8. Activités en liaison avec des organismes extérieurs	64
5.9. Visiteurs de la section d'électricité	64
5.9.1. Stagiaires	64
5.9.2. Visiteurs	64
6. Radiométrie, photométrie, thermométrie	65
6.1. Radiométrie	65
6.2. Photométrie	66
6.3. Thermométrie	67
6.4. Études courantes	67
6.5. Publications, conférences et voyages : section de radiométrie, photométrie et thermométrie	67
6.5.1. Publications extérieures	67
6.5.2. Rapport BIPM	68
6.5.3. Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts)	68
6.6. Activités en liaison avec des organismes extérieurs	68
6.7. Visiteurs de la section de radiométrie, photométrie, thermométrie	68
7. Rayonnements ionisants	68
7.1. Dosimétrie	69
7.1.1. Rayonnement gamma du ^{60}Co et rayons X	69
7.1.2. Mesures neutroniques	71
7.2. Radionucléides	72
7.2.1. Mesures d'activité	72
7.2.2. Statistiques de comptage	74
7.3. Publications, conférences et voyages : section des rayonnements ionisants	76
7.3.1. Publications extérieures	76
7.3.2. Rapports BIPM	76
7.3.3. Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts)	77

7.4. Activités en liaison avec des organismes extérieurs	78
7.5. Visiteurs de la section des rayonnements ionisants	78
7.5.1. Stagiaires	78
7.5.2. Visiteurs	79
ÍV. Publications du BIPM	79
1. Publications générales	79
2. Metrologia	79
3. Publications extérieures	80
V. Réunions et exposés au BIPM	81
1. Réunions	81
2. Exposés	81
VI. Certificats et notes d'étude	82
VII. Comptes	85
Rapport du Groupe de travail <i>ad hoc</i> sur la métrologie en chimie	91
Formule pour la détermination de la masse volumique de l'air humide (1981/1991)	97
Notice nécrologique	105
Leslie E. Howlett, par <i>H. Preston-Thomas</i>	105
English text of the report	
The BIPM and the Convention du Mètre	111
Members of the Comité International des Poids et Mesures	113
Staff of the Bureau International des Poids et Mesures	115
Agenda	118
Proceedings of the sessions, 26, 27 September and 2 October 1991	119
1. Opening of the meeting ; quorum ; agenda	119
2. Report of the Secretary of the CIPM	120
3. Report on the activity of the bureau of the CIPM	121
4. Discussion of points of the agenda for the 19th Conférence Générale	124
5. Comités Consultatifs	125
5.1. Reports of the Presidents of the Comités Consultatifs to the Conférence Générale	125
5.2. Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants	126
5.3. Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées	127
5.4. Presidency of Comités Consultatifs	128
5.5. Future meetings of the Comités Consultatifs	128

6. Work of the BIPM: Report of the Director	128
7. Metrology in chemistry, Report of the <i>ad hoc</i> Working Group	129
8. Medical insurance for the BIPM staff	130
9. Financial and administrative affairs	132
10. Other business	137
10.1. Changes in membership of the CIPM	137
10.2. Contribution of Professor Giorgi to metrology	137
10.3. Next CIPM meeting	137
11. Consequences of the Conférence Générale	138
Recommendations of the Comités Consultatifs approved by the CIPM at its 80th Meeting	138
R 1 (1991): Extension of γ -ray standards to include ^{137}Cs	138
R 2 (1991): Measurements in brachytherapy	139
G 1 (1991): Density of air	139
G 2 (1991): Density of mercury	140
Director's Report on the Activity and Management of the Bureau International des Poids et Mesures (October 1990 - September 1991)	141
I. Staff. — Promotions and changes of grade (C. Thomas, R. Felder, R. Goebel). Appointment (C. Lawrence). Research Fellows (R. Davis, A. Michaud, Z. Yin). Departure (B. Guinot). Permanent post (C. Dias Nunes)	141
II. Buildings. — Observatoire (roof repairs, replacement of electrical fittings in the corridors, installation of a Faraday cage). Grand Pavillon (repairing of shutters, redecoration and repair of electrical fittings in the stair-well). Ionizing radiations building (redecoration of one office). Neutron building (redecoration of the laboratory). Outbuildings and park (replacement of drains and fences, restoration of the 17th century road along the Allée du Mail)	142
III. Scientific work	143
1. General introduction	143
1.1. Publications, lectures, travel not directly related to individual sections.	146
1.1.1. External publications	146
1.1.2. Travel (committees, visits to laboratories and institutions) ..	146
1.2. Activities related to external organizations	147
2. Length	147
2.1. General remarks	147
2.2. Classical length measurements	148
2.3. Lasers	148
2.3.1. Iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda = 633$ nm using internal cells	148
2.3.2. Iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda = 612$ nm using internal and external cells	150
2.3.3. Iodine-stabilized argon lasers at $\lambda = 515$ nm using an external cell	151

