

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES



COMITÉ INTERNATIONAL  
DES  
POIDS ET MESURES

Procès-verbaux de la 81<sup>e</sup> session  
Report of the 81st Meeting  
1992

TOME 60

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

ISSN 0370-2596  
ISBN 92-822-2126-1

---

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**

AIEA/IAEA	Agence internationale de l'énergie atomique/International Atomic Energy Agency
AIG/IAG	Association internationale de géodésie/International Association of Geodesy
ANSTO	Australian Nuclear Science and Technology Organisation, Menai (Australie)
*ASMW	Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, Berlin (Allemagne)
BCMNM/CBNM	Bureau central de mesures nucléaires/Central Bureau for Nuclear Measurements, CEC-JRC, Geel (Belgique)
BCR	Bureau communautaire de référence de la Communauté économique européenne
BESSY	Berliner Elektronenspeicherring-Gesellschaft für Synchrotronstrahlung mbH
BEST	State Bureau of Technical Supervision, Beijing (Rép. pop. de Chine)
BFMMP/SZMDM	Bureau fédéral des mesures et métaux précieux/Savezni Zavod za Mere i Dragocene Metale, Belgrade (Yougoslavie)
BIML	Bureau international de métrologie légale
BIPM	Bureau international des poids et mesures
BNM	Bureau national de métrologie, Paris (France)
BRGM	Bureau de recherches géologiques et minières, Orléans (France)
CBNM	<i>voir</i> BCMNM
CCDM	Comité consultatif pour la définition du mètre
CCDS	Comité consultatif pour la définition de la seconde
CCE	Comité consultatif d'électricité

---

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

\* Organizations marked with an asterisk either no longer exist or operate under a different acronym.

CCEMRI	Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants
CCIR	Comité consultatif international des radiocommunications
CCM	Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées
*CCP	Comité consultatif de photométrie, voir CCPR
CCPR	Comité consultatif de photométrie et radiométrie
CCT	Comité consultatif de thermométrie
CCU	Comité consultatif des unités
CEA	Commissariat à l'énergie atomique, Paris (France)
CEI/IEC	Commission électrotechnique internationale/International Electrotechnical Commission
CEM	Centro Español de Metrologia, Madrid (Espagne)
CERN	Conseil européen pour la recherche nucléaire, Genève (Suisse)
CGGTTS	CCDS Group on GPS Time Transfer Standards
CGPM	Conférence générale des poids et mesures
CGSIC	Civil GPS Service Interface Committee
CIE	Commission internationale de l'éclairage/International Commission on Illumination
CIEMAT	Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Madrid (Espagne)
CIPM	Comité international des poids et mesures
CNEA	Comisión Nacional de Energia Atomica, Buenos Aires (Rép. d'Argentine)
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)
CSAV	Československa Akademie Ved, Brno et Prague (Tchéco-Slovaquie)
CSIR	Council for Scientific and Industrial Research, Division of Production Technology, Pretoria (Afrique du Sud)
CSIRO	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Division of Applied Physics, Lindfield (Australie)
CSMU	Československý Metrologický Ústav, Bratislava et Prague (Tchéco-Slovaquie)
DFM	Danish Institute for Fundamental Metrology, Lyngby (Danemark)
DMA	Defence Mapping Agency (É.-U. d'Amérique)
*DSIR	Department of Scientific and Industrial Research, Lower Hutt (Nouvelle-Zélande), voir MSL



EAM	<i>voir OFM</i>
EFTF	Forum européen fréquence et temps/European Frequency and Time Forum
ENEA	Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Rome (Italie)
ENS	École normale supérieure, Paris (France)
EOLAS	Irish Science and Technology Agency, Dublin (Irlande)
ETCA	Établissement technique central de l'armement, Arcueil (France)
ETL	Electrotechnical Laboratory, Tsukuba (Japon)
EUROMET	European Collaboration on Measurement Standards
GOST/GOS- STANDART	The State Committee of the Russian Federation for Standardization, Metrology and Certification, Moscou (Féd. de Russie)
GRGS	Groupe de recherches de géodésie spatiale
IAEA	<i>voir AIEA</i>
IAG	<i>voir AIG</i>
IAU	<i>voir UAI</i>
ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurements
IEC	<i>voir CEI</i>
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)
IGN	Institut géographique national, Paris et Saint-Mandé (France)
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)
INSEE	Institut national de la statistique et des études économiques, Paris (France)
IOP	Institute of Physics, Bristol (Royaume-Uni)
IPEN	Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo (Brésil)
IPQ	Instituto Português da Qualidade, Lisbonne (Portugal)
ISO	Organisation internationale de normalisation/International Organization for Standardization

ISO/TAG4	Organisation internationale de normalisation, Comité technique 4 (métrologie)/International Organization for Standardization, Technical Advisory Group 4 (Metrology)
ISO/TC12	Organisation internationale de normalisation, Comité technique 12 (grandeurs, unités, symboles, facteurs de conversion)/International Organization for Standardization, Technical Committee 12 (Quantities, units, symbols, conversion factors)
IUGG	<i>voir</i> UGGI
IUPAC	<i>voir</i> UICPA
IUPAP	<i>voir</i> UIPPA
JILA	Joint Institute for Laboratory Astrophysics, Boulder (É.-U. d'Amérique)
KRISS	Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon (Rép. de Corée)
LCIE	Laboratoire central des industries électriques, Fontenay-aux-Roses (France)
LEP	Laboratoires d'électronique Philips, Limeil-Brévannes (France)
LGAI	Laboratori General d'Assaigs i Investigacions, Bellaterra (Espagne)
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)
LNMRI	Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes, Rio de Janeiro (Brésil)
LPRI	(ex LMRI) Laboratoire primaire des rayonnements ionisants, Saclay (France)
LPTF	Laboratoire primaire du temps et des fréquences, Paris (France)
MSL	(ex DSIR) Measurement Standards Laboratory of New Zealand, Lower Hutt (Nouvelle-Zélande)
NAC	National Accelerator Centre, Faure (Afrique du Sud)
NAO	(ex TAO) National Astronomical Observatory, Tokyo (Japon)
NGS	National Geodetic Survey, Rockville (É.-U. d'Amérique)
NIM	Institut national de métrologie/National Institute of Metrology, Beijing (Rép. pop. de Chine)
NIST	National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg (É.-U. d'Amérique)
NMI	Nederlands Meetinstituut, Bilthoven (Pays-Bas)

NPL	National Physical Laboratory, Teddington (Royaume-Uni)
NPLI	National Physical Laboratory of India, New Delhi (Inde)
NRC	Conseil national de recherches du Canada/National Research Council, Ottawa (Canada)
NRLM	National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba (Japon)
OCA	Observatoire de la Côte d'Azur, Grasse (France)
OFM/EAM	Office fédéral de métrologie/Eidgenössisches Amt für Messwesen, Wabern (Suisse)
ÖFS	Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf, GmbH/ Austrian Research Centre, Seibersdorf (Autriche)
OIML	Organisation internationale de métrologie légale
OMH	Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest (Hongrie)
ONBA	Observatorio Naval Buenos Aires (Rép. d'Argentine)
ONU/UN	Nations unies/United Nations
OP	Observatoire de Paris (France)
PKNM	Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakości, Varsovie (Pologne)
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig (Allemagne)
PTTI	Precise Time and Time Interval Applications and Planning Meeting
RATP	Régie autonome des transports parisiens (France)
SCL	Standards and Calibration Laboratory (Hong-Kong)
SCPRI	Service central de protection contre les rayonnements ionisants, Le Vésinet (France)
SEE	Société des électriciens et électroniciens, Paris (France)
SNCF	Société nationale des chemins de fer français (France)
SP	Statens Provningsanstalt, Borås (Suède)
SRPI	Swedish Radiation Protection Institute, Stockholm (Suède)
SSDL	Secondary Standards Dosimetry Laboratories
STU	Physicochemical Symbols, Terminology and Units, IUPAC Commission
SUN-AMCO	Symbols, Units and Nomenclature, Atomic Masses and Fundamental Constants, IUPAP Commission
SZMDM	<i>voir</i> BFMMMP
TUG	Technical University, Graz (Autriche)
UAI/IAU	Union astronomique internationale/International Astronomical Union
UDZ	Ústav Dozimetrie Záření, Prague (Tchéco-Slovaquie)

UGGI/IUGG	Union géodésique et géophysique internationale/International Union of Geodesy and Geophysics
UICPA/IUPAC	Union internationale de chimie pure et appliquée/International Union of Pure and Applied Chemistry
UIPPA/IUPAP	Union internationale de physique pure et appliquée/International Union of Pure and Applied Physics
UN	<i>voir</i> ONU
USNO	U.S. Naval Observatory, Washington (É.-U. d'Amérique)
VNIIFTRI	Institut des mesures physico-techniques et radiotechniques/All-Russian Research Institute for Physical, Technical and Radio-Technical Measurements, Moscou (Féd. de Russie)
VNIIM	Institut de métrologie D.I. Mendéléev/D.I. Mendeleev Institute for Metrology, Saint-Pétersbourg (Féd. de Russie)
VSL	Van Swinden Laboratorium, Delft (Pays-Bas)

## 2. Sigles des termes scientifiques Acronyms for scientific terms

ALGOS	Algorithme pour établir le TAI/Time-scale algorithm for TAI, BIPM
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
IPTS-68	<i>voir</i> EIPT-68
ITRF	IERS Terrestrial Reference Frame
ITS-90	<i>voir</i> EIT-90
LASSO	Laser Synchronization from Stationary Orbit
QHE	Effet Hall quantique/Quantum Hall effect
QHR	<i>voir</i> RHQ
RHQ/QHR	Résistance de Hall quantifiée/Quantum Hall resistance
SA	Accès sélectif/Selective availability
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 for gamma-ray emitting radionuclides
TAI	Temps atomique international/International Atomic Time

TT	Temps terrestre/Terrestrial Time
UT	Temps universel/Universal Time
UTC	Temps universel coordonné/Coordinated Universal Time
VLBI	Interférométrie à très longue base/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 m<sup>2</sup>) du Pavillon de Breteuil (Parc de Saint-Cloud) mis à sa disposition par le Gouvernement français ; son entretien est assuré à frais communs par les États membres de la Convention du Mètre\*.

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.

---

\* Au 31 décembre 1992, quarante-six États sont membres de cette Convention : Afrique du Sud, Allemagne, Amérique (É.-U. d'), Argentine (Rép. d'), 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, Russie (Féd. de), Suède, Suisse, Tchéco-Slovaquie, Thaïlande, Turquie, Uruguay, Venezuela.

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

1. Le Comité consultatif d'électricité (CCE), créé en 1927.
2. Le Comité consultatif de photométrie et radiométrie (CCPR), nouveau nom donné en 1971 au Comité consultatif de photométrie (CCP) créé en 1933 (de 1930 à 1933 le Comité précédent (CCE) s'est occupé des questions de photométrie).
3. Le Comité consultatif de thermométrie (CCT), créé en 1937.
4. Le Comité consultatif pour la définition du mètre (CCDM), créé en 1952.
5. Le Comité consultatif pour la définition de la seconde (CCDS), créé en 1956.
6. Le Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI), créé en 1958. En 1969, ce comité consultatif a institué quatre sections : Section I (Rayons X et  $\gamma$ , électrons), Section II (Mesure des radionucléides), Section III (Mesures neutroniques), Section IV (Étalons d'énergie  $\alpha$ ) ; cette dernière section a été dissoute en 1975, son domaine d'activité étant confié à la Section II.
7. Le Comité consultatif des unités (CCU), créé en 1964 (ce comité consultatif a remplacé la « Commission du système d'unités » instituée par le CIPM en 1954).
8. Le Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées (CCM), créé en 1980.

Les travaux de la Conférence générale, du Comité international, des comités consultatifs et du Bureau international sont publiés par les soins de ce dernier dans les collections suivantes :

- *Comptes rendus des séances de la Conférence générale des poids et mesures* ;
- *Procès-verbaux des séances du Comité international des poids et mesures* ;
- *Sessions des comités consultatifs* ;
- *Recueil de travaux du Bureau international des poids et mesures* (ce recueil hors commerce rassemble les articles publiés dans des revues et ouvrages scientifiques et techniques, ainsi que certains travaux publiés sous forme de rapports multicoopiés).

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 29 septembre 1992

*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 of Applied Physics, CSIRO, P.O. Box 218, Bradfield Road, Lindfield NSW 2070, Australie.  
*Vice-président.*
4. J. DE BOER, Institut de physique, Université d'Amsterdam, Valckenierstraat 65, Amsterdam-C, Pays-Bas.
5. P.B. CLAPHAM, directeur du National Physical Laboratory, Teddington TW11 0 LW, Royaume-Uni.
6. L. CROVINI, directeur de l'Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Strada delle Cacce 73, 10135 Turin, Italie.
7. K. IIZUKA, conseiller spécial, Agency of Industrial Science and Technology, 3-1 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100, Japon.
8. J.W. LYONS, directeur du National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899, É.-U. d'Amérique.
9. P. PÂQUET, directeur de l'Observatoire royal de Belgique, 3 avenue Circulaire, B-1180 Bruxelles, Belgique.
10. 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.

11. V.I. POUSTOVOIT, vice-président, GOSSTANDART, Leninski prosp. 9b, 117049 Moscou, Féd. de Russie.
12. O. SALA, professeur, Departamento de Fisica Nuclear, Universitaria Armando Salles de Oliveria, Caixa Postal 20516, 01498 São Paulo, Brésil.
13. K. SIEGBAHN, Institut de physique de l'Université d'Uppsala, Box 530, 75121 Uppsala 1, Suède.
14. J. SKÁKALA, professeur à l'Université technique slovaque, Nám. Slobody 17, 812 31 Bratislava, Tchéco-Slovaquie. *Vice-président.*
15. R. STEINBERG, chef du Département de physique et métrologie, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, 1101 Buenos Aires, Argentine.
16. J. VANIER, directeur général de l'Institut des étalons nationaux de mesure, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa K1A 0S1, Canada.
17. 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.
18. ...

*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. M. KERSTEN, Am Hohen Tore 4A, 3300 Braunschweig.
  5. F.J. LEHANY, 5 Gladstone Avenue, Hunters Hill, NSW 2110.
  6. H. PRESTON-THOMAS, 1109 Blasdell Avenue, Ottawa K1K 0C1.
-

---

PERSONNEL  
DU  
BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES  
au 1<sup>er</sup> janvier 1993

---

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* : M. G. Girard, M. A. Sakuma  
MM. R.S. Davis, 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

*Électricité* : M. T.J. Witt  
MM. F. Delahaye, D. Reymann  
MM. D. Avrons, D. Bournaud  
M. P. Benoit

*Radiométrie et photométrie* : M. J. Bonheure  
MM. 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, G. Ratel  
MM. D. Carnet, C. Colas, L. Lafaye, C. Veyradier

*Secrétariat* : Mlle J. Monprofit  
Mmes L. Delfour, D. Le Coz, M. Petit

*Metrologia* : M. D.A. Blackburn  
Mme C. Lawrence

*Administration, comptabilité* : 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, A. Montbrun, D. Rotrou,

MM. E. Dominguez<sup>(1)</sup>, C. Neves<sup>(1)</sup>

*Directeur honoraire* : M. P. Giacomo

*Métreologiste principal honoraire* : M. G. Leclerc

*Métreologiste honoraire* : M. H. Moreau

---

<sup>(1)</sup> Également gardiens



## ORDRE DU JOUR DE LA SESSION

---

1. Ouverture de la session ; quorum ; approbation de l'ordre du jour.
  2. Rapport du secrétaire.
  3. Rapport sur l'activité du bureau du Comité (octobre 1991 - septembre 1992).
  4. Situation financière du BIPM pour les années 1992 à 1996.
  5. Comités consultatifs :
    - rapport du CCE,
    - rapport du CCDM,
    - présidence du CCM, du CCT et du CCEMRI,
    - composition,
    - réunions futures.
  6. Travaux du BIPM : Rapport du directeur.
  7. La métrologie en chimie, rapport du groupe de travail du CIPM.
  8. Discussion sur le projet de *Guide to the expression of uncertainty in measurement*.
  9. Questions administratives et financières
    - « Rapport aux Gouvernements » pour 1991,
    - quitus pour 1991,
    - exercice 1992 en cours.
  10. Questions diverses.
-

# COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

---

81<sup>e</sup> session

(29 septembre - 1<sup>er</sup> octobre 1992)

---

## PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES TENUES À SÈVRES

Présidence de M. D. Kind

---

Le Comité international des poids et mesures (CIPM) s'est réuni pour sa 81<sup>e</sup> session le mardi 29, le mercredi 30 septembre et le jeudi 1<sup>er</sup> octobre 1992. Il a tenu quatre séances.

Étaient présents : MM. BLEVIN, CLAPHAM, CROVINI, DE BOER (absent les 29 et 30 septembre), IZUKA, KIND, KOVALEVSKY, LYONS, PÂQUET, PLEBANSKI, SIEGBAHN, SKÁKALA, VANIER, WANG et QUINN (directeur du BIPM).

Assistaient aussi aux séances : M. GIACOMO (directeur honoraire du BIPM) ; M. GAO (invité) ; Mlle MONPROFIT et Mme LE COZ (secrétariat).

Excusés : MM. DE BOER (29 et 30 septembre), SALA et STEINBERG. Nous n'avons reçu aucune nouvelle de M. POUSTOVOIT.

M. Wang Daheng informe les membres du CIPM de son intention de démissionner du CIPM à la fin de la présente session et invite ses collègues à une réception au Consulat de la République populaire de Chine.

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

Le président ouvre la 81<sup>e</sup> session du Comité international des poids et mesures et accueille les membres présents, en particulier les trois nouveaux membres récemment élus, MM. Crovini, Pâquet et Vanier, ainsi que les invités. Il fait savoir que M. Gao Jie devrait être présent dans l'après-midi pour prêter son concours à M. Wang Daheng pendant le reste de la session.

Il remercie le directeur et le personnel du Bureau international des poids et mesures (BIPM) pour la préparation de ce comité.

Il note que le quorum est atteint, conformément à l'article 12 de la *Convention du Mètre*.

Une minute de silence est observée à la mémoire de Jean Terrien, directeur honoraire du BIPM, qui est décédé le 3 mars 1992. Une notice nécrologique sera publiée dans le volume des *Procès-verbaux* de la présente session du CIPM.

Le président informe les membres du CIPM que M. Preston-Thomas, vice-président du CIPM depuis 1984, a donné sa démission après la réunion du bureau du Comité du mois de juin 1992. M. Blevin est proposé comme nouveau vice-président et il est élu à l'unanimité. Il accepte et se déclare très honoré de cette élection.

L'ordre du jour est adopté, avec la modification suivante : la proposition d'élire M. Preston-Thomas comme membre honoraire du CIPM est portée au point 10 de l'ordre du jour.

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

## **2. Rapport du secrétaire du CIPM**

(octobre 1991 - septembre 1992)

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

### *États membres de la Convention du Mètre*

Par note verbale du 28 février 1992, le directeur du BIPM a été officiellement informé par le représentant à Paris du ministère des Affaires étrangères de la Fédération de Russie de l'intention de ce pays de prendre la suite de l'URSS comme État membre de la Convention du Mètre. Ce faisant, la Fédération de Russie « maintient complètement sa responsabilité de tous les droits et obligations de l'URSS au BIPM, y compris les obligations financières ». Le directeur du BIPM a répondu à cette note, en date du 5 mars 1992, accomplissant ainsi les seules formalités nécessaires, selon le ministère français des Affaires étrangères, pour admettre la Fédération de Russie comme successeur légal de l'URSS à la Convention du Mètre. La Fédération de Russie figure maintenant sur la liste des États membres de la Convention du Mètre, qui comporte donc toujours quarante-sept États\*.

---

\* En date du 19 octobre 1992 le ministère des Affaires étrangères a informé le BIPM que « le processus de dissolution de la République socialiste de Yougoslavie est arrivé à son terme ». En conséquence, la liste des États membres comporte maintenant quarante-six États.



### *Membres du CIPM*

Depuis la session de 1991, MM. Bray, Jensen, Joshi et Preston-Thomas ont présenté leur démission du CIPM. Trois des sièges laissés vacants ont été pourvus grâce à l'élection de MM. Crovini (directeur de l'Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin), Pâquet (directeur de l'Observatoire royal de Belgique à Bruxelles) et Vanier (directeur de l'Institut national des étalons de mesure à Ottawa). Un siège reste vacant.

### *Réunions des comités consultatifs et des groupes de travail*

— Le Comité consultatif d'électricité (CCE) s'est réuni pour sa 19<sup>e</sup> session les 15 et 16 juin 1992. Le Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences du CCE s'est réuni au Laboratoire central des industries électriques (Fontenay-aux-Roses) le 13 juin 1992.

— Le Comité consultatif pour la définition du mètre (CCDM) s'est réuni pour sa 8<sup>e</sup> session du 9 au 11 septembre 1992. Ce comité ne s'était pas réuni depuis l'adoption de la nouvelle définition du mètre par la 17<sup>e</sup> Conférence générale en 1983.

Les réunions des deux comités consultatifs 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<sup>er</sup> janvier des années portées en tête de colonne.

Comptes	1989	1990	1991	1992
I. — Fonds ordinaires . . .	11 685 088,87	10 924 171,95	11 681 069,08	12 431 411,07
II. — Caisse de retraites. . .	14 369 021,18	14 002 735,45	14 546 368,84	15 364 041,35
III. — Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique .	78 764,20	75 835,04	75 627,81	172 765,56
IV. — Caisse de prêts so- ciaux . . . . .	260 806,64	283 545,36	302 431,48	327 514,70
V. — Réserve pour les bâ- timents . . . . .	83 232,12	0,00	0,00	0,00
VI. — Metrologia . . . . .	0,00	0,00	0,00	0,00
Total . . . . .	26 476 913,01	25 286 287,80	26 605 497,21	28 295 732,68

Le président demande ensuite au secrétaire de présenter son rapport sur l'activité du bureau du Comité.

### 3. Rapport sur l'activité du bureau du Comité (octobre 1991 - septembre 1992)

M. Kovalevsky présente le rapport suivant : le bureau du Comité s'est réuni trois fois depuis la dernière session du CIPM. Deux de ces réunions ont eu lieu au Pavillon de Breteuil, la troisième s'est tenue à Turin. Les discussions ont porté principalement sur la situation financière du BIPM, le programme scientifique pour la période de 1993 à 1996, la composition des comités consultatifs, l'application de la relativité générale à la métrologie et l'expression des incertitudes de mesure.

#### 1. *La situation financière du BIPM*

Peu après la tenue de la 19<sup>e</sup> Conférence générale et de la 80<sup>e</sup> session du CIPM en 1991, il semblait évident que la dissolution de l'URSS pourrait entraîner une diminution d'environ 10 % des ressources du BIPM, non seulement en 1991, mais aussi en 1992 et dans les années à venir \*. Le directeur du BIPM a réduit les dépenses autant que possible au cours du dernier trimestre de 1991 et espère pouvoir réduire les dépenses d'environ 5,5 % en 1992, en diminuant de 50 % les dépenses d'investissement des laboratoires et en repoussant à plus tard toutes les dépenses d'entretien des bâtiments et les travaux d'entretien courant qu'il était possible de différer. L'existence d'environ 12 000 000 francs-or dans le Compte I (réserves) a évité une crise financière immédiate et a permis de mettre sur pied un plan destiné à faire face à une diminution des ressources d'environ 10 % pendant une période de trois ans. Ce plan, qui prévoit le non-remplacement de certains membres du personnel à l'occasion de départs à la retraite et un plafonnement des salaires, est présenté au Comité dans un document sur la situation financière du BIPM.

#### 2. *Le programme scientifique du BIPM pour la période de 1993 à 1996*

Une réduction à long terme des ressources du BIPM de l'ordre de 10 % a obligatoirement des répercussions sur le programme scientifique. Il se trouve que le départ à la retraite en 1992 et 1993 de certains membres hautement qualifiés du personnel scientifique permettra d'effectuer des économies qui, à court terme, n'auront d'autre conséquence que de retarder la réalisation de certains travaux votés par la 19<sup>e</sup> Conférence générale. Une réduction supplémentaire du personnel scientifique serait plus lourde de conséquences. Le bureau pense que cette question sera reconsidérée lors de la session de 1993 du CIPM, dans le cadre de la discussion sur le programme de travail qui sera présenté à la 20<sup>e</sup> Conférence générale.

---

\* Après la présente session du CIPM, la Fédération de Russie a effectué au mois d'octobre 1992 un versement partiel représentant environ 60 % de sa contribution pour 1991.

En réponse à une demande faite lors de la session de 1991 du CIPM, le directeur a préparé à l'attention du Comité un document sur l'orientation future du travail de la section des rayonnements ionisants au BIPM.

### *3. Composition du CIPM et présidence des comités consultatifs*

Depuis octobre 1992, trois nouveaux membres ont été élus au CIPM (voir le Rapport du secrétaire du CIPM) : ce sont MM. Crovini, Pâquet et Vanier. Ces élections ont permis de pourvoir trois des quatre sièges laissés vacants à la suite de la démission de MM. Bray, Jensen, Joshi et Preston-Thomas. M. Sala a aussi informé le président de son intention de démissionner du CIPM à la fin du mois de septembre 1992.

Les démissions de MM. Bray, Preston-Thomas et Sala laissent sans président trois comités consultatifs : le Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées, le Comité consultatif de thermométrie et le Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants.

### *4. L'application de la relativité générale à la métrologie*

Le bureau a discuté d'une proposition faite par M. Guinot de créer un groupe de travail, chargé, sous les auspices du CIPM, d'étudier et de présenter un rapport sur l'application de la relativité générale à la métrologie. Cette proposition est maintenant présentée au Comité, avec l'avis favorable du bureau, pour discussion (voir Chapitre 10.3 ci-dessous).

### *5. Document commun à l'ISO, à la CEI, à l'OIML et au BIPM sur l'expression des incertitudes de mesure*

Un projet de document sur l'expression des incertitudes de mesure a été préparé et distribué pour commentaires par un groupe de travail commun à l'ISO, à la CEI, à l'OIML et au BIPM (ISO/TAG 4/WG 3). Ce document, fondé sur la recommandation du CIPM de 1981 et auquel le bureau du Comité est très favorable, est présenté au Comité pour approbation.

Le directeur du BIPM et le directeur du BIML ont officiellement demandé au Secrétaire général de l'ISO de faire adopter et mettre en pratique rapidement par l'ISO ce document [voir Chapitre 8].

## **4. Situation financière du BIPM pour les années 1992 à 1996**

Le président accueille Mlle Perent, administrateur du BIPM, pour la discussion sur la situation financière du BIPM et demande à M. Quinn d'introduire le sujet.

M. Quinn informe les membres du CIPM que les contributions des États membres au BIPM ne devraient pas dépasser 15 800 000 francs-or en 1992, soit 4 600 000 francs-or de moins que les 20 400 000 francs-or

prévus pour 1992. Il rappelle aux membres du Comité que cette différence provient principalement, d'une part, du paiement anticipé, en décembre 1991, de la contribution de 1992 des États-Unis d'Amérique (soit environ 2 000 000 francs-or), d'autre part de la contribution de la Fédération de Russie, laquelle représente environ 2 000 000 francs-or.

Il présente ensuite en détail les mesures qu'il a prises au début de 1992 pour réduire les dépenses d'environ 5,5 % par rapport au budget voté par le Comité en 1991 pour 1992. Cela se traduit, entre autres, par une réduction d'environ 50 % des dépenses d'investissement des laboratoires, ce qui permet d'économiser environ 4,2 % du budget, et par des économies sur d'autres postes représentant environ 1,5 % du budget. Seules les dépenses incompressibles d'entretien des bâtiments ont été maintenues. M. Quinn ajoute qu'il lui semble que les économies, en fait, pourraient être encore plus importantes, de l'ordre de 8 %, si l'on tient compte de la réduction des dépenses salariales résultant du non-remplacement des postes devenus vacants du fait de départs à la retraite et du report et de la limitation des engagements de chercheurs associés. Il fait remarquer au Comité que, si les projets de dépenses approuvées par la 19<sup>e</sup> Conférence générale pour la période de 1993 à 1996 ne sont pas revus à la baisse, comme les versements des contributions sont inférieurs aux prévisions, les réserves (Compte I), qui étaient de 12 400 000 francs-or au 31 décembre 1991, seront réduites à néant à la fin de 1996.

M. Quinn poursuit en disant que, bien que des économies budgétaires telles que celles qui ont été effectuées en 1992 soient sans danger si elles durent un voire deux ans, il est cependant impossible au BIPM, sur une période plus longue, de mener à bien le programme de travail scientifique actuel en réduisant de moitié le budget d'investissement voté pour les laboratoires ; le BIPM ne peut pas non plus remettre indéfiniment à plus tard ses dépenses d'entretien des bâtiments.

Dans le budget voté par le CIPM pour 1992, environ 74 % des dépenses sont consacrées au personnel (soit environ 50 % pour les traitements et 24 % pour les allocations, la caisse de retraites et l'assurance maladie et accidents du travail). M. Quinn trouve que ce chiffre représente déjà un pourcentage trop élevé et inquiétant. Jusqu'à 1985, les dépenses de personnel représentaient entre 60 % et 65 % du budget, mais l'augmentation de la contribution du BIPM à la Caisse de retraites, l'augmentation de 4,5 % des traitements à compter du 1<sup>er</sup> janvier 1990 et la prise en charge du Temps atomique international (TAI) sans augmentation correspondante de la dotation, ont rendu ce pourcentage impossible à respecter. Il aurait fallu de toute façon prendre des mesures à long terme pour corriger ce déséquilibre, même sans que survienne une chute de 10 % des contributions.

La seule manière de réaliser des économies importantes consiste à réduire le montant total des coûts salariaux. Quatre des membres du

personnel qui prendront leur retraite en 1992 et 1993 ne seront pas remplacés. Les économies qui en résulteront et qui seront faites sur le budget annuel sont estimées à 2,9 % de la dotation en 1993 et 4,7 % en 1994 et 1995.

Actuellement, les salaires du BIPM suivent l'indice de l'INSEE (l'Office statistique du gouvernement français) pour les organisations internationales installées en France. Cet indice a augmenté de 3,7 % en 1991 et il devrait augmenter de 3,9 % en 1992. M. Quinn propose de limiter l'augmentation globale des dépenses liées aux salaires à 4 % par an pour les années 1993 à 1996. Conjuguées aux économies découlant des départs en retraite dont il a été fait mention plus haut, ces mesures devraient limiter l'augmentation de la masse salariale entre 1992 et 1996 à 8,5 %. Ce chiffre est bien inférieur à celui qui avait été envisagé par la 19<sup>e</sup> Conférence générale et devrait faire passer en 1996 le pourcentage du budget consacré aux dépenses salariales en-dessous de 70 %.

Les économies consécutives au changement de régime d'assurance maladie s'élèvent environ à 750 000 francs-or par an. Le CIPM a décidé en 1991 de transférer la totalité des économies réalisées sur un compte spécial (Compte VII) jusqu'à concurrence de 2 000 000 à 3 000 000 francs-or. M. Quinn propose, compte tenu des circonstances particulières actuelles, de consacrer la moitié des économies annuelles (soit 375 000 francs-or) à l'entretien des bâtiments, et de consentir à ce que le fonds de garantie du système d'assurance maladie augmente plus lentement.

M. Quinn propose, pour les années 1993 à 1996, de limiter les dépenses d'investissement des laboratoires à 90 % du montant prévu par la 19<sup>e</sup> Conférence générale. L'ensemble de ces mesures devrait, selon lui, permettre d'obtenir un budget en équilibre en 1996, pourvu que l'inflation en France reste à un niveau inférieur ou égal à 4 %, et que les contributions versées par les États membres, autres que l'ex-URSS, se situent au niveau moyen de ces dix dernières années, c'est-à-dire 98 % du montant des dotations votées par les Conférences générales. D'après ce plan, les sommes à prendre sur les réserves pour les années 1992 à 1995 sont estimées à :

1992	—	1 300 000 francs-or
1993	—	1 100 000 francs-or
1994	—	500 000 francs-or
1995	—	300 000 francs-or
Total		<hr/> 3 200 000 francs-or.

Les réserves passeront ainsi de 12 400 000 francs-or (au 31 décembre 1991) à 9 200 000 francs-or (au 31 décembre 1995).

Une longue discussion s'ensuit et les priorités sont discutées. En particulier, M. Clapham souligne l'importance des dépenses d'entretien

des bâtiments ; le pourcentage de 2 à 3 % du budget qui leur est consacré actuellement est insuffisant à long terme. M. Vanier ajoute que les voyages et transports d'appareils sont importants pour le travail du BIPM et que les dépenses qui leur sont consacrées ne doivent pas être réduites. Finalement, le Comité approuve les propositions présentées par M. Quinn.

## 5. Comités consultatifs

### 5.1. Comité consultatif d'électricité

M. Kind, président du Comité consultatif d'électricité (CCE), présente un court rapport sur les activités du CCE, qui s'est réuni pour sa 19<sup>e</sup> session les 15 et 16 juin 1992 au BIPM.

C'est la première réunion du CCE depuis l'entrée en vigueur des nouvelles valeurs numériques recommandées pour les constantes de Josephson et de von Klitzing au 1<sup>er</sup> janvier 1990. Ce fut une bonne décision, car nous n'avons pas eu connaissance de difficultés réelles lors de la mise en pratique de ces nouvelles valeurs.

M. Kind souligne l'importance de la Recommandation E 1 (1992) sur le raccordement des résultats de comparaisons régionales d'étalons de mesure par l'intermédiaire du BIPM, une recommandation dont la portée dépasse le CCE. Certaines organisations régionales, en particulier EUROMET, mettent en œuvre un grand nombre de comparaisons. Il est nécessaire que le BIPM reste en contact avec ces travaux et publie les résultats des comparaisons, et qu'il montre comment les mesures faites au niveau des organisations régionales se raccordent à celles du BIPM. M. Clapham, président du CCDM, approuve cette recommandation. M. Lyons aussi, et il rappelle des discussions similaires tenues il y a deux ans. M. Wang remarque qu'il est temps d'élaborer des règles générales et de donner des lignes directrices pour organiser la coopération en métrologie à un niveau général. Le président conclut que le CIPM doit essayer de formuler cette recommandation pour lui donner une portée plus large.

M. Quinn suggère que le CIPM rédige une recommandation à partir de cette recommandation du CCE et demande que le BIPM soit informé des résultats des comparaisons régionales. M. Vanier ajoute que, du fait de l'existence de groupes régionaux (Europe, Amérique, Asie), il serait utile que le BIPM joue un rôle de coordination et assure le raccordement entre les différentes régions.

En conclusion, M. Kind souligne qu'il est inconcevable, pour des raisons techniques, que le BIPM participe à toutes les comparaisons, mais il est d'accord avec M. Vanier pour dire que le BIPM doit jouer un rôle de liaison dans la coordination de ces comparaisons. Le raccordement

général des résultats des comparaisons régionales doit être un des rôles clés du BIPM.

Le CIPM adopte la Recommandation 1 (CI-1992), qui reprend, dans des termes plus généraux et de plus large portée, la recommandation du CCE sur la reconnaissance mondiale des résultats de comparaisons d'étalons de mesure.

## 5.2. Comité consultatif pour la définition du mètre

M. Clapham, président du Comité consultatif pour la définition du mètre (CCDM), présente son rapport provisoire sur la 8<sup>e</sup> session du CCDM, qui s'est réuni du 9 au 11 septembre 1992 au BIPM.

C'est la première réunion de ce comité depuis la recommandation, en 1982, de la nouvelle définition du mètre et son adoption, en 1983, par la 17<sup>e</sup> Conférence générale. M. Clapham rappelle que la définition avait été délibérément rédigée dans des termes généraux pour permettre de prendre en compte les progrès réalisés dans les mesures de fréquence ou de longueur d'onde des radiations sans avoir à changer la définition elle-même. Il remarque que cela a bien fonctionné.

Une des tâches importantes de ce comité était de considérer s'il était sage et nécessaire de réviser la mise en pratique de la définition du mètre. Les membres du comité étaient tous d'accord sur la nécessité de mettre à jour les valeurs des fréquences et de réduire les valeurs des incertitudes de mesure. La proposition d'ajouter trois radiations supplémentaires à la liste des radiations recommandées de 1982 a été appuyée par un grand nombre de participants.

Dans sa Recommandation M 1 (1992), le CCDM propose une révision de la mise en pratique. Un groupe de travail du CCDM a été créé pour mettre au point la révision et l'extension de la liste des radiations recommandées par le CIPM en 1982. D'après M. Clapham, ce groupe de travail espère terminer cette tâche d'ici à la fin de 1992 pour que le texte modifié de la mise en pratique puisse être soumis, par correspondance, à l'approbation tout d'abord du CCDM, puis du CIPM, au début de 1993.

Les laboratoires nationaux sont encouragés à continuer leurs recherches sur les nouvelles techniques d'asservissement des sources utilisables comme étalons de fréquence, en particulier dans le visible. Lors de la préparation de la Recommandation M 2 (1992) sur les études à poursuivre, le CCDM n'a pas restreint ses discussions au niveau d'exactitude le plus élevé. Il a réfléchi aux priorités à définir pour les comparaisons internationales dans le domaine de la métrologie dimensionnelle traditionnelle. Dans la discussion qui suit, MM. Clapham et Kind sont d'avis que cette recommandation est propre au CCDM ;

MM. Crovini, Kovalevsky et Lyons mentionnent des préoccupations de même nature dans d'autres domaines.

La discussion revient ensuite sur la mise en pratique. Le secrétaire en souligne l'importance. Il pense que le texte doit en être approuvé par le CIPM, sur recommandation du CCDM. M. Crovini est aussi d'avis que l'approbation officielle du CIPM est nécessaire, les étalons nationaux étant fondés sur les recommandations du CIPM. M. Quinn note que la nouvelle mise en pratique ne sera pas un document complètement nouveau, ce sera une mise à jour du texte actuel dont la structure générale restera inchangée. M. Giacomo considère comme important de préciser très clairement que les valeurs mentionnées dans la nouvelle version de la mise en pratique se situent dans les limites d'incertitude des anciennes valeurs et ne sont pas en contradiction avec celles-ci.

Enfin, le CIPM décide que l'adoption de la version finale de la Recommandation M 1 (1992) du CCDM comme Recommandation 3 (CI-1992) se fera par correspondance. Ce vote aura lieu au début de l'année 1993, quand la mise au point de la nouvelle liste des radiations recommandées sera terminée et aura été approuvée par le CCDM. Les documents concernant la nouvelle mise en pratique seront publiés en annexe du rapport du CCDM et dans *Metrologia*.

Après discussion, le CIPM prend acte de la Recommandation M 2 (1992) sur les études à poursuivre.

MM. Crovini, Lyons et Kovalevsky suggèrent que le CIPM s'inspire de la Recommandation M 2 (1992) pour préparer une nouvelle recommandation, qui insiste sur la nécessité à long terme de poursuivre les recherches en métrologie fondamentale. M. Lyons exprime ses inquiétudes sur l'état de santé général de la métrologie et souligne l'importance d'attirer l'attention des gouvernements sur cette situation. Le CIPM prépare et adopte la Recommandation 2 (CI-1992) sur les besoins de recherches métrologiques à long terme.

### **5.3. Présidence de comités consultatifs**

Le Président rappelle au Comité que trois comités consultatifs n'ont pas de président.

M. Bray, président du Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées (CCM), a démissionné du CIPM cette année. M. Iizuka, spécialiste de ce domaine, est choisi pour lui succéder.

M. Preston-Thomas, président du Comité consultatif de thermométrie (CCT), a démissionné du CIPM au mois de juin 1992. M. Crovini, spécialiste de thermométrie, est nommé pour lui succéder à la présidence du CCT.



M. Sala, président du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI), est démissionnaire du CIPM à la fin de la session de 1992. M. Vanier accepte de devenir le nouveau président du CCEMRI. Bien qu'il ne soit pas spécialiste dans ce domaine, M. Vanier assure au CIPM qu'il consacrera toute son attention à cette tâche. M. Quinn lui présente alors l'organisation du CCEMRI et de ses trois sections.

#### 5.4. Composition des comités consultatifs

Le CIPM passe en revue la composition des comités consultatifs, comme il est de règle l'année qui suit une Conférence générale. La liste complète des membres des comités consultatifs est donnée à la fin du rapport.

#### 5.5. Réunions futures des comités consultatifs

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

CCDM	aucune date n'est fixée
CCDS	24-26 mars 1993 (précédée de la réunion du Groupe de travail sur le TAI les 22 et 23 mars 1993)
CCE	aucune date n'est fixée
CCEMRI	printemps 1994 Section I et Section III : 19-23 avril 1993 Section II : 1-3 juin 1993
CCM	9-11 juin 1993 (précédée des réunions des groupes de travail, les 7 et 8 juin 1993)
CCPR	septembre 1994
CCT	7-9 septembre 1993
CCU	aucune date n'est fixée.

### 6. Travaux du BIPM : Rapport du directeur

#### *Travaux du BIPM*

M. Quinn présente rapidement le travail effectué au BIPM depuis la dernière session, en mettant l'accent sur les relations extérieures de chaque section (publications dans les revues scientifiques, voyages, visites et comparaisons internationales). Il invite le personnel scientifique du BIPM à présenter ses travaux au CIPM, rappelant les objectifs des programmes présentés, et rappelle qu'une visite des laboratoires est prévue dans l'après-midi.

Les exposés soulèvent nombre de commentaires et de questions, en particulier sur la stabilité des prototypes du kilogramme, sur le TAI et à propos de la mise à jour de la mise en pratique de la définition du mètre. Des problèmes techniques relatifs à d'autres domaines d'activité font aussi l'objet de questions, ainsi que le rôle du BIPM dans la recherche et le transfert de techniques.

Le président remercie les physiciens pour la présentation fort intéressante des travaux qu'ils ont effectués depuis l'année passée et ceux qui sont envisagés pour l'avenir.

Il remercie Mme Müller, secrétaire de la section des rayonnements ionisants, dont c'est la dernière journée de travail, et lui souhaite tout le bonheur possible dans sa retraite.

Comme M. Girard prendra sa retraite l'année prochaine, il retrace ensuite en quelques mots la carrière de celui-ci, qui travaille au BIPM depuis octobre 1945. Il a apporté son concours à la deuxième vérification périodique des prototypes nationaux du kilogramme en 1946-1947 ; il a pris part en 1959 aux mesures de longueur avec  $\mathfrak{M}$ , le prototype international du mètre ; il est devenu responsable de la section des masses en 1963 après le départ en retraite d'Albert Bonhore. Depuis 1963, M. Girard s'est aussi occupé de la mesure des fils géodésiques, il a effectué des mesures de la masse volumique de l'eau, et mené à bien la troisième vérification périodique des prototypes nationaux du kilogramme. M. Girard a vraiment consacré toute sa carrière aux objectifs primordiaux du BIPM. Au nom du CIPM, le président l'en remercie et lui souhaite une heureuse retraite.

M. Girard remercie le président et les membres du CIPM, passés et présents, pour leur aide tout au long de ces années.

#### *Dépôt des prototypes*

Il n'y a pas eu de visite du Dépôt des prototypes cette année. Le prototype international du kilogramme ne se trouve pas dans le Caveau car il est utilisé pour la troisième vérification périodique des prototypes nationaux.

#### *Orientation future des travaux de la section des rayonnements ionisants du BIPM*

En réponse à une demande faite lors de la session de 1991 du CIPM, le directeur du BIPM présente au Comité un document qu'il a préparé sur l'orientation future des travaux de la section des rayonnements ionisants du BIPM.

M. Quinn rappelle aux membres du CIPM la discussion qui avait eu lieu au Comité en 1985 sur le travail de cette section, dans le cadre de la discussion sur le plan à long terme pour le travail scientifique

au BIPM. À cette époque, le Comité a décidé que la priorité, en dosimétrie, devait être donnée au domaine des rayons X et  $\gamma$ , et que les efforts et ressources consacrés au travail sur les neutrons devraient être progressivement transférés sur ce domaine, tout en conservant un minimum de compétence technique dans le domaine des neutrons.