2.3.4. Methane-stabilized He-Ne lasers at $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$ using internal cells	152
2.3.5. CO ₂ laser at $\lambda = 10,6 \mu\text{m}$	152
2.3.6. International comparison of iodine cells	152
2.4. Publications, lectures, travel : Length section	153
2.4.1. External publications	153
2.4.2. BIPM Reports	154
2.4.3. Lectures and presentations	154
2.4.4. Travel (committees, visits to laboratories and institutions) ..	154
2.5. Visitors to the Length section	155
2.5.1. Guest workers	155
2.5.2. Visitors	155
3. Mass and related quantities	156
3.1. Third periodic verification of national prototypes of the kilogram.	156
3.2. Mettler HK 1000 MC balance and fabrication of new prototypes.	158
3.3. The new flexure-strip balance, FB-2	159
3.4. Surface effects on Pt-Ir mass standards	159
3.5. Single-crystal silicon flexures	160
3.6. Study of the magnetic forces on balances	160
3.7. Gravimetry	161
3.8. Publications, lectures, travel : Mass section	161
3.8.1. BIPM Report	161
3.8.2. Travel (committees, visits to laboratories and institutions) ..	162
3.9. Visitors to the Mass section	162
4. Time	162
4.1. International Atomic Time (TAI) and Coordinated Universal Time (UTC)	162
4.2. Algorithms for time scales	163
4.3. Time links	164
4.3.1. Global Positioning System (GPS)	164
4.3.2. Global Navigation Satellite System (GLONASS)	165
4.3.3. Two-way time transfer	165
4.4. Definition of time scales, relation with astronomy	165
4.5. Pulsars	166
4.6. Other activities	166
4.6.1. Installation of a time laboratory	166
4.6.2. Very Long Baseline Interferometry	166
4.7. Publications, lectures, travel : Time section	167
4.7.1. External publications	167
4.7.2. BIPM Reports	168
4.7.3. Lectures and presentations	168
4.7.4. Travel (committees, visits to laboratories and institutions) ..	169
4.8. Activities related to external organizations	170
4.9. Visitors to the Time section	171
4.9.1. Guest workers	171
4.9.2. Visitors	171

5. Electricity	171
5.1. General remarks	171
5.2. Electrical potential	172
5.2.1. Josephson effect	172
5.2.2. Progress in the measurement of Zener-diode based electronic standards	173
5.2.3. Progress in the measurement of bare standard cells	173
5.3. Electrical resistance	174
5.3.1. Quantum Hall effect	174
5.3.2. The 1990 international comparison of 1 Ω and 10 k Ω standards	175
5.4. Studies of applications of high- T_c superconductors in metrology ..	175
5.5. Automated measurement systems	176
5.6. Comparisons and routine calibrations	176
5.7. Publications, lectures, travel : Electricity section	176
5.7.1. External publications	176
5.7.2. Lectures and presentations	177
5.7.3. Travel (committees, visits to laboratories and institutions) ..	177
5.8. Activities related to external organizations	177
5.9. Visitors to the Electricity section	177
5.9.1. Guest workers	177
5.9.2. Visitors	178
6. Radiometry, photometry, thermometry	179
6.1. Radiometry	179
6.2. Photometry	180
6.3. Thermometry	180
6.4. Routine work	180
6.5. Publications, lectures, travel : Radiometry, photometry, thermometry section	181
6.5.1. External publications	181
6.5.2. BIPM Report	181
6.5.3. Travel (committees, visits to laboratories and institutions) ..	181
6.6. Activities related to external organizations	181
6.7. Visitors to the Radiometry, photometry, thermometry section	182
7. Ionizing Radiations	182
7.1. Dosimetry	182
7.1.1. ^{60}Co gamma rays and X rays	182
7.1.2. Neutron measurements	184
7.2. Radionuclides	185
7.2.1. Activity measurements	185
7.2.2. Counting statistics	188
7.3. Publications, lectures, travel : Ionizing Radiations section	189
7.3.1. External publications	189
7.3.2. BIPM Reports	190
7.3.3. Travel (committees, visits to laboratories and institutions) ..	190
7.4. Activities related to external organizations	191
7.5. Visitors to the Ionizing Radiations section	191
7.5.1. Guest workers	191
7.5.2. Visitors	192

IV. Publications of the BIPM	192
1. General publications	192
2. Metrologia	192
3. External publications	193
V. Meetings and lectures at the BIPM	194
1. Meetings	194
2. Lectures	194
VI. Certificates and Notes of Study	195
VII. Accounts	195
Report of the <i>ad hoc</i> Working Group on Metrology in Chemistry	197
Equation for the Determination of the Density of Moist Air (1981/1991)	203
Obituary	211
Leslie E. Howlett, by <i>H. Preston-Thomas</i>	211

IMPRIMERIE DURAND

28600 LUISANT (FRANCE)

Dépôt légal : Imprimeur, 1992, n° 7948
ISBN 92-822-2121-0
ISSN 0370-2596

ACHEVÉ D'IMPRIMER : JUIN 1992

Imprimé en France