Il résume ensuite les activités de la section des neutrons du BIPM depuis sa création il y a vingt-cinq ans, en liaison avec le travail de la Section III du CCEMRI et avec les laboratoires nationaux. Il présente ensuite les conséquences du départ à la retraite de M. Huynh et de celui de son technicien, M. Lafaye, départs prévus tous deux d'ici trois ans. Ses conclusions sont les suivantes :

- Le programme de travail mis en œuvre depuis les années 1960 par la Section III du CCEMRI a toujours couvert un domaine beaucoup plus vaste que celui que le BIPM a pu prendre en charge. Toutefois, le travail effectué au BIPM a constitué un point de mire utile pour les travaux effectués au niveau international et, au début, cela a été probablement essentiel pour donner l'impulsion initiale à une activité dans ce domaine au niveau mondial.
- À l'avenir, l'accent mis sur l'étude des neutrons thermiques et des neutrons de haute énergie (au-dessus de 14 MeV), déjà perceptible dans le programme des comparaisons futures de la Section III, sera de plus en plus marqué ; cela aura pour conséquence de réduire encore le rôle du BIPM dans ces comparaisons. Comme les comparaisons internationales sont une des principales justifications de l'existence du BIPM, cette réduction constitue un argument puissant pour transférer les ressources consacrées aux mesures neutroniques aux autres domaines d'activité de la section.
- En ce qui concerne les étalonnages, on peut se demander ce qui justifie le maintien d'un service qui, depuis plus de vingt ans, n'a été utilisé que par un seul pays.
- Le remplacement de M. Huynh par un physicien très qualifié et expérimenté dans le domaine de la dosimétrie neutronique, mais qui accepterait de travailler en principe seul avec un technicien, risque de poser de gros problèmes. Il serait difficile de promettre à une telle personne une carrière satisfaisante et fructueuse.

L'absence quasi-complète de possibilités de recherche, du fait du manque de temps et de ressources, est contraire à l'un des principes fondamentaux qui conditionnent le succès d'un laboratoire scientifique. Au BIPM, nous devons maintenir dans chaque section un équilibre convenable entre les comparaisons internationales et étalonnages d'une part, et d'autre part leur soutien par des travaux de recherche appropriés. Il faut rendre hommage à M. Huynh d'avoir pu accomplir son travail dans ces conditions, mais ce n'est pas une bonne perspective pour l'avenir.

- Dans l'éventualité d'une cessation d'activité du groupe de mesures neutroniques du BIPM, il sera nécessaire de confier à des laboratoires nationaux appropriés quelques-uns des étalons de transfert déposés au BIPM après diverses comparaisons internationales.
- Le report sur le groupe des rayons X et  $\gamma$  des deux postes actuellement attribués aux mesures neutroniques permettra de renforcer de manière significative et utile ce domaine d'activité. De plus, pour l'avenir, cela permettra de conserver un niveau convenable d'activité dans ce domaine après le départ en retraite, avant cinq ans, de Mme Perroche, chercheur associé du SCPRI. Un tel report, même s'il est conforme à la décision prise par le CIPM en 1985 de renforcer et d'assurer l'avenir des mesures dans le domaine des rayons X et  $\gamma$ , ne pourra malheureusement pas permettre de maintenir un minimum de compétence technique dans le domaine des neutrons. Compte tenu du nombre restreint de personnes engagées dans ce travail, il semble toutefois impossible d'effectuer ce transfert tout en maintenant, à long terme, des compétences pratiques valables dans le domaine neutronique.

M. Quinn informe ensuite le Comité que M. Müller, responsable de la section des rayonnements ionisants du BIPM, est d'accord avec ces conclusions. Il ajoute que M. Lewis, président de la Section III du CCEMRI, a été consulté et qu'il est aussi d'accord, tout en regrettant que le BIPM ne puisse pas disposer des ressources suffisantes pour continuer à financer le travail à la fois sur les neutrons et sur les rayons X et  $\gamma$ . M. Lewis a tenu aussi à féliciter M. Huynh pour l'excellent travail qu'il a effectué pendant de nombreuses années. M. Quinn attire ensuite l'attention du Comité sur le fait que la Section III, lors de sa réunion de 1991, a discuté du travail sur les neutrons au BIPM et a demandé avec insistance qu'il soit poursuivi.

Certains membres du Comité donnent ensuite leur avis sur les conclusions présentées par M. Quinn. M. Iizuka regrette que le BIPM soit obligé de cesser toute activité dans le domaine des mesures neutroniques, bien qu'il comprenne et admette qu'il n'y ait pas d'autre alternative dans les circonstances présentes. M. Lyons, après avoir consulté les experts du NIST dans le domaine des rayonnements ionisants, est arrivé aux mêmes conclusions que M. Quinn. M. Clapham aussi, et il ajoute que les utilisateurs du service d'étalonnage neutronique du BIPM peuvent aussi s'adresser à des laboratoires nationaux tels que le NPL ou la PTB. M. Blevin est lui aussi d'accord avec ces conclusions, mais il demande s'il serait possible de conserver les installations pour que des stagiaires puissent les utiliser occasionnellement et maintenir les activités du BIPM dans ce domaine. M. Quinn répond qu'il a discuté de cette possibilité avec MM. Müller et Huynh, mais ils pensent que la source à haute tension est ancienne et délicate et qu'elle risque de tomber en panne, si elle n'est

pas utilisée régulièrement ; une telle solution ne serait donc pas viable. Le président dit alors, qu'après avoir consulté les experts du domaine neutronique à la PTB, il est lui aussi parvenu aux conclusions présentées par M. Quinn et il propose qu'elles soient approuvées par le Comité. Il est donc décidé de cesser le programme de mesures neutroniques au BIPM, après le départ en retraite de M. Huynh, et de transférer les deux postes au domaine des rayons X et  $\gamma$ . Cette décision, dit le président, ne diminue en rien l'importance du travail de la Section III du CCEMRI.

### **7. Rapport du Groupe de travail du CIPM sur la métrologie en chimie**

M. Lyons, président du Groupe de travail du CIPM sur la métrologie en chimie, présente son rapport sur les toutes premières activités de ce groupe de travail et sa composition. Ce groupe a été constitué en invitant les membres de l'ancien Groupe de travail *ad hoc* du CIPM sur les mesures chimiques et physico-chimiques, un représentant de l'UICPA et des experts proposés par des membres du CIPM. En tout, quinze membres du Groupe de travail *ad hoc* ont accepté d'en faire partie, mais tous ne sont pas encore prêts à prendre part au travail pratique. Le programme proposé est, dans ses grandes lignes, le suivant : des échantillons, solutions de métaux lourds dans de l'acide et de l'eau (à un niveau de fraction massique de quelques  $10^{-6}$ ) seront préparés par des méthodes gravimétriques au NIST ; ils seront distribués aux laboratoires participants pour y être analysés, en utilisant la méthode de spectrométrie de masse par dilution isotopique. Des laboratoires qui ne pratiquent pas cette méthode pourront présenter des résultats obtenus au moyen d'autres techniques, comme éléments de comparaison. Il s'agit tout d'abord d'effectuer une simple vérification des techniques de laboratoire et des méthodes employées. M. Lyons dit ensuite que l'initiative du CIPM semble avoir déjà eu des retombées, puisque d'autres groupes ont commencé de semblables expériences. Il mentionne Eurachem et la conférence Pittsburgh qui doit avoir lieu à Atlanta en 1993.

Le président dit ensuite que le meilleur exemple que le Comité pourra donner sera d'effectuer des comparaisons, même restreintes à cinq ou six laboratoires seulement. Il demande instamment à M. Lyons d'agir le plus vite possible, et de ne pas s'inquiéter si le nombre de participants reste restreint. Ce qui lui semble important, ainsi qu'à d'autres membres du Comité, c'est d'obtenir rapidement quelques bons résultats. M. Lyons est de cet avis, mais il ajoute que le Comité doit être prudent.

### **8. Discussion sur le projet de *Guide to the expression of uncertainty in measurement***

M. Quinn informe le Comité que le projet de document sur l'expression des incertitudes de mesure préparé par le Groupe de travail 3 de

l'ISO/TAG 4 a été diffusé largement aux membres des comités consultatifs. MM. Giacomo et Müller représentaient le BIPM pour la préparation de ce document, et M. Taylor, qui est en grande partie responsable du texte actuel, représentait le NIST. De nombreux commentaires de nature éditoriale ont été reçus, mais peu de critiques de fond.

Après discussion, le CIPM propose d'envoyer une lettre à l'ISO pour exprimer son approbation du document. La déclaration suivante est préparée :

Le CIPM a accueilli avec satisfaction les progrès faits par le Groupe de travail 3 de l'ISO TAG 4 en vue de faire connaître et mettre en œuvre la Recommandation 1 (CI-1981) relative à l'expression des incertitudes expérimentales.

Le Comité a exprimé son approbation de l'esprit et du sens général du document *Guide to the expression of uncertainty in measurement*, tout en notant qu'il reste au groupe de travail de l'ISO à mettre au point la rédaction, compte tenu des commentaires qu'il reçoit encore. De plus, le Comité souhaite que l'ISO publie ce document, dans sa forme finale, dès que possible.

## 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 1991*, et le rapport de l'expert comptable pour 1991. Ces rapports sont approuvés à l'unanimité et quitus est donné au directeur et à l'administrateur du BIPM.

L'état d'avancement du budget pour l'exercice 1992, qui a déjà fait l'objet de discussions au point 4 de l'ordre du jour, est approuvé.

Un projet de budget pour 1993 est présenté. Il tient compte de l'éventualité du non-paiement des contributions de la Fédération de Russie. M. Quinn attire l'attention des membres du Comité sur la nouvelle ligne budgétaire intitulée « F - Fonds de réserve ». Celle-ci a pour objet d'indiquer que l'on s'attend à une diminution des ressources et que le budget a été conçu de manière à ne pas utiliser la totalité de la dotation votée par la 19<sup>e</sup> Conférence générale. Il fait remarquer, à nouveau, que les réserves (le montant du Compte I à la fin de chaque année) sont insuffisantes et qu'il convient de faire des efforts, dans les années à venir, pour porter ce montant à un niveau considéré comme prudent par le Comité, c'est-à-dire les deux-tiers du budget annuel.

Le projet de budget pour 1993 est approuvé.

## BUDGET POUR 1993

### RECETTES

	francs-or
<i>Recettes budgétaires :</i>	
1. Contributions des États . . . . .	21 761 000
2. Intérêts des fonds . . . . .	1 100 000
3. Taxes de vérification . . . . .	110 000
Total . . . . .	<u>22 971 000</u>

### DÉPENSES

<i>A. Dépenses de personnel :</i>	
1. Salaires . . . . .	10 418 000
2. Allocations familiales et sociales . . . . .	1 902 000
3. Sécurité sociale . . . . .	901 000
4. Assurance accidents . . . . .	39 000
5. Caisse de retraites . . . . .	1 667 000
	} 14 927 000
<i>B. Dépenses de fonctionnement :</i>	
1. Mobilier . . . . .	30 000
2. Laboratoires et ateliers . . . . .	1 077 000
3. Chauffage, eau, énergie électrique . . . . .	607 000
4. Assurances . . . . .	65 000
5. Impressions et publications . . . . .	231 000
6. Frais de bureau . . . . .	372 000
7. Voyages et transports d'appareils . . . . .	426 000
8. Entretien courant . . . . .	374 000
9. Bureau du Comité . . . . .	48 000
	} 3 230 000
<i>C. Dépenses d'investissement :</i>	
1. Laboratoires . . . . .	2 261 000
2. Atelier de mécanique . . . . .	67 000
3. Bibliothèque . . . . .	244 000
	} 2 572 000
D. Bâtiments (gros travaux d'entretien et de rénovation).	900 000
E. Frais divers et imprévus . . . . .	210 000
F. Fonds de réserve . . . . .	1 132 000
Total . . . . .	<u>22 971 000</u>

Le dernier document soumis au CIPM est le tableau de répartition de la dotation pour 1993. Une colonne supplémentaire a été ajoutée cette année pour tenir compte de la rectification à apporter à la contribution des États pour l'année 1992, en raison des nouveaux coefficients, votés en décembre 1991 et recommandés en juin 1992, par le Comité des contributions des Nations unies, pour les années 1992 à 1994.

Quelques membres du CIPM demandent comment le BIPM calcule les parts contributives. M. Quinn répond que les pourcentages de répartition des contributions au BIPM sont calculés à partir des coefficients votés par le Comité des contributions des Nations unies, modifiés par application de la règle du pourcentage maximal et du pourcentage minimal définie dans la Résolution 8 de la 18<sup>e</sup> Conférence générale en 1987. Les coefficients sont réévalués par le Comité des contributions des Nations unies tous les trois ans et votés par l'Assemblée générale des Nations unies. La plupart du temps, les nouveaux coefficients ne sont connus qu'au milieu de la première de ces trois années. Les pourcentages de répartition pour cette première année sont alors calculés sur la base de l'année précédente et les rectifications qui résultent de l'application des nouveaux coefficients sont appliquées l'année suivante. C'est le cas pour 1992 (la première des trois années 1992-1994). Cette fois-ci, les changements des coefficients de répartition votés par les Nations unies sont beaucoup plus importants que les années passées. C'est pourquoi certains États membres de la Convention du Mètre vont constater que leur contribution au BIPM pour 1993, tenant compte de la rectification de la contribution pour 1992, diffère nettement du montant qui figure dans la *Notification des parts contributives* pour 1992. M. Quinn précise aux membres du Comité qu'il a déjà informé les gouvernements, par l'intermédiaire de leurs ambassades à Paris, des changements intervenus dans le coefficient de répartition des contributions des États pour 1992 et qu'il les a avisé que les rectifications seraient portées dans la *Notification des parts contributives pour 1993*.

En réponse aux questions qui lui sont posées, M. Quinn ajoute que, suivant le *Règlement* annexé à la *Convention du Mètre* et les décisions des Conférences générales, il n'a aucune marge de manœuvre pour l'application de ces nouveaux coefficients.

### *Metrologia*

M. Blackburn, est invité à assister à la séance pour faire le point au sujet de la revue *Metrologia*.

M. Quinn exprime sa satisfaction de voir que *Metrologia* paraît maintenant six fois par an. Il remarque que le lent déclin des abonnements semble stoppé et que même quelques nouveaux abonnements sont souscrits.

Le budget de l'exercice en cours et le projet de budget pour 1993 sont présentés et approuvés. Les recettes de 1993 devraient permettre de



couvrir une grande partie des salaires de M. Blackburn et de son assistante et des frais d'impression.

M. Blackburn signale que le coût de production de *Metrologia* par le BIPM a été supérieur aux prévisions, mais que des économies substantielles ont pu être réalisées en confiant l'impression de *Metrologia* à Gauthier-Villars. M. Blackburn espère réaliser une économie de l'ordre de 10 % en encourageant les auteurs à envoyer leurs articles sur disquette. Une campagne de publicité a été lancée. Elle visera tout d'abord les États-Unis d'Amérique, puis l'Asie, où les abonnés sont trop peu nombreux. La campagne sera ensuite étendue à l'Europe de l'Est, où Springer-Verlag avait coutume de distribuer des exemplaires gratuits, et où les institutions pourraient vouloir compléter leurs collections.

Le président félicite M. Blackburn pour les bons résultats de *Metrologia*, qui est une activité importante pour le prestige du BIPM et du Comité.

## 10. Questions diverses

### 10.1. Membres du CIPM

MM. Sala et Wang Daheng ayant informé le CIPM de leur intention de démissionner, une discussion s'ensuit sur des candidats éventuels. Le président rappelle aux membres que ces deux démissions portent à trois le nombre de sièges vacants au CIPM.

### 10.2. Membre honoraire

Le président propose que M. Preston-Thomas soit élu membre honoraire du CIPM. M. Preston-Thomas est membre du CIPM depuis 1969, et vice-président depuis 1984 ; il a participé à toutes les sessions du CCT depuis 1954 et en est le président depuis 1971. Il a aussi été rédacteur de *Metrologia* de 1968 à 1980. Cette proposition est chaleureusement accueillie par les membres du CIPM et approuvée à l'unanimité.

### 10.3. Groupe de travail sur l'application de la relativité générale à la métrologie

M. Kovalevsky explique le contexte de la proposition faite de créer un groupe de travail sur l'application de la relativité générale à la métrologie. Il souligne qu'il ne s'agit pas de s'impliquer dans l'étude des questions de base sur l'interprétation de la relativité générale, mais d'étudier la question très spécifique de son application à la métrologie du temps et des longueurs. Le Comité approuve cette proposition, dans ces termes

restreints, mais il est d'avis que ce groupe de travail doit être rattaché au CCDS et non au CIPM.

M. Clapham craint que la crédibilité actuelle de la définition du mètre ou de sa mise en pratique ne soit mise en question. M. Pâquet dit clairement qu'il ne s'agit pas de modifier la définition du mètre ou de la seconde, mais de s'assurer que les effets relativistes sont pris en compte dans les mises en pratique de ces définitions.

M. de Boer attire l'attention sur le fait que la tâche de ce groupe de travail est très délicate, car les physiciens ne sont pas d'accord entre eux sur les concepts fondamentaux de la relativité générale. Le Comité doit donc faire très attention à ne pas entrer dans des controverses touchant à ces questions. Pourtant, il serait utile d'essayer d'arriver à un accord sur l'application de ces concepts dans un domaine bien délimité.

Le CIPM décide d'inviter le CCDS à créer un groupe de travail sur ce thème au cours de sa session de mars 1993. Le CCDS précisera et soumettra au CIPM en septembre 1993 la mission de ce groupe de travail. Il n'entre pas pour autant dans les intentions du CIPM de retarder le travail de ce groupe de travail.

#### **10.4. Prochaine session du CIPM**

Le CIPM décide que la prochaine session du CIPM se tiendra du 21 au 23 septembre 1993.

Le président clôt la 81<sup>e</sup> session du CIPM et remercie tous les participants pour leur contribution au succès de cette réunion.

**Recommandations  
adoptées  
par le Comité international des poids et mesures  
à sa 81<sup>e</sup> session**

---

Reconnaissance mondiale des résultats de comparaisons d'étalons de mesure

RECOMMANDATION 1 (CI-1992)

Le Comité international des poids et mesures (CIPM),

*considérant*

— les exigences croissantes de traçabilité des mesures à différents niveaux d'exactitude pour les sciences, les techniques et le commerce international,

— l'existence de groupes régionaux au sein desquels collaborent des laboratoires nationaux,

— le besoin d'une reconnaissance à l'échelle mondiale des résultats de comparaisons d'étalons effectuées, au sein de ces groupes régionaux, par ces laboratoires dont certains ne participent pas aux comparaisons effectuées sous les auspices du CIPM,

— le rôle du Bureau international des poids et mesures (BIPM) dans la coordination et l'exécution, à l'échelle mondiale, de comparaisons d'étalons au plus haut niveau,

— l'impossibilité pratique pour le BIPM de conduire des travaux dans tous les domaines et à tous les niveaux,

*décide* que, le cas échéant, le BIPM devra effectuer des comparaisons, directement ou par l'intermédiaire des membres des Comités consultatifs, avec un ou plusieurs laboratoires des États membres de la Convention du Mètre qui participent aux comparaisons régionales, afin que les résultats de ces comparaisons puissent être reliés entre eux et bénéficier ainsi d'une reconnaissance internationale plus large, et

*recommande* aux laboratoires nationaux de faire le nécessaire pour que le BIPM soit informé de l'état d'avancement et des résultats de ces comparaisons, en particulier lorsqu'elles sont organisées par des groupes régionaux, afin qu'il puisse les publier ou y faire référence.

## Besoins de recherches métrologiques à long terme

### RECOMMANDATION 2 (CI-1992)

Le Comité international des poids et mesures,

*considérant*

— que les besoins des sciences, des techniques et du commerce international en matière d'exactitude et d'efficacité des mesures croissent de façon permanente,

— que la mise au point de meilleurs étalons et techniques de mesure doit être souvent effectuée bien avant leur application dans les domaines scientifiques et industriels,

— que de tels progrès ne peuvent avoir lieu qu'à partir de bases solidement établies sur des recherches métrologiques à long terme, elles-mêmes étroitement liées aux progrès des sciences,

*recommande* que les laboratoires nationaux

— continuent à entreprendre des recherches métrologiques à long terme aussi bien qu'à répondre aux besoins plus immédiats des services métrologiques,

— informent régulièrement le Bureau international des poids et mesures des résultats des travaux liés à la métrologie fondamentale.

## Révision de la mise en pratique de la définition du mètre

### RECOMMANDATION 3 (CI-1992)

Le Comité international des poids et mesures,

*rappelant*

— que la 17<sup>e</sup> Conférence générale des poids et mesures (CGPM), en 1983, a adopté une nouvelle définition du mètre,

— que la même CGPM a invité le Comité international des poids et mesures (CIPM)

— à établir des instructions pour la mise en pratique de cette définition,

— à choisir des radiations qui puissent être recommandées comme étalons de longueur d'onde pour les mesures de longueur par interférométrie et à donner les instructions nécessaires pour leur utilisation,

— à poursuivre les études nécessaires pour améliorer ces étalons et à étendre ou réviser ces instructions en temps utile, si besoin est,

— que le CIPM, en conséquence, a publié en 1983 une liste des radiations recommandées pour la mise en pratique de la définition du mètre,

*considérant*

— que les sciences et les techniques continuent à exiger une exactitude croissante des réalisations du mètre,

— que, depuis 1983, les travaux effectués dans les laboratoires nationaux, au BIPM et ailleurs, ont amélioré de façon substantielle la reproductibilité des radiations qui peuvent être utilisées pour la mise en pratique de la définition du mètre,

— que ces travaux ont aussi permis de réduire notablement l'incertitude associée à la valeur de la fréquence et de la longueur d'onde de certaines de ces radiations,

*décide* que la liste des radiations recommandées par le CIPM en 1983 (Recommandation 1 (CI-1983)) soit remplacée par la liste des radiations recommandées donnée ci-après.

#### LISTE DES RADIATIONS RECOMMANDÉES, 1992

Cette liste remplace celle qui avait été publiée dans *BIPM Proc.-Verb. Com. int. poids et mesures*, 1983, 51, 25-28 et dans *Metrologia*, 1984, 19, 165-166.

Dans cette liste, les valeurs de la fréquence  $f$  et de la longueur d'onde  $\lambda$  (d'une même radiation) devraient être liées exactement par la relation  $\lambda f = c$ , avec  $c = 299\,792\,458$  m/s, mais les valeurs de  $\lambda$  sont arrondies.

Les résultats de mesures qui ont été utilisés pour la compilation de cette liste, et leur analyse, sont donnés dans l'annexe : Données utilisées pour établir la liste des radiations recommandées, 1992, et Bibliographie commentée\*.

Il faut noter que, pour plusieurs de ces radiations recommandées, nous ne disposons que de peu de valeurs indépendantes ; il en résulte que les incertitudes estimées peuvent ne pas refléter toutes les sources de variations possibles.

Chacune de ces radiations peut être remplacée, sans perte d'exactitude, par une radiation correspondant à une autre composante de la même transition, ou par une autre radiation, lorsque la différence de fréquence correspondante est connue avec une exactitude suffisante. Pour obtenir les incertitudes données dans cette liste, il n'est pas suffisant de remplir les conditions requises pour les paramètres mentionnés ; il faut en outre respecter les conditions expérimentales considérées comme les plus appropriées, suivant la méthode d'asservissement, qui sont décrites dans de nombreuses publications scientifiques ou techniques. Des exemples de conditions expérimentales considérées comme convenables sont décrits, pour telle ou telle radiation, dans des publications dont les références peuvent être obtenues auprès des laboratoires membres du CCDM ou auprès du BIPM.

## 1. Radiations de lasers asservis

### 1.1. Molécule absorbante CH<sub>4</sub>, transition $\nu_3$ , P (7), composante F<sub>2</sub><sup>(2)</sup>.

1.1.1. Les valeurs  $f = 88\,376\,181\,600,18$  kHz,  
 $\lambda = 3\,392\,231\,397,327$  fm,

avec une incertitude-type relative estimée de  $3 \times 10^{-12}$ , s'appliquent à la radiation émise par un laser à He-Ne asservi à l'aide de la composante centrale du triplet de structure hyperfine résolu [transition (7-6)], en utilisant la moyenne de la structure due à l'effet de recul, pour des molécules réellement stationnaires, dont les valeurs sont corrigées pour tenir compte du déplacement Doppler du second ordre.

1.1.2. Les valeurs  $f = 88\,376\,181\,600,5$  kHz,  
 $\lambda = 3\,392\,231\,397,31$  fm,

---

\* L'annexe citée ci-dessus est publiée dans le rapport de la 8<sup>e</sup> session du CCDM (1992).

avec une incertitude-type relative estimée de  $2,3 \times 10^{-11}$ , s'appliquent à la radiation émise par un laser à He-Ne asservi sur le centre de la structure hyperfine non résolue d'une cuve à méthane à la température ambiante, située à l'intérieur ou à l'extérieur du laser, lorsque les conditions suivantes sont respectées :

- pression du méthane  $\leq 3$  Pa,
- puissance surfacique moyenne sur l'axe transportée par le faisceau dans un seul sens, à l'intérieur de la cavité<sup>+</sup>  $\leq 10^4$  W m<sup>-2</sup>,
- rayon de courbure des surfaces d'onde  $\geq 1$  m,
- différence (relative) de puissance entre les deux ondes qui se propagent en sens inverse l'une de l'autre  $\leq 5$  %,
- récepteur placé à la sortie du côté du tube laser.

1.2. Atome absorbant <sup>40</sup>Ca, transition <sup>3</sup>P<sub>1</sub> - <sup>1</sup>S<sub>0</sub>;  $\Delta m_J = 0$ .

Les valeurs  $f = 455\,986\,240,5$  MHz,  
 $\lambda = 657\,459\,439,3$  fm,

avec une incertitude-type relative estimée de  $4,5 \times 10^{-10}$ , s'appliquent à la radiation émise par un laser asservi à l'aide d'un jet atomique thermique.

1.3. Molécule absorbante <sup>127</sup>I<sub>2</sub>, transition 8-5, P(10), composante a<sub>9</sub> (ou g).

Les valeurs  $f = 468\,218\,332,4$  MHz,  
 $\lambda = 640\,283\,468,7$  fm,

avec une incertitude-type relative estimée de  $4,5 \times 10^{-10}$ , s'appliquent à la radiation émise par un laser asservi à l'aide d'une cuve à iode, située à l'intérieur du laser, ayant un point froid à la température de  $(16 \pm 1)$  °C, avec une amplitude de modulation de fréquence, de crête à creux, de  $(6 \pm 1)$  MHz.

1.4. Molécule absorbante <sup>127</sup>I<sub>2</sub>, transition 11-5, R(127), composante a<sub>13</sub> (ou i).

Les valeurs  $f = 473\,612\,214\,705$  kHz,  
 $\lambda = 632\,991\,398,22$  fm,

avec une incertitude-type relative estimée de  $2,5 \times 10^{-11}$ , s'appliquent à la radiation émise par un laser à He-Ne asservi à l'aide d'une cuve à iode, située à l'intérieur du laser, lorsque les conditions suivantes sont respectées :

- température des parois de la cuve :  $(25 \pm 5)$  °C
- point froid à la température de :  $(15 \pm 0,2)$  °C
- modulation de fréquence, de crête à creux :  $(6 \pm 0,3)$  MHz
- puissance transportée par le faisceau dans un seul sens, à l'intérieur de la cavité<sup>+</sup> :  $(10 \pm 5)$  mW, pour une valeur absolue du coefficient de décalage en fonction de la puissance  $\leq 1,4$  kHz/mW.

Ces conditions ne suffisent pas par elles-mêmes à garantir l'obtention de l'incertitude-type indiquée. Il faut en outre que les parties optique et électronique du système d'asservissement fonctionnent avec les performances appropriées. La cuve à iode peut aussi être utilisée dans des conditions moins rigoureuses, ce qui conduit à l'incertitude plus grande donnée dans l'annexe M2 du rapport du CCDM (1992).

1.5. Molécule absorbante  $^{127}\text{I}_2$ , transition 9-2, R(47), composante  $a_7$  (ou o).

Les valeurs  $f = 489\,880\,354,9$  MHz,  
 $\lambda = 611\,970\,770,0$  fm,

avec une incertitude-type relative estimée de  $3 \times 10^{-10}$ , s'appliquent à la radiation émise par un laser à He-Ne asservi à l'aide d'une cuve à iode, située à l'intérieur ou à l'extérieur du laser, ayant un point froid à la température de  $(-5 \pm 2)$  °C.

1.6. Molécule absorbante  $^{127}\text{I}_2$ , transition 17-1, P(62), composante  $a_1$ .

Les valeurs  $f = 520\,206\,808,4$  MHz,  
 $\lambda = 576\,294\,760,4$  fm,

avec une incertitude-type relative estimée de  $4 \times 10^{-10}$ , s'appliquent à la radiation émise par un laser à colorant (ou par un laser à He-Ne associé à un doubleur de fréquence) asservi à l'aide d'une cuve à iode, située à l'intérieur ou à l'extérieur du laser, ayant un point froid à la température de  $(6 \pm 2)$  °C.

1.7. Molécule absorbante  $^{127}\text{I}_2$ , transition 26-0, R(12), composante  $a_9$ .

Les valeurs  $f = 551\,579\,482,96$  MHz,  
 $\lambda = 543\,516\,333,1$  fm,

avec une incertitude-type relative estimée de  $2,5 \times 10^{-10}$ , s'appliquent à la radiation émise par un laser à He-Ne asservi à l'aide d'une cuve à iode, située à l'extérieur du laser, ayant un point froid à la température de  $(0 \pm 2)$  °C.

1.8. Molécule absorbante  $^{127}\text{I}_2$ , transition 43-0, P(13), composante  $a_3$  (ou s).

Les valeurs  $f = 582\,490\,603,37$  MHz,  
 $\lambda = 514\,673\,466,4$  fm,

avec une incertitude-type relative estimée de  $2,5 \times 10^{-10}$ , s'appliquent à la radiation émise par un laser à  $\text{Ar}^+$  asservi à l'aide d'une cuve à iode, située à l'extérieur du laser, ayant un point froid à la température de  $(-5 \pm 2)$  °C.



*Note*

+ La puissance transportée par le faisceau, dans un seul sens, à l'intérieur de la cavité, est obtenue en divisant la puissance de sortie par le facteur de transmission du miroir de sortie.

2. *Radiations de lampes spectrales*

2.1. Radiation correspondant à la transition entre les niveaux  $2p_{10}$  et  $5d_5$  de l'atome de  $^{86}\text{Kr}$ .

La valeur  $\lambda = 605\,780\,210,3$  fm,

avec une incertitude globale relative estimée de  $\pm 4 \times 10^{-9}$  [égale à trois fois l'écart-type estimé à  $1,3 \times 10^{-9}$  en valeur relative], s'applique à la radiation émise par une lampe utilisée dans les conditions recommandées par le CIPM (*BIPM Proc.-Verb. Com. int. poids et mesures*, 1960, **28**, 71-72 et *BIPM Comptes Rendus 11<sup>e</sup> Conf. gén. poids et mesures*, 1960, 85)].

2.2. Les radiations des atomes de  $^{86}\text{Kr}$ ,  $^{198}\text{Hg}$  et  $^{114}\text{Cd}$  recommandées par le CIPM en 1963 (*BIPM Com. cons. déf. mètre*, 1962, **3**, 18-19 et *BIPM Proc.-Verb. Com. int. poids et mesures*, 1963, **52**, 26-27), avec les valeurs indiquées pour leur longueur d'onde et pour l'incertitude correspondante.

---



## **Composition des comités consultatifs**

### **Comité consultatif d'électricité (CCE)**

*Président* : D. Kind, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

*Membres* :

Conseil national de recherches du Canada, Ottawa  
CSIR, Division of Production Technology, Pretoria  
CSIRO, Division of Applied Physics, Lindfield  
Electrotechnical Laboratory, Tsukuba  
Institut national de métrologie, Beijing  
Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin  
Institut de métrologie D. I. Mendéléev, Saint-Pétersbourg  
Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon  
Laboratoire central des industries électriques, Fontenay-aux-Roses  
National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg  
National Physical Laboratory, Teddington  
National Physical Laboratory of India, New Delhi  
Office fédéral de métrologie, Wabern  
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig  
Van Swinden Laboratorium, Delft  
Le directeur du Bureau international des poids et mesures

### **Comité consultatif de photométrie et radiométrie (CCPR)**

*Président* : W. R. Blevin, CSIRO, Division of Applied Physics, Lindfield

*Membres* :

All-Russian Institute for Optophysical Measurements, Moscou  
Bureau national de métrologie : Institut national de métrologie, Paris  
Československý Metrologický Ústav, Bratislava  
Conseil national de recherches du Canada, Ottawa  
CSIR, Division of Production Technology, Pretoria  
CSIRO, Division of Applied Physics, Lindfield  
Electrotechnical Laboratory, Tsukuba  
Institut national de métrologie, Beijing  
Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin  
Instituto de Optica Daza de Valdés, Madrid  
Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon  
National Institute of Metrology, Beijing  
National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg  
National Physical Laboratory, Teddington  
Office fédéral de métrologie, Wabern  
Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest  
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig  
The Measurement Standards Laboratory of New Zealand, Industrial  
Research Limited, Lower Hutt  
Le directeur du Bureau international des poids et mesures

### **Comité consultatif de thermométrie (CCT)**

*Président* : L. Crovini, Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin

*Membres* :

Bureau national de métrologie : Institut national de métrologie, Paris

Československý Metrologický Ústav, Bratislava

Conseil national de recherches du Canada, Ottawa

CSIRO, Division of Applied Physics, Lindfield

Institut de métrologie D. I. Mendéléév, Saint-Pétersbourg

Institut des mesures physico-techniques et radiotechniques, Moscou

Institut national de métrologie, Beijing

Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin

Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon

National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg

National Physical Laboratory, Teddington

National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

Van Swinden Laboratorium, Delft

Le directeur du Bureau international des poids et mesures

### **Comité consultatif pour la définition du mètre (CCDM)**

*Président* : P. B. Clapham, National Physical Laboratory, Teddington

*Membres* :

Bureau national de métrologie : Institut national de métrologie, Paris

Conseil national de recherches du Canada, Ottawa

CSIRO, Division of Applied Physics, Lindfield

Institut de métrologie D. I. Mendéléév, Saint-Pétersbourg

Institut national de métrologie, Beijing

Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin

Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon

National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg/Joint Institute  
for Laboratory Astrophysics, Boulder

National Physical Laboratory, Teddington

National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba

Office fédéral de métrologie, Wabern

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

Le directeur du Bureau international des poids et mesures

**Comité consultatif pour la définition de la seconde (CCDS)**

*Président* : J. Kovalevsky, Observatoire de la Côte d'Azur, Grasse

*Membres* :

Bureau national de métrologie : Laboratoire primaire du temps et des fréquences, Paris

Comité consultatif international des radiocommunications de l'Union internationale des télécommunications

Communications Research Laboratory, Tokyo

Conseil national de recherches du Canada, Ottawa

CSIRO, Division of Applied Physics, Lindfield

Institut des mesures physico-techniques et radiotechniques, Moscou

Institut national de métrologie, Beijing

Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin

Korea Research Institute of Standards and Science, Taejeon

Laboratoire de l'horloge atomique du CNRS, Orsay

National Institute of Standards and Technology, Boulder

National Physical Laboratory, Teddington

National Physical Laboratory of India, New Delhi

National Physical Laboratory of Israel, Jérusalem

National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba

Observatoire royal de Belgique, Bruxelles

Office fédéral de métrologie, Wabern

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

Real Instituto y Observatorio de la Armada, San Fernando

Technical University, Graz

Union astronomique internationale

Union géodésique et géophysique internationale

Union radioscopique internationale

U.S. Naval Observatory, Washington

Van Swinden Laboratorium, Delft

B. Guinot

Le directeur du Bureau international des poids et mesures

**Comité consultatif pour les étalons de mesure  
des rayonnements ionisants (CCEMRI)**

*Président* : J. Vanier, Institut des étalons nationaux de mesure, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa

*Membres* :

Le président de la Section I

Le président de la Section II

Le président de la Section III

A. Allisy

G. Dietze

A. Dutreix

A. M. Kellerer

G. F. Knoll

Le directeur du Bureau international des poids et mesures

Section I (Rayons X et  $\gamma$ , électrons)

*Président* : J.-P. Simoën, Laboratoire primaire des rayonnements ionisants, Saclay

*Membres* :

Australian Radiation Laboratory, Yallambie

Bureau national de métrologie : Laboratoire de métrologie  
des rayonnements ionisants, Saclay

Conseil national de recherches du Canada, Ottawa

Electrotechnical Laboratory, Tsukuba

Institut de métrologie D. I. Mendéléév, Saint-Pétersbourg

Institut national de métrologie, Beijing

International Commission on Radiation Units and Measurements

National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg

National Physical Laboratory, Teddington

Nederlands Meetinstituut, Bilthoven

Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakości, Varsovie

Swedish Radiation Protection Institute, Stockholm

A. Brosed

Le directeur du Bureau international des poids et mesures

Section II (Mesure des radionucléides)

*Président* : D. Smith, National Physical Laboratory, Teddington

*Membres* :

Australian Nuclear Science and Technology Organisation, Menai

Bureau national de métrologie : Laboratoire de métrologie  
des rayonnements ionisants, Saclay

Conseil national de recherches du Canada, Ottawa

Institut de métrologie D. I. Mendéléev, Saint-Pétersbourg

Institut national de métrologie, Beijing

National Accelerator Centre, Faure

National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg

National Physical Laboratory, Teddington

Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

J.-J. Gostely

G. Winkler

Le directeur du Bureau international des poids et mesures

Section III (Mesures neutroniques)

*Président* : V. E. Lewis, National Physical Laboratory, Teddington

*Membres* :

Bureau national de métrologie : Laboratoire de métrologie  
des rayonnements ionisants, Saclay

Electrotechnical Laboratory, Tsukuba

Institut de métrologie D. I. Mendéléev, Saint-Pétersbourg

Institut national de métrologie, Beijing

National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg

National Physical Laboratory, Teddington

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

E. J. Axton

J. J. Broerse

Le directeur du Bureau international des poids et mesures

### **Comité consultatif des unités (CCU)**

*Président* : J. de Boer

*Membres* :

Commission électrotechnique internationale, Comité technique 25  
Commission internationale de l'éclairage  
Comité d'État de la Fédération de Russie pour les normes, Moscou  
Institut national de métrologie, Beijing  
International Commission on Radiation Units and Measurements  
National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg  
National Physical Laboratory, Teddington  
National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba  
Organisation internationale de métrologie légale  
Organisation internationale de normalisation, ISO/Comité technique 12  
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig  
Union astronomique internationale  
Union internationale de chimie pure et appliquée, Commission STU  
Union internationale de physique pure et appliquée, Commission SUN-AMCO  
H. H. Jensen  
M. L. McGlashan  
L. Villena  
Le directeur du Bureau international des poids et mesures

### **Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées (CCM)**

*Président* : K. Iizuka, National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba

*Membres* :

Bureau national de métrologie : Institut national de métrologie, Paris  
Československý Metrologický Ústav, Bratislava  
Conseil national de recherches du Canada, Ottawa  
CSIRO, Division of Applied Physics, Lindfield  
Institut de métrologie D. I. Mendéléev, Saint-Pétersbourg  
Institut national de métrologie, Beijing  
Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin  
Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon  
National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg  
National Physical Laboratory, Teddington  
National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba  
Office fédéral de métrologie, Wabern  
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig  
Van Swinden Laboratorium, Delft  
Le directeur du Bureau international des poids et mesures

---



---

RAPPORT DU DIRECTEUR  
SUR L'ACTIVITÉ ET LA GESTION  
DU BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES  
(octobre 1991 - septembre 1992)

---

I. — PERSONNEL

*Promotions*

Monique PETIT, secrétaire, a été promue secrétaire principale.  
Carlos DIAS-NUNES, aide-jardinier, a été promu jardinier.  
Ces deux promotions ont pris effet le 1<sup>er</sup> janvier 1992.

*Engagements*

Philippe MOUSSAY, né le 28 avril 1970 à Saint-Gemmes d'Andigné (Maine-et-Loire), diplômé de l'Institut universitaire de technologie de Saint-Nazaire, a été engagé comme technicien dans la section du temps à dater du 1<sup>er</sup> octobre 1991.

Richard DAVIS, né le 14 octobre 1945 à Hartford (É.-U. d'Amérique), chercheur associé à la section des masses depuis le 28 mai 1990, a été nommé physicien à dater du 1<sup>er</sup> juin 1992.

*Chercheurs associés*

Alain MICHAUD, chercheur associé à la section des longueurs depuis le 21 janvier 1991, a quitté le BIPM le 30 novembre 1991 à la fin de son contrat.

Zaizhe YIN, chercheur associé à la section des rayonnements ionisants depuis le 9 avril 1991, a quitté le BIPM le 31 mars 1992 à la fin de son contrat.

### *Départs*

Bernard GUINOT a quitté le BIPM le 30 avril 1992, à la fin d'une période de service spécial, effectuée à la demande du CIPM depuis le 1<sup>er</sup> octobre 1990.

Jacques LEROUX, mécanicien principal, a pris sa retraite le 30 juin 1992, après 31 ans de service dévoué et efficace.

Denise MÜLLER, secrétaire de direction, a pris sa retraite le 30 septembre 1992, après 31 ans de service effectué avec grande compétence et entier dévouement.

## II. — BÂTIMENTS

### *Observatoire*

Poursuite et achèvement des réparations de la toiture.

Installation d'un système d'éclairage de secours dans les corridors de service au rez-de-chaussée.

### *Grand Pavillon*

Poursuite des réparations des volets.

### *Bâtiment des lasers*

Pose d'un revêtement de sol au sous-sol.

### *Bâtiment des rayonnements ionisants*

Peinture des toilettes et des menuiseries extérieures.

### *Atelier*

Rénovation de l'installation d'éclairage.

### *Dépendances et parc*

Démolition d'une serre vétuste et renforcement d'un mur de soutènement défailant.

### III. — TRAVAUX SCIENTIFIQUES

#### 1. Remarques générales

Avant d'exposer les travaux scientifiques effectués cette année, il convient tout d'abord de mentionner les sévères restrictions financières consécutives à la perte brusque de 10 % des revenus du BIPM. Les dépenses d'investissement pour les laboratoires, en particulier, ont été réduites de 50 % et tout ce qui n'était pas urgent en ce qui concerne l'entretien des bâtiments et des laboratoires a été remis à plus tard, afin de réduire la totalité des dépenses d'environ 5 %. Il n'est possible, bien évidemment, de supporter de telles réductions, et cela sans graves effets à long terme, que si cette situation ne dure qu'un ou deux ans. La prolongation d'une période de sous-investissement pour les équipements de laboratoires et l'entretien des bâtiments pourrait avoir des conséquences sérieuses sur le travail scientifique du BIPM. Toutefois, l'attitude très positive de la Conférence générale vis-à-vis des travaux scientifiques effectués au BIPM et du programme proposé pour la période de 1993 à 1996, a constitué un grand encouragement pour l'ensemble du personnel. Cette approbation clairement exprimée par les États membres de la Convention du Mètre a été un facteur essentiel pour faire face temporairement aux difficultés financières.

La Conférence générale a particulièrement insisté sur le rôle du BIPM comme centre de comparaisons internationales des réalisations d'unités. Le présent rapport en est une bonne illustration. Au fur et à mesure que s'accroît l'exactitude des réalisations d'unités, trouver des étalons de transfert convenables devient de plus en plus difficile. Dans le cas des étalons de tension fondés sur l'effet Josephson, par exemple, il est manifeste depuis longtemps que la seule solution est de disposer d'un équipement transportable à effet Josephson.

Dans le rapport de 1991 figuraient les résultats de comparaisons préliminaires effectuées à l'aide d'un étalon de tension transportable, appartenant au BIPM, à réseaux de jonctions de Josephson de 1 volt. Cette année cinq autres comparaisons ont été effectuées en transportant l'équipement au NIST (É.-U. d'Amérique), au NRC (Canada), au NPL (Royaume-Uni), au LCIE (France) et à l'ETL (Japon). Les résultats de ces comparaisons, comme ceux des comparaisons qui ont été faites auparavant avec la PTB (Allemagne) et le DFM (Danemark), sont particulièrement bons. Les différences entre la réalisation du volt faite par le BIPM et celles des autres laboratoires ne dépassent en aucun cas 0,2 nV, avec des

incertitudes du même ordre. Il est possible d'en tirer la conclusion que ces comparaisons ont apporté l'entière preuve de la cohérence au niveau mondial des réalisations du volt fondées sur l'effet Josephson, avec un gain de deux ordres de grandeur par rapport à ce que l'on obtenait auparavant au moyen d'autres étalons de transfert. Une autre étude importante effectuée dans la section d'électricité a été la mise au point d'une installation à basse fréquence, 1 Hz, pour faire des étalonnages de résistance en fonction de la résistance de Hall quantifiée. L'emploi d'un tel dispositif devrait permettre des comparaisons de rapport de résistances avec exactitude sans dépendre de la stabilité d'étalons voyageurs de résistance. Les variations du champ magnétique font partie des principales perturbations ambiantes susceptibles de se répercuter sur maintes mesures faites au BIPM et ailleurs. Il s'avère que l'administration française a l'intention de mettre en service une nouvelle ligne de tramway électrique, en courant continu à 750 V, sur la ligne de chemin de fer qui existe à l'est du Pavillon de Breteuil ; cela nous a conduit à étudier les perturbations d'origine magnétique que cette installation risque d'apporter. Les résultats montrent que la perturbation magnétique supplémentaire ne devrait pas excéder celles qui existent déjà et qui proviennent des trois lignes de chemin de fer actuellement en service au voisinage du BIPM. Au cours de cette étude, pour laquelle les autorités françaises concernées se sont montrées très coopératives, nous avons acquis une bien meilleure connaissance de l'origine des perturbations magnétiques et des façons de s'en protéger.

Au cours de l'année la section des longueurs a entrepris des travaux en collaboration avec un certain nombre de laboratoires, en particulier dans le domaine des comparaisons de fréquence de radiations émises par des lasers. Il convient de mentionner deux comparaisons avec des lasers provenant de l'INM (France), l'une avec un laser dont la fréquence avait été récemment déterminée à mieux que quelques  $10^{-11}$  par le LPTF (France), l'autre avec un laser utilisé à l'ENS (France) pour une nouvelle détermination de la constante de Rydberg. Nous avons aussi travaillé avec le LHA (France) sur des diodes lasers, avec le LPTF et l'ETCA (France) sur la mise au point de lasers asservis à  $\lambda = 10,6 \mu\text{m}$ , avec le JILA (É.-U. d'Amérique) sur la mise au point d'un laser à hélium-néon pour un gravimètre absolu et avec le VNIIFTRI (Féd. de Russie) sur l'amélioration de lasers asservis à  $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$ . Les comparaisons internationales de lasers asservis à  $\lambda = 633 \text{ nm}$  ont pour la première fois été étendues au Portugal, à la Roumanie et à la Suisse. Les progrès faits sur le nouveau laser à argon, asservi sur l'iode à  $\lambda = 515 \text{ nm}$  avec une cuve externe, donnent toute satisfaction. Les résultats préliminaires sont très prometteurs et il est prévu d'effectuer à l'automne 1992 les premières comparaisons de fréquence avec ce laser.

La troisième vérification des prototypes nationaux du kilogramme est maintenant dans sa phase finale. On peut en tirer deux conclusions : il serait effectivement souhaitable de disposer, pour contrôler la masse du

prototype international du kilogramme, de méthodes qui soient fondées sur des constantes atomiques ou fondamentales ; toutefois les résultats montrent une fois de plus que les méthodes classiques permettent d'obtenir une très grande précision. Les travaux effectués au BIPM se font dans deux grandes directions, concernant toutes deux les étalons classiques ; d'un côté une série de recherches tend à accroître la précision déjà très élevée des comparaisons de masses, d'un autre côté cette précision est utilisée pour étudier le comportement à long terme des étalons de masse eux-mêmes. Les recherches actuelles devraient permettre de mieux comprendre le comportement anélastique des matériaux utilisés dans les balances à suspensions flexibles et les conséquences qui en découlent ; elles devraient permettre aussi d'évaluer les limites du fonctionnement de la balance à fléau. La mesure de la susceptibilité des matériaux faiblement magnétiques fournit un ensemble utile de données pour choisir les matériaux des balances et devrait permettre de mieux comprendre les limites imposées au fonctionnement des balances par les interactions électromagnétiques. Les recherches sur les étalons de masse en platine iridié usiné au diamant donnent maintenant une bonne indication de la reproductibilité des effets de surface. Les résultats suggèrent que, dans l'air, à la pression atmosphérique normale, les effets dus aux variations de l'humidité ambiante, de la pression et de la température sont faibles et faciles à maîtriser et que les dérives, que l'on constate et qui limitent la reproductibilité des étalons de masse en platine iridié, sont dues à d'autres causes, encore inconnues.

Les échelles du TAI et de l'UTC continuent d'être conservées et disséminées dans le monde entier. Environ 80 % des laboratoires qui contribuent au TAI sont équipés de récepteurs du GPS et font parvenir au BIPM leurs observations brutes. Il s'ensuit que pratiquement toutes les données qui entrent dans le calcul du TAI sont maintenant obtenues au moyen de l'une des méthodes les plus exactes de transfert de temps et sont traitées de façon identique. Depuis le mois de septembre 1991, un changement important est intervenu dans le calcul du TAI qui comporte maintenant des résultats provenant de masers à hydrogène. Leur introduction dans le calcul du TAI en a amélioré la fiabilité sans dégrader la stabilité de cette échelle de temps. Les recherches sur les algorithmes pour les échelles de temps se poursuivent ; un problème courant est posé par l'altération de la stabilité d'une échelle de temps, altération qui est provoquée par les brusques variations de poids consécutives à l'entrée ou à la sortie d'horloges. Des recherches faites sur des ensembles limités d'horloges semblent confirmer que le mode de prédiction de fréquence d'ALGOS et les précautions prises pour observer chaque nouvelle horloge avant son introduction définitive sont très efficaces. Les comparaisons d'horloges au moyen du GPS sont maintenant faites en utilisant des vues simultanées strictes, et cela avec une synchronisation à 1 s près, pour éliminer le bruit d'horloge résultant de la dégradation intentionnelle des signaux du GPS (accès sélectif, SA). La précision de ces mesures est maintenant d'environ 2 ns pour les courtes distances et 8 ns pour les

plus grandes. Les travaux se poursuivent pour vérifier les conditions de fermeture pour une combinaison de trois liaisons, OP-NIST, NIST-CRL et CRL-OP. Sur une période de 18 mois, il s'est avéré qu'il subsiste, sur les moyennes quotidiennes, une erreur systématique résiduelle de quelques nanosecondes, laquelle varie lentement avec le temps. Pour améliorer les comparaisons d'horloges au moyen du GPS, il faudra utiliser les éphémérides précises des satellites et mesurer les retards ionosphériques sur la ligne de visée. Les éphémérides précises sont reçues et analysées régulièrement au BIPM mais elles parviennent trop tard pour être utilisées dans le travail courant. La prédiction par la méthode de Kalman pourrait fournir une solution convenable au problème de l'obtention précise du temps du GPS en temps réel même lorsque l'accès sélectif est en fonction ; dans cette perspective une expérience numérique d'observation de trois satellites est en cours. Des résultats prometteurs ont été obtenus mais il est nécessaire de poursuivre une étude plus détaillée. Une nouvelle expérience, actuellement en cours, permet une comparaison directe du GPS et du GLONASS utilisés selon la méthode des vues simultanées pour les liaisons horaires. Pour cela un récepteur du GPS, prêté par le BIPM, est utilisé au VNIIFTRI et un récepteur de navigation du GLONASS, prêté par le VNIIFTRI, est utilisé au BIPM. Nos recherches sur les pulsars se poursuivent en collaboration avec des équipes de radio-astronomes qui observent les pulsars. Le but de ces recherches est de réaliser une échelle de temps fondée sur les pulsars à l'aide d'un algorithme optimisé pour la stabilité. Une échelle de ce type pourrait assurer le transfert de l'exactitude du temps atomique d'une époque à une autre, et ainsi éviter les conséquences désastreuses de toute défaillance des rares étalons atomiques actuellement en service dans les laboratoires. La section du temps a fourni à des équipes avec lesquelles elle collabore la version la plus récente de sa réalisation à posteriori du temps terrestre TT (BIPM 92) ; elle a apporté à d'autres son aide occasionnelle.

Dans la section de radiométrie l'activité a porté sur la préparation de la comparaison internationale de sensibilité spectrale de photodiodes au silicium dont il a été question l'an dernier. Il est prévu maintenant que treize laboratoires prendront part à cette comparaison et quinze jeux de récepteurs ont été préparés ; les récepteurs pièges ont été conçus au BIPM et fabriqués par l'atelier du BIPM. De nombreux essais ont été faits sur les récepteurs ; ces essais, ainsi qu'une comparaison restreinte faite avec la PTB et le NPL, ont confirmé que le type de photodiode choisi présente une stabilité suffisante pour être utilisé comme instrument de transfert pour la comparaison. Nous avons aussi effectué d'autres études qui ont confirmé la répétabilité des mesures de lampes de flux lumineux et de lampes d'intensité lumineuse de fabrication russe ou de fabrication chinoise. Les recherches sur la stabilité à long terme de cellules à point triple de l'eau confirment l'intérêt de l'utilisation de neige carbonique pour former le manchon de glace dans ces cellules. Il conviendrait en conséquence

d'apporter une modification au texte de *Supplementary Information for the International Temperature Scale of 1990*.

Les comparaisons internationales ont encore été le centre de l'activité de la section des rayonnements ionisants. La comparaison de mesures de fluence de neutrons, à laquelle avaient pris part le BIPM, la PTB, le BCMN et le NPL, avait laissé non résolus des problèmes qui ont fait l'objet de discussions lors de la réunion de la Section III du CCEMRI en 1991 ; la plupart de ces problèmes ont maintenant trouvé leur solution grâce à des mesures supplémentaires qui ont permis d'évaluer l'effet de la diffusion dans la cible. Un gros effort a été également fait pour organiser la comparaison internationale de mesure de  $^{75}\text{Se}$  demandée par la Section II du CCEMRI lors de sa réunion en 1991. C'est la première comparaison pour laquelle le BIPM a pris la responsabilité de préparer la solution radioactive et les ampoules, ce qui a demandé un gros travail. Deux solutions diluées ont été préparées et soumises à des vérifications de pureté indépendantes, faites par la PTB et le NIST : toutes les ampoules ont été vérifiées en utilisant les chambres d'ionisation du SIR. Il est prévu que le BIPM reçoive les résultats de cette comparaison en septembre 1992. Les résultats des recherches poursuivies sur la nouvelle méthode de parité, en vue de déterminer expérimentalement l'activité d'une source, seront utilisés au cours de cette comparaison de  $^{75}\text{Se}$  pour établir des corrections qui devraient permettre la mesure directe des désintégrations retardées. D'autres recherches visent à améliorer et à étendre nos possibilités de mesure en dosimétrie et en calorimétrie. Les conditions de fonctionnement de l'installation calorimétrique ont été améliorées. Les préparatifs ont commencé pour installer la source de  $^{137}\text{Cs}$ , dont l'acquisition avait été recommandée par la Section I du CCEMRI et dont la livraison est attendue en 1993.

La présentation de ce rapport est identique à celle de l'an dernier. Le rapport de chaque section forme un tout et comporte les publications, les voyages, les conférences, etc. Pour éviter les répétitions, lorsqu'une visite a été l'occasion d'une conférence, elle figure sous le titre soit « conférences » soit « voyages » suivant le but principal de la visite.

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

### **1.1.1. Publication extérieure**

QUINN T. J., News from the BIPM, *Metrologia*, 1992, **29**, 1-7.

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

T. J. Quinn s'est rendu à :

— New Delhi (Inde) du 29 au 31 novembre 1991, pour faire une conférence au NPL intitulée « The BIPM and its role in world metrology » ;

— Hong-Kong le 2 novembre 1991, pour visiter le Hong Kong Standards and Calibration Laboratory ;

— Taejon (Rép. de Corée) les 4 et 5 novembre 1991, pour faire une conférence au KRISS intitulée « The BIPM and its role in world metrology » ;

— Lower Hutt (Nouvelle-Zélande) du 7 au 11 novembre 1991, pour faire une conférence au DSIR Standards Laboratory intitulée « The BIPM and its role in world metrology » (voir 3.7.2) ;

— Lindfield (Australie) du 14 au 21 novembre 1991 pour visiter le CSIRO, National Measurement Laboratory (voir 3.7.2) ;

— Ottawa (Canada) les 12 et 13 décembre 1991, pour assister à une réunion de la Commission consultative de l'Institut des étalons nationaux de mesure du NRC ;

— Gaithersburg (É.-U. d'Amérique) le 20 avril 1992, pour visiter le NIST (voir 3.7.2) ;

— Turin (Italie) le 3 décembre 1991 et le 23 mars 1992, pour participer à deux réunions du Conseil scientifique de l'IMGC, et les 18 et 19 juin 1992, pour une réunion du bureau du CIPM ;

— Londres (Royaume-Uni) le 12 mars 1992, pour participer à une réunion du comité de rédaction de *Reports on Progress in Physics* à l'Institute of Physics ;

— Bruxelles (Belgique) plusieurs fois pour des réunions du BCR Evaluation Panel de la Communauté économique européenne (voir 1.2).

## 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 Symbols 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). Il est membre du comité de rédaction de la revue de l'Institute of Physics *Reports on Progress in Physics* ; il préside un groupe d'évaluation de la Commission des Communautés européennes chargé d'étudier et de rédiger un rapport sur les activités de la Commission dans le domaine de la métrologie (mesures et essais), dans le cadre du programme du BCR. Il a participé aux réunions d'un groupe d'étude de l'Agence spatiale européenne sur des expériences en physique fondamentale dans l'espace.

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* et du *Guide to the expression of uncertainty in measurement* au sein du Groupe de travail 3 de l'ISO/TAG 4.



## 2. Longueurs (J.-M. Chartier)

### 2.1. Remarques générales

Une partie importante de notre activité a été consacrée à la rédaction de rapports concernant les comparaisons internationales de lasers et de cuves à iode, les présentations à la CPEM'92 et la préparation de la 8<sup>e</sup> session du CCDM qui a eu lieu au BIPM du 9 au 11 septembre 1992.

À la suite d'une demande d'étude importante de la Pologne, le programme de mesures de longueur classiques est déjà établi pour les deux prochaines années.

Nous avons aussi collaboré étroitement avec de nombreux laboratoires, en particulier le LHA (Orsay) pour une étude sur les diodes laser, l'ENS (Paris) qui a utilisé un laser du BIPM asservi à  $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$  pour la détermination de la constante de Rydberg, le LPTF (Paris) et l'ETCA (Arcueil) pour la mise au point au BIPM de lasers asservis à  $\lambda = 10,6 \mu\text{m}$ , le JILA (Boulder) pour la mise au point d'un laser à He-Ne à  $\lambda = 633 \text{ nm}$  qui sera utilisé dans un gravimètre absolu, et le VNIIFTRI (Moscou) pour l'amélioration des lasers asservis à  $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$ .

Pour la première fois, des comparaisons de lasers asservis à  $\lambda = 633 \text{ nm}$  ont été effectuées avec le Portugal, la Roumanie, la Suisse et l'Espagne. À cette même longueur d'onde, nous avons aussi contrôlé la fréquence de deux lasers appartenant à l'INM (Paris).

A. Michaud, chercheur associé, a quitté le BIPM après avoir passé une année à la réalisation de diodes laser asservies sur le césium à  $\lambda = 852 \text{ nm}$ . Les premiers résultats sont encourageants.

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

Nous avons effectué la mesure de la longueur de l'intervalle principal de la règle N° 5372 appartenant à la Pologne. À 20 °C, nous avons obtenu :  $1 \text{ m} - 1,89 \mu\text{m}$ , avec une estimation de l'incertitude  $s = 0,02 \mu\text{m}$ . Cette mesure est la première d'une série de mesures de règles à traits et de calibres demandée par le PKNM (Varsovie).

Dans le cadre d'EUROMET, le BIPM a été invité à participer à la comparaison de la règle en acier au nickel N° 14588. Afin de vérifier le bon fonctionnement du comparateur interférentiel du BIPM, nous avons effectué une nouvelle détermination de la longueur de l'intervalle principal de la règle de référence N° 12924. On a obtenu  $1 \text{ m} + 0,82 \mu\text{m}$  avec  $s = 0,03 \mu\text{m}$ , à 20 °C dans l'échelle de température EIT-90 ; cette valeur serait inférieure de 58 nm dans l'ancienne EIPT-68. La moyenne des mesures effectuées précédemment au BIPM est :  $1 \text{ m} + 0,77 \mu\text{m}$  avec une estimation de l'incertitude pour une observation  $s = 0,02 \mu\text{m}$ . La différence entre ces deux résultats est inférieure à un écart-type compte tenu

du changement d'échelle de température. Nous avons ensuite déterminé la longueur de l'intervalle principal de la règle N° 14588 et obtenu :

$$1 \text{ m} + 1,30 \text{ } \mu\text{m} ; \quad s = 0,02 \text{ } \mu\text{m}.$$

L'étalonnage des traits décimétriques a aussi été effectué.

Le laser Spectra-Physics 119 asservi sur le Lamb dip dont la puissance diminuait rapidement a été remplacé par un autre laser de même type déjà rénové.

## 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)

#### i) Comparaisons internationales

En novembre 1991, nous avons contrôlé un laser récemment construit par Sextant (France) pour l'IPQ (Lisbonne, Portugal). Sa fréquence était inférieure de 15 kHz ( $3 \times 10^{-11}$ ) à celle du laser de référence BIPM4.

En novembre 1991, l'Institute of Atomic Physics (Bucarest, Roumanie) a apporté au BIPM un laser asservi pour y être contrôlé. On a observé des écarts de fréquence de plusieurs  $10^{-10}$  (en valeur relative) dus à des impuretés dans la cuve à iode et à des problèmes dans l'électronique d'asservissement. Différentes améliorations importantes ont été apportées à ce laser pendant son passage au BIPM.

En décembre 1991, le laser EAM1 appartenant à l'OFM (Wabern, Suisse) a été comparé au laser BIPM4. On a obtenu :

$$f_{\text{EAM1}} - f_{\text{BIPM4}} = 2,7 \text{ kHz}, \quad s = 1,8 \text{ kHz}, \quad n = 6,$$

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

Du 15 au 17 juin 1992 et le 10 juillet 1992, une comparaison a été effectuée au LPTF (Paris, France) entre des lasers appartenant à l'INM et au BIPM. Les lasers INMD1 et INM12 ont été comparés au laser BIPM4. On a obtenu :

$$15\text{-}17 \text{ juin} \quad f_{\text{INMD1}} - f_{\text{BIPM4}} = + 2,2 \text{ kHz}, \quad s = 3,3 \text{ kHz}, \quad n = 3,$$

$$f_{\text{INM12}} - f_{\text{BIPM4}} = -12,9 \text{ kHz}, \quad s = 0,6 \text{ kHz}, \quad n = 4,$$

$$10 \text{ juillet} \quad f_{\text{INM12}} - f_{\text{BIPM4}} = - 9,7 \text{ kHz}, \quad s = 1,5 \text{ kHz}, \quad n = 2.$$

Ces résultats sont importants, parce que les fréquences absolues des lasers INMD1 et INM12 ont été déterminées au LPTF à quelques  $10^{-11}$ . Le laser INM12 a aussi été utilisé à l'ENS (Paris, France) pour la détermination de la constante de Rydberg.

En juillet 1992, nous avons contrôlé un laser récemment construit par Sextant (France) pour le Centro Español de Metrologia (Madrid, Espagne). Sa fréquence était supérieure de 3 kHz ( $6 \times 10^{-12}$ ) à celle du laser de référence BIPM4.

## ii) Divers

Comme nous le faisons chaque année depuis 1982, nous avons organisé une commande groupée de tubes à décharge à He-Ne NEC pour le compte des pays membres de la Convention du Mètre. Soixante laboratoires ont été informés.

En décembre 1991, au JILA (Boulder, Colorado), nous avons essayé avec succès une version améliorée du laser portable conçu au BIPM, sur un gravimètre absolu. Plusieurs séries de mesures, d'une durée supérieure à quinze heures, ont été effectuées avec de bons résultats. Pour certaines d'entre elles, le laser est resté asservi sans aucune intervention manuelle durant des périodes excédant 24 heures et cela, dans de mauvaises conditions de température.

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

Nous avons comparé les fréquences des deux lasers à cuve externe du BIPM, BIOR3 et BIOR4. Ces lasers ont une plage de variation de fréquence beaucoup plus petite que celle des lasers à cuve interne BIOR1 et BIOR2. Pour le laser BIOR4, cette plage comprend les composantes  $b_{15}$  à  $a_{10}$  des transitions R(47) 9-2 et P(48) 11-3. Pour le laser BIOR3, un modulateur acousto-optique déplace cette plage de fréquence soit de + 250 MHz soit de - 250 MHz, couvrant ainsi toutes les composantes de  $b_{10}$  à  $a_{15}$ . Il est donc possible de déterminer les intervalles de fréquence séparant les composantes dans cette partie du spectre. Les résultats obtenus sont donnés à la colonne 3 du tableau 2.1 et comparés à ceux obtenus antérieurement sur les mêmes lasers\* (colonne 2).

Nous n'avons pas fait figurer dans ce tableau quelques composantes dont la fréquence est perturbée par la présence d'autres composantes très proches et qui n'offrent que peu d'intérêt comme références de fréquence. On peut observer que les valeurs des intervalles de fréquence sont très reproductibles. L'écart-type de ces différences de fréquence est de 1,8 kHz.

Les différences de fréquence entre les deux lasers pour les quatre composantes situées dans la partie où les plages de fréquence des lasers se recouvrent sont présentées dans le tableau 2.2.

---

\* GLÄSER M., Properties of a He-Ne Laser at  $\lambda = 612$  nm, Stabilized by Means of an External Iodine Absorption Cell, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1987, **IM-36**, 604-608.

TABLEAU 2.1

*Intervalle de fréquence séparant les composantes des transitions R(47) 9-2 et P(48) 11-3 des lasers BIOR3 et BIOR4 ; valeurs obtenues en 1986 (colonne 2) en 1992 (colonne 3)*

Composante	$\Delta f$ /kHz	$\Delta f$ /kHz	Diff./kHz
b <sub>10</sub>		- 452 164	-
a <sub>1</sub>	- 357 161	- 357 159	2
a <sub>2</sub>	- 333 968	- 333 966	2
b <sub>15</sub>	- 160 318	- 160 317	1
a <sub>5</sub>	- 47 277	- 47 277	0
a <sub>6</sub>	- 36 774	- 36 773	1
a <sub>7</sub>	0	0	0
a <sub>8</sub>	81 450	81 450	0
a <sub>9</sub>	99 103	99 103	0
a <sub>10</sub>	107 466	107 466	0
a <sub>11</sub>	119 048	119 047	- 1
a <sub>13</sub>	249 604	249 600	- 4
a <sub>14</sub>	284 308	284 305	- 3

TABLEAU 2.2

*Différences de fréquence entre les lasers BIOR3 et BIOR4*

Composante	$(f_{\text{BIOR3}} - f_{\text{BIOR4}})$ /kHz
b <sub>15</sub>	- 1,8
a <sub>8</sub>	- 1,8
a <sub>9</sub>	- 1,4
a <sub>10</sub>	- 1,5
moyenne	- 1,6 ( $\sigma = 0,2$ )

Ces valeurs ont été obtenues pour une amplitude de modulation de 2,3 MHz crête à creux et pour une pression d'iode de 4,1 Pa. Pour cette expérience, les faisceaux « saturation » et « sonde » dans la cuve à iode ont été rendus aussi colinéaires que possible. De petits dérèglages de cet alignement peuvent produire des décalages de fréquence de l'ordre de quelques kilohertz. L'alignement est donc très critique.

### 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)

La construction du nouveau laser à argon à  $\lambda = 515$  nm, BIAR2, a progressé ; la plupart des composants optiques, mécaniques et électroniques sont installés.

La pré-stabilisation de la fréquence du laser sur une cavité externe a été réalisée. La bande passante de la boucle d'asservissement est limitée actuellement à 25 kHz et n'a permis d'obtenir qu'une largeur de raie d'environ 100 kHz. Par la suite, on réduira cette largeur en augmentant la bande passante. Les signaux d'absorption saturée ont été observés en

utilisant les techniques de spectroscopie hétérodyne et de transfert de modulation.

La figure 2.1 montre une partie du spectre des transitions de l'iode P(13) 43-0 et R(15) 43-0. L'ondulation de la courbe de fond peut provenir de la modulation d'amplitude de la fréquence latérale dans le modulateur de phase électro-optique. Nous avons prévu un système actif pour réduire cette modulation d'amplitude ainsi que pour améliorer l'isolation optique de la cavité externe.

La première comparaison entre l'ancien laser à argon offert par la PTB, BIAR1, et le laser BIAR2 est prévue fin 1992. Ces mesures seront très utiles pour la mise au point de BIAR2.

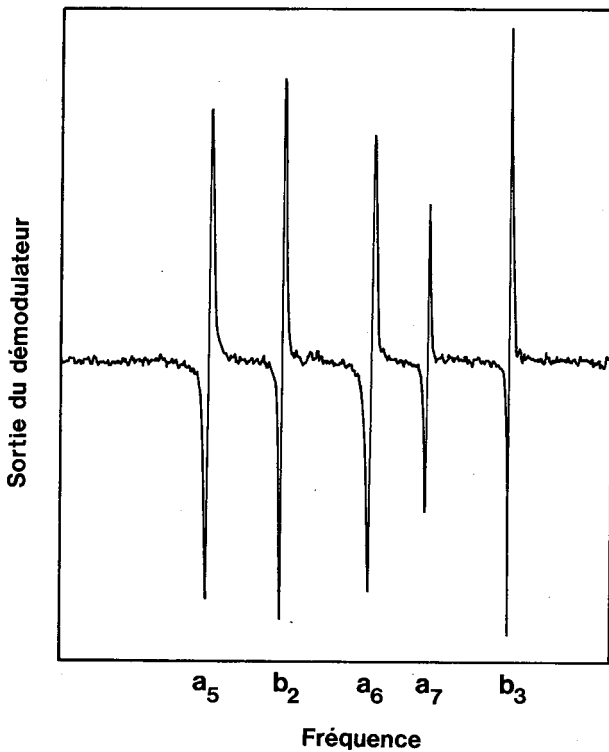


Fig. 2.1. — Partie du spectre des transitions P(13) 43-0 et R(15) 43-0 à  $\lambda = 515$  nm, enregistrée en utilisant la technique spectroscopique hétérodyne.

### 2.3.4. Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée du méthane en cuve interne ou externe à $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$ (R. Felder)

#### i) Montages à cuve interne

Le tube à décharge défectueux du laser esclave monté sur le système que nous avons acheté l'année dernière au VNIIFTRI (Moscou, Féd.

de Russie), a été remplacé par Yu. S. Domnin. À cette occasion, tout l'appareil, désigné par VNIBI, qui comprend les lasers maître et esclave ainsi que les éléments électroniques et optiques, a été complètement vérifié.

Le tube à décharge défectueux du laser de référence, VB, a aussi été remplacé par un nouveau tube entièrement conçu au BIPM. Des mesures par battements de fréquence ont ensuite été effectuées entre VB et VNIBI. La fréquence absolue du laser VNIBI étant connue, on a déterminé la valeur de la fréquence de VB dans des conditions normales de fonctionnement :

$$f(\text{VB}) = (88\,376\,181\,602,6 \pm 1,5) \text{ kHz.}$$

Une nouvelle détermination est prévue après le retour du laser VB de l'ENS, Paris (voir ci-dessous).

#### ii) *Montages à cuve externe*

Notre premier dispositif d'absorption, constitué d'une chambre à vide contenant un résonateur Fabry-Perot, a été modifié ; il est maintenant possible de remplir la cavité avec l'absorbant et de faire des réglages sans casser le vide. Le groupe de pompage associé à ce système a été installé et son fonctionnement vérifié. Il reste à contrôler le bon fonctionnement des montages céramiques piézoélectriques avant leur installation dans le résonateur.

#### iii) *Collaboration avec d'autres laboratoires*

En avril et mai 1992, nous avons participé à une nouvelle détermination de la constante de Rydberg à l'ENS (Paris) [2]. Dans cette expérience utilisant des procédés de mélange de fréquences, un des lasers du BIPM (VB) a été utilisé comme référence. Les résultats sont en excellent accord avec ceux obtenus, d'une part lors de précédentes déterminations fondées sur des mesures interférométriques, d'autre part avec ceux obtenus au Max Planck Institute (Garching, Allemagne)\*.

#### iv) *Activités diverses*

Les tubes à décharge et les cuves à méthane n'étant pas disponibles commercialement, nous sommes contraints de réaliser ces éléments pour assurer la maintenance des lasers asservis du BIPM. À cette fin, nous avons complètement modifié et remis en fonctionnement un ancien groupe de pompage. De plus, un nouveau groupe, constitué d'une pompe turbomoléculaire et équipé d'un four, a été conçu et réalisé. De nouvelles techniques pour sceller les fenêtres à incidence de Brewster, en utilisant le procédé d'adhérence Mallory, sont également en cours d'étude.

---

\* ANDRAE T., KÖNIG W., WYNANDS R., LEIBFRIED D., SCHMIDT-KALER F., ZIMMERMANN C., MESCHÉDE D., and HÄNSCH T. W., Absolute Frequency Measurement of the Hydrogen  $1S - 2S$  Transition and a New Value of the Rydberg Constant, *Phys. Rev. Lett.*, 1992, **69**, 1923-1926.

### 2.3.5. Laser à CO<sub>2</sub> à $\lambda = 10,6 \mu\text{m}$ (S. Picard)

La construction d'un laser asservi à CO<sub>2</sub> s'est poursuivie. Le laser est formé d'une cavité optique étanche de 1,10 m de longueur dont le tube à décharge est refroidi par une circulation d'eau. Le réseau sélectionnant la longueur d'onde est réglé par deux vis à passages étanches. L'alimentation haute tension du laser a été réalisée, le groupe de pompage associé au laser a été installé et son fonctionnement vérifié. En octobre 1991, lors du premier fonctionnement du laser, on a observé une puissance de 5 W. Lors des séries de mesures préliminaires, on a aussi observé environ 16 transitions autour de  $\lambda = 10,6 \mu\text{m}$ . L'utilisation d'un diaphragme de 6 mm de diamètre élimine les modes transversaux, donnant un fonctionnement monomode. Dans ces conditions, la puissance du laser est de 1,5 W environ.

En août 1992, pour son premier déplacement, nous avons transporté le laser à l'ETCA (Arcueil, France), où nous avons mesuré la dérive libre de sa fréquence par battements avec des lasers asservis construits par Ch. Bréant. La pureté spectrale était de 2,3 kHz (largeur à mi-hauteur) alors que la valeur attendue était de 1 kHz. Cette différence est due en partie aux vibrations engendrées par le refroidissement à eau et en partie par des vibrations mécaniques qui affectent la monture du réseau. Le laser et ses caractéristiques seront décrits avec plus de détails dans un rapport BIPM.

Une chambre étanche de 1,75 m de longueur a été construite pour contenir l'interféromètre Fabry-Perot ainsi que le gaz absorbant. La cavité de l'interféromètre est fixée sur un cylindre en aluminium (nettoyé à l'acide), lui-même suspendu à l'intérieur de la chambre. L'interféromètre et le laser ont été conçus en prenant modèle sur les appareils construits au LPTF (Paris). L'intention initiale était d'utiliser une transition hyperfine de OsO<sub>4</sub> pour l'asservissement. Cependant, pour différentes raisons, il semble plus prudent de commencer par asservir le laser sur une transition hyperfine de SF<sub>6</sub> qui offre également la possibilité d'obtenir une stabilité de fréquence satisfaisante. L'électronique d'asservissement est aussi en cours de construction.

Nous tenons à remercier Ch. Bréant (ETCA) et O. Acef (LPTF) pour leur aimable collaboration.

### 2.3.6. Cuves à iode (J.-M. Chartier, S. Picard)

#### i) *Comparaison internationale*

Une comparaison internationale a eu lieu au BIPM au début de l'année 1991. Un rapport BIPM présentant l'analyse des résultats a été distribué à tous les membres du CIPM et aux laboratoires membres du CCDM. Un rapport succinct de cette comparaison sera publié dans *Metrologia*.

#### ii) *Remplissage, étude du taux d'impuretés et étalonnage en fréquence*

Une vingtaine de cuves ont été remplies et vérifiées. Comme il est maintenant habituel, deux vérifications ont été effectuées : d'abord par

fluorescence induite à  $\lambda = 502$  nm pour déterminer les concentrations d'impuretés relatives ; ensuite par introduction de la cuve dans la cavité d'un laser pour comparer la fréquence de ce dernier à celle d'un laser de référence par battements de fréquence. Six cuves du CSMU (Prague, Tchéco-Slovaquie) ont été étalonnées de cette manière ; les résultats confirment ceux obtenus, en 1991, à l'ASMW (Allemagne), à moins de 10 kHz ( $2 \times 10^{-11}$ ). Trois cuves appartenant à l'Institute of Atomic Physics (Bucarest, Roumanie) ont aussi été étalonnées.

### iii) *Nouveau type*

Un nouveau type de cuve à iode, simplifié, a été construit. Celui-ci ne comporte pas de queusot à refroidir et la pression d'iode est fixée au moment du remplissage. De telles cuves présentent une variation de fréquence en fonction de la pression d'iode deux ordres de grandeur plus faible que celle d'une cuve normale et semblent avoir une bonne stabilité de fréquence à long terme. Ces cuves peuvent être utiles pour des lasers asservis dont l'exactitude de la fréquence requise n'a pas besoin d'être supérieure à quelques  $10^{-10}$ .

## 2.4. Publications, conférences et voyages : section des longueurs

### 2.4.1. Publications extérieures

1. CHARTIER J.-M., PICARD-FREDIN S., CHARTIER A., Recent Results from an International Comparison of Iodine Cells, *Laser Spectroscopy, Technicol's'91*, 1992, 106-107.
2. NEZ F., PLIMMER M. D., BOURZEIX S., JULIEN L., BIRABEN F., FELDER R., ACEF O., ZONDY J. J., LAURENT P., CLAIRON A., ABED M., MILLERIOUX Y., JUNCAR P., Precise Frequency Measurement of the  $2S - 8S/8D$  Transitions in Atomic Hydrogen: New Determination of the Rydberg Constant, *Phys. Rev. Lett.*, 1992, **69**, 2326-2329.

### 2.4.2. Rapport BIPM

3. CHARTIER J.-M., PICARD-FREDIN S., CHARTIER A., International Comparison of Iodine Cells, *Rapport BIPM-92/4*, avril 1992, 17 pages.

### 2.4.3. Conférences et exposés

T. J. Quinn et J.-M. Chartier ont fait un exposé à la CPEM'92 intitulé « A New Type of Iodine Cell for Stabilized Lasers », voir *CPEM'92 Digest*, 1992, 34-35.

J.-M. Chartier, J. Labot, G. Sasagawa, T. M. Niebauer et W. Hollander ont présenté un poster à la CPEM'92 intitulé « A Portable Iodine Stabilized



He-Ne Laser and its Use in an Absolute Gravimeter at  $\lambda = 633 \text{ nm}$  », voir *CPEM'92 Digest*, 1992, 158-159.

R. Felder, J. L. Hall et L. S. Ma ont présenté un poster à la CPEM'92 intitulé « An Improved Portable I<sub>2</sub>-stabilized Laser Based on Modulation Transfer », voir *CPEM'92 Digest*, 1992, 160.

R. Felder, Y. Akimoto, V. M. Tatarenkov, Yu. S. Domnin et Y. T. Bukharov ont présenté un poster à la CPEM'92 intitulé « Dependence of Methane Pressure on a CH<sub>4</sub>-stabilized He-Ne Laser », voir *CPEM'92 Digest*, 1992, 143-144.

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

J.-M. Chartier s'est rendu :

— à l'Université de Dijon (France), le 19 septembre 1991, comme membre du jury pour un mémoire du Conservatoire national des arts et métiers ;

— à l'Institut de mécanique à Saint-Pétersbourg (Féd. de Russie), du 27 octobre au 2 novembre 1991, à l'invitation du Professeur V.E. Privalov, et a participé au 2<sup>nd</sup> St-Petersburg International Conference on Science and Technology Parks où, pour l'ouverture de la session Applications of Laser Technologies, il a donné un exposé intitulé « BIPM Activities Concerning the Definition of the Metre » ;

— au VNIIM, le 29 octobre 1991, et au Lomonosov Branch Underground Laboratory à Saint-Pétersbourg (Féd. de Russie), le 30 octobre 1991 ;

— au JILA (Boulder, É.-U. d'Amérique), du 22 décembre 1991 au 2 janvier 1992, pour contrôler les performances d'un laser portable asservi sur l'iode à  $\lambda = 633 \text{ nm}$  et utilisé dans un gravimètre absolu ;

— au LPTF (Paris, France), du 15 au 17 juin 1992, pour participer à une comparaison de lasers à  $\lambda = 633 \text{ nm}$ .

R. Felder s'est rendu :

— au Laboratoire de spectroscopie hertzienne de l'ENS (Paris, France), le 20 novembre 1991 ;

— à la PTB (Braunschweig, Allemagne), du 25 au 28 novembre 1991, où il a participé à la détermination de la fréquence absolue de lasers (He-Ne)/CH<sub>4</sub> appartenant au Lebedev Institute (Moscou, Féd. de Russie) et à l'Institut de thermophysique (Novosibirsk, Féd. de Russie).

R. Felder, S. Picard et A. Michaud, ont visité le Laboratoire de physique des lasers (Villetaneuse, France), le 28 octobre 1991.

R. Felder a effectué plusieurs stages à l'ENS, d'avril à mai 1992, pour participer à une nouvelle détermination de la constante de Rydberg.

J.-M. Chartier, R. Felder, L. Robertsson et S. Picard ont participé à la CPEM'92, Paris, du 9 au 11 juin.

## 2.5. Visiteurs de la section des longueurs

### 2.5.1. Stagiaires

M. J. Blabla (CSMU, Prague, Tchéco-Slovaquie) a séjourné au BIPM, du 16 au 20 septembre 1991, pour participer à l'étalonnage de cuves à iode appartenant au CSMU.

M. J. Guedelha (IPQ, Lisbonne, Portugal) et M. P. Gain (Sextant, Conflans-Sainte-Honorine, France) sont venus au BIPM, les 12 et 13 novembre 1991, pour participer au contrôle d'un laser asservi sur l'absorption saturée de l'iode.

MM. G. Popescu et M. Necsoiu (Institute of Atomic Physics, Bucarest, Roumanie) sont restés au BIPM, du 22 novembre au 5 décembre 1991, pour participer à une comparaison de lasers à  $\lambda = 633$  nm appartenant à leur institut et au BIPM.

M. B. Vaucher (OFM, Wabern, Suisse) est venu au BIPM, du 9 au 13 décembre 1991, pour participer à une comparaison de lasers à  $\lambda = 633$  nm appartenant à l'OFM et au BIPM.

M. Yu. S. Domnin (VNIIFTRI, Moscou, Féd. de Russie) a passé plusieurs jours à la section des longueurs, du 24 février au 5 mars 1992, pour remplacer le tube à décharge du laser esclave faisant partie du système fourni par son laboratoire au BIPM.

M. E. Prieto (CEM, Madrid, Espagne) et M. P. Gain (Sextant) sont venus au BIPM, les 7 et 8 juillet 1992, pour participer au contrôle d'un laser asservi sur l'absorption saturée de l'iode.

### 2.5.2. Visiteurs

M. H. Hosomatsu (Optical Measurement Technology Development Co., Tokyo, Japon), 12 septembre 1991.

M. P. Gain (Sextant, Conflans-Sainte-Honorine, France), 27 septembre 1991 et 12 novembre 1991.

M. M. M. Ammar (National Institute for Standards, Dokky-Cairo, Égypte), 1<sup>er</sup> octobre 1991.

M. A. C. Corney (DSIR, Lower Hutt, Nouvelle-Zélande), 2 octobre 1991.

M. B. Vaucher (OFM, Wabern, Suisse), 3 octobre 1991.

M. H. Schnatz (PTB, Braunschweig, Allemagne), 25 octobre 1991.

MM. M. Priel et G. Vaillot (LNE, Paris, France), 6 novembre 1991.

M. B. De Marchi (Sextant, Conflans-Sainte-Honorine, France), 12 novembre 1991.

M. M. De La Bachellerie (LHA, Orsay, France), 27 novembre 1991.

M. P. Connes (Laboratoire d'aéronomie, Verrières-le-Buisson, France), 16 janvier 1992.

M. Liu Zhimin (NIM, Beijing, Rép. pop. de Chine), 21 janvier 1992.

M. A. Bauch (PTB, Braunschweig, Allemagne), 24 janvier 1992.

Dix visiteurs du Service des mines (Douai, France), 28 janvier 1992.

M. Zhang Guoxiong (Tianjin University, Rép. pop. de Chine), 3 février 1992.

Mme G. Lipinski (LNE, Paris, France) et M. P. Juncar (INM, Paris, France), 4 février 1992.

M. J. E. Faller (JILA, Boulder, É.-U. d'Amérique), 10 février 1992.

M. E. Prieto (CEM, Madrid, Espagne), 11 février 1992.

M. G. Basile (IMGC, Turin, Italie), 13 février 1992.

MM. H. Muller et B. De Bièvre (BCMn, Geel, Belgique), 18 février 1992.

M. M. Lindquist (SP, Borås, Suède), 6 mars 1992.

M. L. Pendrill (SP, Borås, Suède), 18 mars 1992.

M. Zhu (BEST, Beijing, Rép. pop. de Chine), 18 mars 1992.

M. H. Pirée (IGM, Bruxelles, Belgique), 6 avril 1992.

MM. J. L. Hall, K. Gibble (JILA, Boulder, É.-U. d'Amérique), Y. Akimoto (NRLM, Tsukuba, Japon), F. Bertinotto (IMGC, Turin, Italie), et M. A. Gubin (Lebedev Institute, Moscou, Féd. de Russie), 12 juin 1992.

Mme A. Singhabhandhu (Physics and Engineering Division, Department of Science Service, Bangkok, Thaïlande), 13 juillet 1992.

M. P. Cerez (LHA, Orsay, France), 15 juillet 1992.

M. H. Bosse (PTB, Braunschweig, Allemagne), 16 juillet 1992.

Mlle A. Razet (INM, Paris, France), 18 août 1992.

MM. V. M. Tatarenkov et Yu. S. Domnin (VNIIFTRI, Moscou, Féd. de Russie), 7 septembre 1992.

M. J. R. Pekelsky (NRC, Ottawa, Canada), 8 septembre 1992.

### **3. Masse et grandeurs apparentées (G. Girard)**

La troisième vérification périodique des prototypes nationaux du kilogramme n'est pas encore complètement achevée mais on a terminé la comparaison de tous les prototypes nationaux. Parmi les autres travaux de la section, on peut citer l'étude des effets de surface sur les étalons en platine iridié, la conception d'une nouvelle balance fondée sur l'expérience tirée de la balance à suspensions flexibles, l'étude sur l'anélasticité des suspensions constituées par un monocristal de silicium et la mise au point d'une méthode appropriée pour les mesures de susceptibilité magnétique.

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

La troisième vérification périodique des prototypes nationaux se poursuit. L'étude des deux derniers groupes de dix prototypes est terminée. Ces groupes comprennent quatorze prototypes nationaux déjà étudiés au BIPM, quatre nouveaux prototypes, le prototype N° 34 (Académie des sciences de Paris) dont nous sommes certains qu'il n'a pas été utilisé depuis 1961 (il est resté dans son étui de voyage) et, enfin, un prototype

(poli à l'outil à pointe de diamant) issu de la dernière coulée d'alliage de platine iridié de Johnson-Matthey. Celui-ci restera au BIPM et l'évolution de sa masse au cours du temps y sera contrôlée.

Au cours de l'étude de ces deux derniers groupes nous avons employé le même processus préparatoire que pour les deux premiers groupes de dix prototypes (*voir* Rapport 1991, p. 41). Nous avons utilisé, comme référence, les mêmes témoins N° 8(41) et N° 32. La masse des prototypes, avant nettoyage-lavage, a été déterminée à l'aide de la balance Mettler HK 1000 MC.

La figure 3.1 montre la variation de masse  $\Delta m$  provoquée par le nettoyage-lavage sur le prototype international, ses six témoins, les prototypes nationaux et le prototype N° 34.

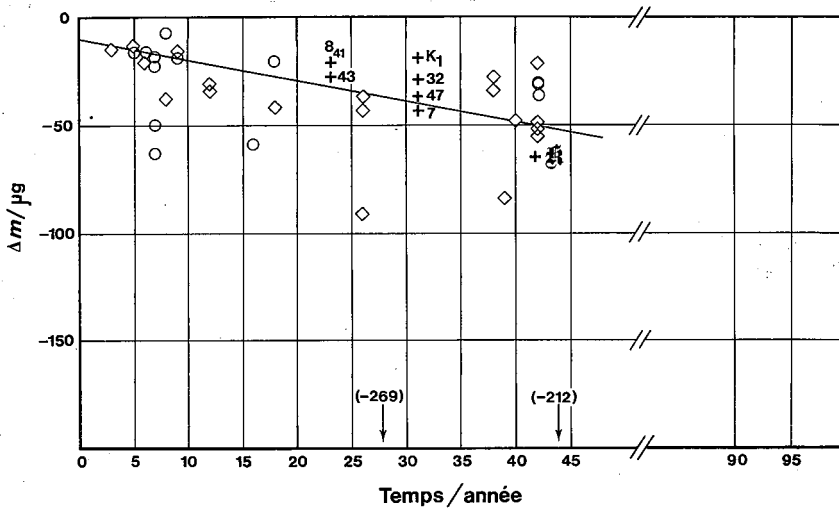


Fig. 3.1. — Variation de masse,  $\Delta m$ , provoquée par le nettoyage-lavage des prototypes en platine iridié en fonction du nombre d'années écoulées depuis le dernier nettoyage-lavage (+ prototype international et ses six témoins ; ◇ prototypes nationaux des 1<sup>er</sup> et 2<sup>e</sup> groupes ; ○ prototypes nationaux et N° 34 des 3<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> groupes).

La figure 3.2 montre l'évolution de la masse, par rapport à celle du prototype international, des prototypes nationaux des 3<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> groupes, et du prototype N° 34, déjà étudiés au cours de la deuxième vérification périodique. Ces résultats confirment ceux de la figure 3.2 du Rapport de 1991.

La dernière phase de la troisième vérification périodique comprend une nouvelle comparaison du prototype international à ses témoins et à un certain nombre de prototypes d'usage du BIPM. Elle est en cours.

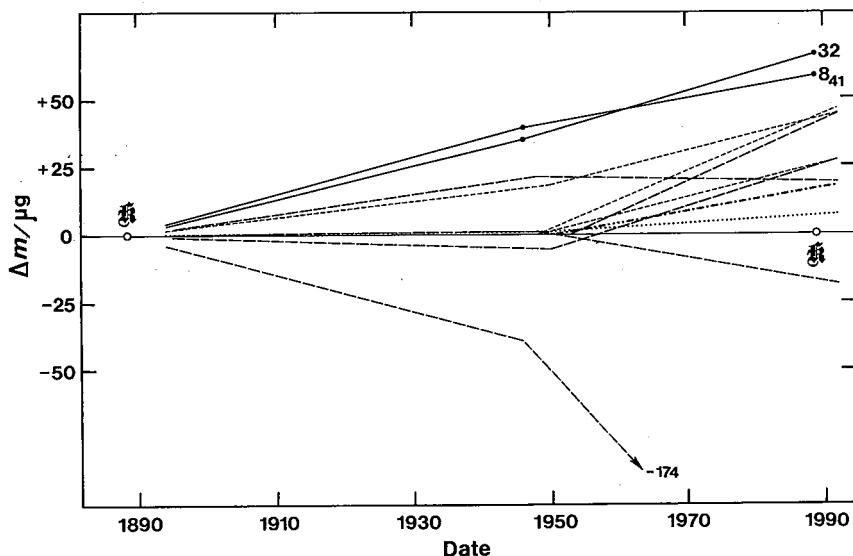


Fig. 3.2. — Évolution de la masse de neuf prototypes nationaux et du prototype N° 34 (3<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> groupes) et des deux témoins du prototype international, N° 8(41) et N° 32 (—).

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

Dans le Rapport de 1991, p. 44, nous avons indiqué notre intention de construire une deuxième balance à suspensions flexibles. Cette nouvelle balance doit avoir un fléau, des plateaux de pesée et leurs suspensions identiques à ceux utilisés dans la balance prototype, mais elle doit permettre de comparer huit étalons de masse de 1 kg alors que la balance prototype ne permet d'en comparer que deux. Depuis lors, le carrousel et son échangeur, ainsi que son système de commande, ont été réalisés. L'ensemble a été conçu pour effectuer le plus rapidement possible les échanges d'étalons. Pour cela, des fonctions d'accélération et de décélération ont été incorporées dans le système de commande du moteur. Actuellement, il faut moins d'une minute pour réaliser l'échange de deux étalons de masse avec une reproductibilité de position inférieure à 10  $\mu\text{m}$ . La construction de cette nouvelle balance va se poursuivre.

### 3.3. Effets de surface sur les étalons de masse en platine iridié (T. J. Quinn, A. Picard)

L'étude des effets de surface sur les étalons de masse de 1 kg en platine iridié décrite dans le Rapport de 1991, p. 44, a progressé. Deux étalons

de 1 kg ont été usinés et ajustés à l'outil à diamant. L'un est un cylindre classique ; l'autre est constitué d'un empilement de quatre disques, dont la surface est voisine de 150 cm<sup>2</sup>, ce qui lui donne une surface double de celle du premier. Les comparaisons sont effectuées en utilisant la balance à suspensions flexibles FB-1. À partir de décembre 1990, l'humidité relative de l'air à l'intérieur de l'enceinte de la balance a été ajustée à différentes valeurs comprises entre 0,37 et 0,58 en stabilisant la pression à 100 kPa et la température à 22 °C. Ensuite la pression ambiante a été modifiée de 99 kPa à 103 kPa en maintenant l'humidité relative et la température constantes. Enfin, tout en gardant l'humidité relative et la pression constantes, nous avons fait varier la température de 19 °C à 23 °C.

De ces mesures, nous avons pu déduire les variations des différences de masse  $\Delta m_h$ ,  $\Delta m_p$ ,  $\Delta m_T$  en fonction de l'humidité relative  $h$ , de la pression  $p$  et de la température  $T$ . Pour une différence de surface de 75 cm<sup>2</sup> les valeurs obtenues sont :

$$\begin{aligned}\frac{\Delta m_h}{\Delta h} &= (1,8 \pm 0,6) \mu\text{g}, \\ \frac{\Delta m_p}{\Delta p} &= (0,15 \pm 0,07) \text{ng} \cdot \text{Pa}^{-1}, \\ \frac{\Delta m_T}{\Delta T} &= (-0,3 \pm 0,1) \mu\text{g} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}.\end{aligned}$$

La valeur de  $\Delta m_h/\Delta h$  est la moitié de celle donnée l'an dernier, ce qui est dû à une meilleure estimation de l'effet de température,  $\Delta m_T/\Delta T$ . Pour des étalons de masse de 1 kg en platine iridié usinés à l'outil à pointe de diamant, les effets des variations des conditions ambiantes d'humidité, de pression et de température sont donc petits et peuvent être facilement maintenus au-dessous de 0,1  $\mu\text{g}$ . Seule subsiste la variation de masse en fonction du temps qui n'est pas corrélée avec les changements de conditions ambiantes et dont l'origine reste inconnue (*voir* figure 3.3). Cette évolution est analogue à celle que nous avons déjà observée dans les mois qui suivent le nettoyage-lavage des étalons de masse de 1 kg en platine iridié. Les deux étalons utilisés dans cette étude ont été nettoyés quelques mois avant le début des mesures. Dans la figure 3.3 les gros points représentent les données utilisées pour l'ajustement simultané par les moindres carrés des valeurs de  $\Delta m_h/\Delta h$ ,  $\Delta m_p/\Delta p$  et  $\Delta m_T/\Delta T$ . Les autres points représentent des données obtenues pendant une partie de l'étude sur l'effet de température ; celles-ci ont été éliminées car elles n'étaient pas corrélées avec les changements de température. Cette anomalie qui a disparu par la suite reste inexplicée. La prochaine étape de notre étude, qui est déjà commencée, est la mesure de la variation de la différence de masse  $\Delta m$  quand la pression ambiante passe de 100 000 Pa au vide.

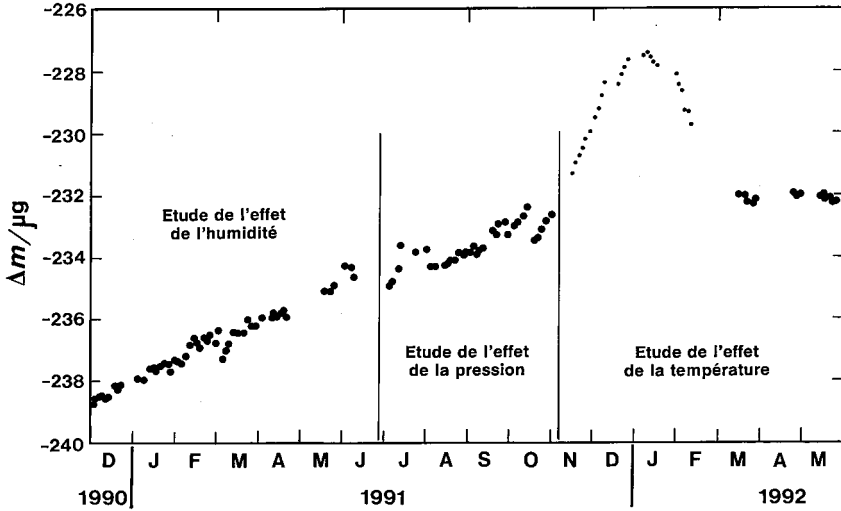


Fig. 3.3. — Variation de la différence de masse,  $\Delta m$ , en fonction du temps. Les valeurs tiennent compte des corrections, calculées globalement, dues aux effets de l'humidité, de la température et de la pression. Les petits points représentent des valeurs inexplicées obtenues durant l'étude de l'effet de la température ; ils n'entrent pas dans ce calcul.

### 3.4. Lames flexibles en monocristal de silicium (T. J. Quinn, R. S. Davis, C. C. Speake\*, W. Tew\*\*)

Un nouveau pendule vertical, conçu pour faciliter l'étude de lames de silicium avec un faible risque de rupture accidentelle, a rempli son but. La lame flexible est maintenant fixée à un bloc de verre suivant la technique de Mallory de façon à ce que l'ensemble puisse être monté cinématiquement, comme dans la balance à suspensions flexibles, évitant ainsi la nécessité de coller directement la lame au pendule. Le risque que la lame soit endommagée, une fois sous charge, est faible ; quelques précautions faciles à réaliser et bien évidentes, suffisent à la maintenir intacte.

Les données obtenues jusqu'à maintenant suggèrent que le monocristal de silicium que nous employons présente, comparativement au cuivre-béryllium, un effet anélastique plus faible, avec un temps de relaxation beaucoup plus court. Toutefois, il n'est pas encore établi si le petit effet anélastique observé vient de la flexion du silicium ou de la structure en duralumin du pendule. Un nouveau pendule, plus rigide, est en cours de construction.

\* School of Physics and Space Research, University of Birmingham, Royaume-Uni.

\*\* Stagiaire.

### 3.5. Nouvelle méthode pour mesurer des susceptibilités magnétiques (R. S. Davis)

Dans le Rapport de 1991, p. 46, nous indiquons qu'une nouvelle méthode pour la détermination de la susceptibilité magnétique volumique,  $\chi$ , des matériaux faiblement magnétiques utilisés habituellement dans la construction des étalons de masse et des balances avait été mise au point. Nous avons alors admis que l'incertitude des résultats était limitée par les performances de la balance employée pour mesurer les forces mises en jeu.

Avec la participation de la Société Mettler-Toledo AG (Suisse), nous avons réalisé un nouvel appareil qui fonctionne selon le même principe de base mais qui utilise une balance mieux adaptée à nos besoins expérimentaux. La sensibilité est actuellement cent fois plus grande que celle de l'appareil précédent et donc suffisante même pour mesurer la faible susceptibilité des échantillons diamagnétiques courants. Les mesures sont également plus faciles à faire et une nouvelle étude théorique prend en compte des échantillons non-cylindriques. Nous avons fait des essais sur une gamme de matériaux dont la susceptibilité est de l'ordre de  $|\chi| \sim 10^{-5}$  ; les erreurs de mesures sont inférieures à 5 %.

Nous estimons que cette étude est maintenant terminée, si ce n'est la rédaction d'un rapport final.

### 3.6. Gravimétrie (A. Sakuma)

Ainsi que nous l'avons mentionné dans le Rapport de 1991, p. 46, nous poursuivons, en collaboration avec le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) d'Orléans, les préparatifs pour l'établissement de bases gravimétriques absolues aux environs du Puy-de-Dôme ainsi qu'à son sommet (altitude de 1464 m). Une étude des sites susceptibles d'accueillir l'une des bases absolues d'étalonnage dans le bâtiment de l'émetteur de la télévision française au sommet du Puy-de-Dôme a montré qu'il n'existe pas d'assise suffisamment stable pour le but recherché. Le BRGM a donc décidé la construction d'un bâtiment d'observation indépendant d'environ 12 m  $\times$  7 m avec une dalle en granit. Ce bâtiment est en cours de réalisation au sommet du Puy-de-Dôme.

Le gravimètre absolu transportable du BIPM, qui sera utilisé à cette occasion, a besoin de plusieurs modifications mécaniques et électroniques : il a été construit il y a plus de dix ans. La modernisation du chronomètre et de l'ordinateur est aussi en cours ; elle permettra de réduire le temps de calcul de  $g$  de deux minutes à une trentaine de secondes. Pour cela on a réalisé un nouveau chronomètre pour que l'ordinateur puisse lire le temps de passage à une station avec une incertitude inférieure à 100 ps et un logiciel assurant la possibilité d'acquérir plus de 10 000 lectures par seconde.



### 3.7. Publications, conférences et voyages : section des masses

#### 3.7.1. Publications extérieures

1. DAVIS R. S., Using small rare earth magnets to study the susceptibility of feebly magnetic metals, *Am. J. Phys.*, 1992, **60**, 365-370.
2. DAVIS R. S., Equation for the determination of the density of moist air (1981/91), *Metrologia*, 1992, **29**, 67-70.
3. QUINN T. J., SPEAKE C. C., BROWN L. M., Materials problems in the construction of long period pendulums, *Phil. Mag.*, 1992, **65**, 261-276.
4. QUINN T. J., The beam balance as an instrument for very precise weighing, *Meas. Sci. Technol.*, 1992, **3**, 141-159.

#### 3.7.2. Conférences et exposés

T. J. Quinn a donné une conférence « The beam balance as an instrument for modern physics » à la réunion de l'American Physical Society, qui s'est tenue en mars 1992 (Washington, DC, É.-U. d'Amérique).

Durant sa visite en Australie et en Nouvelle-Zélande (voir 1.2) T. J. Quinn a fait un exposé intitulé « The beam balance and the problem of anelasticity » au CSIRO National Measurement Laboratory (Lindfield) et à la New Zealand Royal Society de Wellington.

### 3.8. Visiteurs de la section des masses

#### 3.8.1. Stagiaire

M. W. Tew (NIST, Gaithersburg, É.-U. d'Amérique) a participé à différents travaux de recherche du 20 janvier 1992 au 2 mai 1992 et du 1<sup>er</sup> juin 1992 à la fin d'août 1992.

#### 3.8.2. Visiteurs

M. A. C. Corney (DSIR, Lower Hutt, Nouvelle-Zélande), 2 octobre 1991.

MM. Van Dijk et Grimberger (NMI, Delft, Pays-Bas), 19 décembre 1991.

M. de Beaufort (Sté Mettler-Toledo AG, France), 27 février 1992.

Mme H. H. Rannveig (Det Norske Justervesen, Oslo, Norvège), 16 mars 1992.

M. R. Spurny (CSMU, Bratislava, Tchéco-Slovaquie), 11-15 mai 1992.

M. L. Szönyi (OMH, Budapest, Hongrie), 22 mai 1992.

M. L. M. Brown (Cavendish Laboratory, Université de Cambridge, Royaume-Uni), 2 juin 1992.

M. P. Bender (JILA, Boulder, É.-U. d'Amérique), 8 juin 1992.

- M. M. Gläser (PTB, Braunschweig, Allemagne), 10 juin 1992.  
M. H. Bettin (PTB, Braunschweig, Allemagne), 12 juin 1992.  
M. Y. Nezu (NRLM, Tsukuba, Japon), 15-16 juin 1992.  
M. P. Pinot (INM, Paris, France), 24 juin 1992.  
M. H. Bosse (PTB, Braunschweig, Allemagne), 16 juillet 1992.

#### 4. Temps (C. Thomas)

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

Les échelles de temps TAI et UTC sont régulièrement établies. Les résultats sont diffusés dans la *Circulaire T* et, depuis l'automne 1991, ils sont aussi distribués sur le réseau de courrier électronique BITNET/INTERNET. Le *Rapport annuel de la section du temps du BIPM* pour 1991, volume 4, a été publié en juin 1992.

Depuis le début de l'année 1992, trente-six des quarante-cinq laboratoires participant au TAI sont équipés de récepteurs du temps du GPS et envoient régulièrement au BIPM leurs données brutes, si bien que presque toutes les comparaisons d'horloges servant au calcul du TAI sont obtenues par l'une des méthodes les plus exactes qui soient disponibles et bénéficient d'un traitement identique.

Comme lors des années précédentes, 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, dont les étalons primaires sont bien plus exacts que les autres. La fréquence du TAI a tendance à décroître par rapport à la fréquence des étalons de la PTB et l'on a dû procéder à trois corrections de « pilotage » de  $0,5 \times 10^{-14}$  (en valeur normée) au mois de septembre 1991, au mois de novembre 1991 et au mois de mai 1992. De nouveaux étalons primaires de fréquence, qui utilisent un mode optique pour la préparation et la détection des atomes, sont en cours de mise au point. Leur exactitude devrait concurrencer celle des étalons de la PTB. Le résultat de l'évaluation de l'un d'entre eux, NIST 7, mis au point au NIST à Boulder (É.-U. d'Amérique), est maintenant imminent.

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

Aucun changement n'a été apporté à l'algorithme ALGOS du BIPM, qui optimise correctement la stabilité à long terme de l'échelle obtenue. Actuellement, 12 % des horloges qui participent au TAI sont des masers à hydrogène. Ces horloges, qui dérivent naturellement, étaient, les années précédentes, observées mais non pondérées. En septembre 1991, les masers

---

\* Stagiaire.

à hydrogène ont été introduits dans le calcul du TAI, avec des modes de prédiction de fréquence et de pondération similaires à ceux utilisés pour les autres horloges, pour les deux raisons suivantes :

i) Le développement de méthodes spécifiques d'asservissement de la cavité des masers à hydrogène a beaucoup réduit leur tendance naturelle à dériver. Certains masers à hydrogène, qui fonctionnent dans des laboratoires nationaux de temps, en particulier la PTB, ont des performances à long terme équivalentes à celles des horloges commerciales à césium.

ii) Le poids attribué à une horloge dans ALGOS est inversement proportionnel à la variance classique de ses six dernières fréquences, chacune de ces fréquences étant calculée pour une période de deux mois. Ainsi, les horloges qui dérivent voient-elles leur contribution automatiquement réduite. On avait déjà montré que cette propriété d'ALGOS le rendait efficace pour minimiser l'impact d'autres effets systématiques tels que les variations annuelles.

Comme prévu, la participation effective des masers à hydrogène au calcul du TAI ne dégrade pas sa stabilité et renforce sa fiabilité.

On consacre encore une part importante de l'activité de recherche à des études comparatives entre l'algorithme ALGOS, utilisé pour établir le TAI, et d'autres algorithmes qui servent à établir des échelles de temps nationales. Il s'avère que les idées de base sont les mêmes pour tous les algorithmes étudiés :

- l'échelle de temps est toujours définie comme une moyenne pondérée de lectures d'horloges ;
- les modes de prédiction de fréquence et de pondération sont adaptés aux objectifs particuliers ;
- le filtrage de Kalman est un outil utile pour lisser le bruit blanc.

Une expérience numérique est actuellement en cours de réalisation en collaboration avec le NIST (Boulder, É.-U. d'Amérique). Il s'agit de traiter les données, collectées pendant quatre années consécutives, de trois ensembles indépendants d'horloges à césium (horloges conservées par l'USNO, l'OP et le NIST) en utilisant trois algorithmes différents (le nouvel algorithme du NIST servant à établir TA2, ALGOS, et un ALGOS modifié dans lequel les poids sont déduits du calcul de variances d'Allan plutôt que de variances classiques). Cela devrait permettre d'étudier les performances de chaque algorithme quant à la stabilité de l'échelle obtenue et d'étudier aussi l'influence du nombre d'horloges. Pour l'instant, on constate que l'algorithme ALGOS est plus efficace que l'algorithme ALGOS modifié pour réduire la dérive de l'échelle de temps.

Un problème intéressant est celui de la dégradation de la stabilité d'une échelle de temps, dégradation due aux changements brusques de poids consécutifs aux entrées et aux sorties d'horloges. Pour l'étude quantitative de ce phénomène, on traite avec ALGOS des quantités de données limitées à des horloges ayant fonctionné en continu pendant quelques années (72 pour les années 1990 et 1991, et 48 pour les années 1989, 1990 et 1991).

On compare ensuite à l'échelle obtenue avec toutes les horloges. Il s'avère que le mode de prédiction de fréquence d'ALGOS et les précautions qui sont prises pour observer les nouvelles horloges avant leur entrée sont très efficaces pour gérer convenablement les entrées et sorties d'horloges.

### 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 d'horloges par le GPS. Nous prenons part aussi aux expériences utilisant le transfert de temps par les satellites du système GLONASS et par aller et retour.

#### 4.3.1. Global Positioning System (GPS)

Les comparaisons d'horloges par le GPS sont calculées en utilisant des vues simultanées strictes, c'est-à-dire synchronisées à la seconde, afin de s'affranchir du bruit apporté aux horloges de bord par la dégradation intentionnelle des signaux du GPS (accès sélectif SA) qui est maintenant activée de manière permanente. Le degré de lissage appliqué aux données brutes du GPS est ajusté en fonction de la longueur de la ligne de base entre les stations horaires. La précision d'une mesure [UTC(Lab1) – UTC(Lab2)] est d'environ 2 ns à courte distance et 8 ns à longue distance.

L'harmonisation des coordonnées d'antennes du GPS dans un référentiel unique (ITRF88), effectuée par le BIPM en juin 1990, est l'objet de continuelles améliorations. Le même traitement est appliqué à tout nouveau laboratoire qui s'équipe d'un récepteur du temps du GPS. À titre exceptionnel, on nous a aussi demandé de déterminer des coordonnées exactes pour les antennes du GPS de l'Observatoire d'Arecibo (Porto Rico, É.-U. d'Amérique) et de la station de l'USNO située à Richmond (Floride, É.-U. d'Amérique).

Une autre de nos activités courantes est la vérification des retards internes différentiels entre les récepteurs du temps du GPS fonctionnant de manière régulière dans les laboratoires qui participent au TAI. En mars 1992, une campagne d'étalonnage de récepteurs a été organisée entre l'OP (Paris, France), le NAO (Tokyo, Japon) et le CRL (Tokyo, Japon). Une autre campagne a eu lieu, en juillet 1992, entre l'OP et le CSAV (Prague, Tchéco-Slovaquie). Entre-temps, le résultat de la campagne d'étalonnage entre l'OP, l'OCA (Grasse, France) et le TUG (Graz, Autriche) a été publié dans le *Rapport BIPM-91/6* [13].

Dans le cadre de l'organisation des comparaisons de temps au niveau international, nous continuons à établir deux fois par an (décembre et juin) des programmes de poursuite des satellites du GPS.

Améliorer encore la qualité des comparaisons de temps par le GPS suppose l'emploi d'éphémérides précises des satellites et de retards ionosphériques mesurés le long de la ligne de visée. Des éphémérides précises fournies par la Defence Mapping Agency (É.-U. d'Amérique) et par le National Geodetic Survey (É.-U. d'Amérique) sont reçues et analysées régulièrement par le BIPM [1]. Cependant, elles ne peuvent pas encore être employées dans le travail courant parce qu'elles arrivent trop tard. Il pourrait y avoir de sérieux problèmes si la dégradation due à l'accès sélectif venait à s'étendre aux éphémérides. Les retards ionosphériques mesurés sont utilisés actuellement de manière courante pour les comparaisons OP-NAO et OP-NIST.

Les éphémérides précises et les retards ionosphériques mesurés ont été utilisés pour plusieurs études visant en particulier à déterminer la précision et l'exactitude des comparaisons de temps par la technique des vues simultanées sur de longues distances. On continue à tester la condition de fermeture [2] en combinant trois liaisons horaires, OP-NIST, NIST-CRL et CRL-OP. Sur une période de 18 mois, la condition de fermeture est remplie à quelques nanosecondes près pour des moyennes journalières, cet écart résiduel présentant une variation lente dans le temps. La présentation de cette étude, lors de la réunion de la Commission d'études 7 du CCIR en septembre 1991, a donné lieu à la discussion d'un avant-projet de recommandation concernant l'utilisation des systèmes satellitaires à couverture globale pour les comparaisons d'horloges.

Une étude a montré que, selon les fabricants, différents modèles d'estimation de la correction troposphérique sont utilisés dans les récepteurs du temps du GPS. Tous ces modèles négligent la contribution au retard due à la vapeur d'eau, qui peut s'élever à 15 % de la correction totale. Les résultats obtenus à partir de ces différents modèles, comparés à celui donné par un modèle semi-empirique, présentent des écarts allant jusqu'à 10 ns en cas de hauteurs faibles ( $10^\circ$ ), de forte humidité et de température élevée [3].

Plus généralement, depuis deux ans, des anomalies dans les logiciels utilisés par des récepteurs commerciaux et dans la conception même de ces appareils ont été observées et ont fait l'objet de comptes rendus de la part du BIPM [3,4,5]. À la fin de l'année 1991, en réponse au besoin croissant d'établir des marches à suivre normalisées pour l'observation du GPS, le Groupe de travail du CCDS sur le TAI, a créé officiellement le CGGTTS (CCDS Group on GPS Time Transfer Standards) dont le président est D.W. Allan (NIST) ; la section du temps du BIPM en assure le secrétariat. L'une des premières tâches a été d'établir un format normalisé pour les fichiers de données du GPS (juin 1992).

L'accès direct au temps du GPS, par observation des satellites du bloc II, a été dégradé (de 50 ns à plusieurs centaines de nanosecondes) par la mise en œuvre permanente de l'accès sélectif (SA). La procédure de prédiction de Kalman pourrait apporter une solution efficace au problème

de la restitution précise en temps réel du temps du GPS. Une expérience numérique est en cours de réalisation au BIPM. Elle utilise un programme particulier de poursuite pour lequel, toutes les 16 minutes, quatre satellites différents sont observés à haute élévation pendant 13 minutes. Des résultats prometteurs ont déjà été obtenus mais il est nécessaire de pousser un peu plus loin les recherches.

#### **4.3.2. Global Navigation Satellite System (GLONASS)**

En 1991, le BIPM a entrepris une expérience qui doit permettre, pour la première fois, de comparer directement des liaisons horaires du GPS et du GLONASS en vues simultanées. Un récepteur du GPS, prêté par le BIPM, a été mis en service au VNIIFTRI à Moscou au mois de juin 1991, et l'on a commencé, le 26 février 1992, à observer au BIPM des satellites du GLONASS, grâce à un récepteur de navigation du GLONASS prêté par le VNIIFTRI. Le but de cette expérience est de démontrer la faisabilité du système GLONASS utilisé en vues simultanées, d'élaborer des procédures pour le traitement des données, et de suggérer un format pour les données aussi bien que d'autres normes.

Des observations du GLONASS, réalisées précédemment à l'Université de Leeds (Royaume-Uni), avaient déjà permis au BIPM d'établir la comparaison régulière des horloges de l'Europe occidentale et de la Fédération de Russie avec une incertitude de plusieurs dizaines de nanosecondes. Ce résultat s'est trouvé vérifié cette année par la comparaison avec le GPS utilisé en vues simultanées [6,7]. Des valeurs de [UTC – temps du GLONASS] sont aussi publiées régulièrement dans la *Circulaire T* du BIPM.

#### **4.3.3. Comparaisons horaires par aller et retour**

Les comparaisons horaires effectuées par aller et retour de signaux radioélectriques relayés par un satellite de télécommunication sont réalisées avec une précision de quelques centaines de picosecondes et une exactitude de quelques nanosecondes. En 1989, le BIPM a contribué au développement de telles expériences en mettant sur pied une collaboration entre le NIST, l'USNO et plusieurs laboratoires européens. Par la suite, une expérience de ce type a eu lieu entre l'Observatoire de la Côte d'Azur (Grasse, France) et le TUG (Graz, Autriche), de novembre 1990 à avril 1991. On a alors sollicité le BIPM pour son savoir-faire en matière de traitement des données du GPS et on lui a confié l'étude comparative des deux techniques, GPS et aller et retour. Le BIPM a aussi étalonné l'équipement d'observation du GPS [13]. La différence entre les résultats obtenus par les deux techniques n'excède pas quelques nanosecondes [8], ce qui est excellent. Cependant, on a montré que cette différence évoluait avec le temps et était fortement corrélée avec la température extérieure. Pour expliquer complètement ce

phénomène, d'autres expériences sont nécessaires, mais le rapprochement peut déjà être fait avec des travaux antérieurs du BIPM qui montraient la dépendance de certains récepteurs du temps du GPS avec la température extérieure.

#### **4.4. Définition des échelles de temps, relation avec l'astronomie** (B. Guinot, G. Petit)

À la suite d'un article publié en 1991\* et de la définition de nouvelles échelles de temps-coordonnée donnée par l'UAI, des discussions ont été engagées, principalement entre J. de Boer, T. J. Quinn et B. Guinot, à propos de la nature des échelles de temps. Cela concerne essentiellement les problèmes de non-dimensionnement des lectures d'échelles de temps et de la relation entre leur système de graduation et la seconde du SI. Ces discussions se poursuivent.

Lors de sa 21<sup>e</sup> assemblée générale, en 1991, l'UAI a créé un groupe de travail sur les normes astronomiques afin de réviser et d'améliorer le système de modèles et de constantes astronomiques. Il s'agit de continuer le travail d'un sous-groupe qui existait précédemment. G. Petit participe aux activités de ce groupe de travail.

#### **4.5. Pulsars** (G. Petit, C. Thomas, P. Tavella)

Les pulsars-milliseconde sont des objets de notre galaxie qui sont en rotation avec une période très stable. Bien qu'ils ne puissent pas servir à définir l'unité de temps, ils peuvent être considérés comme des horloges stables, que l'on peut donc traiter par un algorithme optimisé pour la stabilité afin de réaliser une échelle de temps. On travaille maintenant sur les possibilités éventuelles de réaliser une échelle de temps des pulsars et sur les implications qu'elle aurait sur le temps atomique [12]. Un point important : une échelle de temps des pulsars pourrait permettre de transférer d'une époque à une autre l'exactitude du temps atomique. Cela apporterait une solution à certains problèmes causés par les pannes éventuelles des étalons atomiques.

Une collaboration est engagée entre la section du temps et différents groupes de radioastronomes impliqués dans les observations de pulsars, afin d'obtenir et de traiter des données réelles. La section du temps leur a fourni, en mars 1992, la dernière version de sa réalisation en temps différé du temps terrestre, TT(BIPM92), et leur a occasionnellement apporté une aide.

---

\* GUINOT B., La nature des échelles de temps, définitions, notations, *Journées sur les systèmes de référence spatio-temporels*, Observatoire de Paris, 1991, 3-10.

## 4.6. Autres activités

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

Le laboratoire de temps du BIPM est maintenant en fonction. Les données de plusieurs récepteurs du temps du GPS, ainsi que de plusieurs systèmes de mesures ionosphériques, ont été analysées dans le cadre d'études de normalisation. L'équipement rassemblé au BIPM est aussi utile pour les campagnes d'étalonnage et pour collaborer à des expériences bien spécifiques comme les comparaisons d'horloges réalisées par le GLONASS. La stabilité de l'horloge à césium installée au BIPM, et prêtée par l'USNO (Washington, DC, É.-U. d'Amérique), correspond à un écart-type d'Allan de  $3 \times 10^{-14}$  pour des moyennes faites sur 25 jours.

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

La radio-interférométrie à très longue base (Very Long Baseline Interferometry, VLBI) est la technique la plus précise pour réaliser des 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 moyennes sur des durées allant de 1 minute à 1 jour. Nous suivons de très près ce qui se fait dans ce domaine en participant :

- au traitement de données de VLBI à l'IGN (Saint-Mandé, France),
- à la mise au point d'un corrélateur au Centre national d'études spatiales (Toulouse, France),
- à la mise au point d'un logiciel destiné à analyser des données de VLBI à l'OP,

— à l'organisation d'observations de VLBI de pulsars-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. LEWANDOWSKI W., PETIT G., THOMAS C., Precise GPS Ephemerides from DMA and NGS Tested by Time Transfer, In *Proc. 23rd PTII*, 1991, 59-70.
2. LEWANDOWSKI W., PETIT G., THOMAS C., Accuracy of GPS Time Transfer Verified by the Closure around the World, In *Proc. 23rd PTII*, 1991, 331-339.
3. LEWANDOWSKI W., PETIT G., THOMAS C., GPS Standardization for the Needs of Time Transfer, In *Proc. 6th EFTF*, 1992, 243-248.



4. LEWANDOWSKI W., THOMAS C., ALLAN D.W., CGSIC Subcommittee on Time and CCDS Group of Experts on GPS Standardization, In *Proc. ION GPS-91 4th International Technical Meeting*, 1991, 207-214.
5. LEWANDOWSKI W., PETIT G., THOMAS C., The Need for GPS Standardization, In *Proc. 23rd PTTI*, 1991, 1-13.
6. DALY P., KOSHELYAEVSKY N. B., LEWANDOWSKI W., PETIT G., THOMAS C., Comparison of GLONASS and GPS Time Transfers between two West European Time Laboratories and VNIIFTRI, In *Proc. 23rd PTTI*, 1991, 341-350.
7. DALY P., KOSHELYAEVSKY N. B., LEWANDOWSKI W., PETIT G., THOMAS C., Comparison of GLONASS and GPS Time Transfers, In *Proc. 6th EFTF*, 1992, 249-252.
8. KIRCHNER D., THYR U., RESSLER H., ROBNIK R., GRUDLER P., BAUMONT F., VEILLET C., LEWANDOWSKI W., HANSON W., CLEMENTS A., JESPERSEN J., HOWE D., LOMBARDI M., KLEPCZYNSKI W., WHEELER P., POWELL W., DAVIS A., UHRICH P., TOURDE R., GRANVEAUD M., Comparison of Two-Way Satellite Time Transfer and GPS Common-View Time Transfer Between OCA and TUG, In *Proc. 23rd PTTI*, 1991, 71-88.
9. GUINOT B., L'unification mondiale de l'heure et des fréquences, *L'onde électrique*, 1992, 72, 18-23.
10. GUINOT B., Atomic time scales for dynamical astronomy, In *Proc. 6th EFTF*, 1992, 51-56.
11. GUINOT B., Navigation et mesure du temps, *Navigation*, 1992, 40, 159, 389-403.
12. PETIT G., TAVELLA P., THOMAS C., How can Millisecond Pulsars improve the Long-Term Stability of Atomic Time Scales ?, In *Proc. 6th EFTF*, 1992, 57-60.

#### 4.7.2. Rapport BIPM

13. LEWANDOWSKI W., Determination of differential time corrections between the GPS time receivers located at the Observatoire de Paris, the Observatoire de la Côte d'Azur and the Technical University of Graz, *Rapport BIPM-91/6*, novembre 1991, 12 pages.

#### 4.7.3. Conférences et exposés

W. Lewandowski a participé aux réunions du Comité civil du GPS à San Diego (É.-U. d'Amérique), du 29 au 31 janvier 1992. Il y a présenté nos travaux sur des comparaisons d'horloges par le GPS.

G. Petit a donné une conférence sur l'interférométrie à très longue base (VLBI) à l'IGN, Paris (France), le 19 février 1992, et une conférence sur les comparaisons d'horloges par le GPS durant l'International Workshop

on Techniques to Study Cosmic Rays, le 23 avril 1992, à Paris (France). Il a aussi présenté nos travaux concernant la précision et l'exactitude des comparaisons d'horloges par le GPS durant la CPEM'92, Paris (France), le 11 juin 1992.

C. Thomas a donné une conférence sur le temps à l'IGN, Paris (France), le 27 janvier 1992.

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

B. Guinot s'est rendu :

— à Noordwijk (Pays-Bas) les 13 et 14 novembre 1991, pour participer au conseil scientifique du Forum européen fréquence et temps et à une discussion sur l'application à l'espace des mesures du temps ;

— à Toulouse (France) le 11 février 1992, pour participer au conseil scientifique du Groupe de recherches de géodésie spatiale.

W. Lewandowski s'est rendu :

— à Pasadena (É.-U. d'Amérique) du 3 au 5 décembre 1991, pour assister à la 23<sup>e</sup> réunion du PTTI, et participer à la 1<sup>re</sup> réunion du CGGTTS et à la réunion du Groupe de coordination du LASSO ;

— à Noordwijk (Pays-Bas) du 17 au 19 mars 1992, pour assister au 6<sup>e</sup> Forum européen fréquence et temps ;

— à Paris (France) du 9 au 12 juin 1992, pour assister à la CPEM'92 et pour participer à la 2<sup>e</sup> réunion du CGGTTS ;

— à Prague (Tchéco-Slovaquie) du 1<sup>er</sup> au 5 juillet 1992, pour installer un récepteur du temps du GPS au CSAV.

G. Petit s'est rendu :

— à Genève (Suisse) les 29 et 30 octobre 1991, pour assister à la réunion de la Commission d'études 7 (Services scientifiques) du CCIR ;

— à Pasadena (É.-U. d'Amérique) du 2 au 5 décembre 1991, pour assister à la 23<sup>e</sup> réunion du PTTI et participer à la 1<sup>re</sup> réunion du CGGTTS ;

— à Noordwijk (Pays-Bas) du 17 au 19 mars 1992, pour assister au 6<sup>e</sup> Forum européen fréquence et temps ;

— à La Haye (Pays-Bas) du 18 au 20 mai 1992, pour assister au Symposium on Refraction of Transatmospheric Signals in Geodesy ;

— à Paris (France) du 9 au 12 juin 1992, pour assister à la CPEM'92 et participer à la 2<sup>e</sup> réunion du CGGTTS ;

— à Bologne (Italie) du 15 au 17 juin et du 10 au 14 août 1992, pour mener à bien une expérience d'observations en VLBI de pulsars-milliseconde.

C. Thomas s'est rendue :

— à Genève (Suisse) du 28 octobre au 1<sup>er</sup> novembre 1991, pour assister à la réunion de la Commission d'études 7 (Services scientifiques) du CCIR ;

— à Pasadena (É.-U. d'Amérique) du 2 au 5 décembre 1991, pour assister à la 23<sup>e</sup> réunion du PTTI et participer à la 1<sup>re</sup> réunion du CCGTTS ;

— à Turin (Italie) le 12 décembre 1991, pour visiter le Politecnico di Torino et assister à la présentation du travail de thèse de Mme P. Tavella, travail réalisé en grande partie au BIPM ;

— à Toulouse (France) le 18 février 1992, pour visiter le Centre national d'études spatiales et participer à une réunion sur les comparaisons d'horloges par le GPS ;

— à Paris (France) du 9 au 12 juin 1992, pour assister à la CPEM'92 et participer à la 2<sup>e</sup> réunion du CCGTTS.

#### **4.8. Activités en liaison avec des organismes extérieurs**

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.

W. Lewandowski participe aux travaux de l'UGGI.

G. Petit participe aux travaux de l'UAI en tant que membre du Groupe de travail sur les normes astronomiques. Il est membre du conseil scientifique du GRGS (France), membre du Comité national français de géodésie et géophysique.

C. Thomas est membre du groupe de travail Terminologie et notations en géodésie (France), membre du Comité national français de géodésie et géophysique.

#### **4.9. Visiteurs de la section du temps**

##### **4.9.1. Stagiaires**

Mme P. Tavella (IEN, Turin, Italie) a effectué quatre stages du 14 au 25 octobre 1991, du 10 au 14 février 1992, du 6 au 17 avril 1992 et du 8 au 19 juin 1992, au cours desquels elle a continué diverses études sur les algorithmes d'échelles de temps et aussi débuté une collaboration portant sur l'étude des pulsars.

M. E. Bleuzet, étudiant à l'École nationale des sciences géographiques (Saint-Mandé, France), a effectué un stage de 5 mois (de mai à septembre 1992) afin de préparer un rapport sur la mesure des retards ionosphériques des signaux du GPS.

##### **4.9.2. Visiteurs**

M. J. L. Issler (CNES, Toulouse, France), 24 octobre 1991.

MM. J. Cermak et J. Vondrak (CSAV, Prague, Tchéco-Slovaquie), 19 novembre 1991.

M. P. Uhrich (LPTF, Paris, France), du 21 au 30 janvier 1992.

M. A. Bauch (PTB, Braunschweig, Allemagne), 24 janvier 1992.

MM. Y. Domnin et G. Cherenkov (VNIIFTRI, Moscou, Féd. de Russie), du 24 février au 8 mars 1992.

MM. B. G. Harsson et B. O. Solberg (Geodetic Institute, Honefoss, Norvège), 28 février 1992.

MM. M. Imae (Kashima Space Research Center, Kashima, Japon) et M. Aida (CRL, Tokyo, Japon), du 2 au 11 mars 1992.

M. T. Fayard (CNES, Toulouse, France), 13 avril 1992.

MM. J. F. Lestrade et I. Cognard (Observatoire de Meudon, Meudon, France), 15 avril 1992.

M. A. Lecacheux (Observatoire de Meudon, Meudon, France), 26 mai 1992.

M. L. T. Lee (SCL, Hong-Kong), 16 juin 1992.

Mme F. Arias (ONBA, Buenos Aires, Rép. d'Argentine), 18 juin 1992.

## 5. Électricité (T. J. Witt)

### 5.1. Remarques générales

Parmi les points marquants de notre activité figure la réalisation couronnée de succès de cinq nouvelles comparaisons internationales d'étalons de tension à réseau de jonctions de Josephson, à un niveau d'accord (différences relatives de  $2 \times 10^{-10}$  ou moins) et d'exactitude (incertitudes relatives de  $5 \times 10^{-10}$  ou moins) sans précédent. Le raccordement entre les étalons de tension primaires à réseau de jonctions de Josephson de tous les participants est solidement établi.

De même, le résultat final de la comparaison internationale d'étalons de résistance de 1990 montre un bon accord entre les laboratoires participants qui ont exprimé les valeurs de résistance en fonction de leur propre réalisation de la résistance de Hall quantifiée. L'accord, en valeur relative, entre les laboratoires nationaux et le BIPM est de  $(-3,2 \pm 2,4) \times 10^{-8}$  pour les résistances de  $1 \Omega$  et de  $(0,9 \pm 2,2) \times 10^{-8}$  pour les résistances de  $10 \text{ k}\Omega$ . Il apparaît clairement que le manque de stabilité des étalons voyageurs de résistance limite l'exactitude de telles comparaisons entre étalons primaires fondés sur l'effet Hall quantique. Pour surmonter cette difficulté, le BIPM propose l'utilisation d'un pont transportable de mesure de résistance, fonctionnant en courant alternatif et à température ambiante, comme nouveau moyen de comparer, avec une incertitude relative pouvant être aussi faible que quelques  $10^{-9}$ , les mesures de résistance de Hall quantifiée réalisées par les différents laboratoires.

## 5.2. Potentiel électrique

### 5.2.1. Effet Josephson (D. Reymann)

La comparaison de réseaux de jonctions de Josephson a été la partie la plus importante des activités concernant les étalons de tension. Depuis octobre 1991, cinq comparaisons internationales ont été réalisées avec succès en transportant notre équipement au NIST (É.-U. d'Amérique), au NRC (Canada), au NPL (Royaume-Uni), au LCIE (France) et à l'ETL (Japon). Pour vérifier la stabilité de l'étalon voyageur du BIPM, nous avons également effectué, en mai 1992, une comparaison interne entre les deux étalons de tension à réseau de jonctions de Josephson du BIPM.

Ces comparaisons ont permis d'établir, avec un niveau d'incertitude sans précédent, le raccordement entre les étalons primaires des laboratoires nationaux de métrologie. Elles ont aussi apporté une expérience précieuse en ce qui concerne l'utilisation pratique d'étalons à réseau de jonctions. Les résultats des comparaisons directes de réseaux de jonctions et des comparaisons indirectes utilisant l'étalon de transfert de tension du BIPM ont été très satisfaisants (désaccord et incertitude ne dépassant pas quelques  $10^{-10}$ ).

En plus des comparaisons des étalons à réseau de jonctions, nous avons aussi mesuré, dans la plupart des laboratoires, des étalons de tension à diode de Zener qui sont utilisés comme étalons de transfert dans tous les laboratoires, à l'exception du BIPM. Les résultats mettent en évidence les limites de l'exactitude des étalons à diode de Zener, dues aux résistances de fuite, aux interférences électromagnétiques et au bruit en  $1/f$  qui, globalement, sont responsables d'une incertitude relative de mesure de quelques  $10^{-8}$ .

En raison des problèmes rencontrés en 1991 lors de la comparaison indirecte, via l'étalon de transfert de tension du BIPM, la comparaison avec le LCIE a été renouvelée en février 1992 et de bons résultats ont été obtenus. Les mesures au LCIE ont comporté la comparaison directe des tensions de sortie des deux dispositifs à réseau de jonctions irradiés par une même source d'ondes millimétriques, ce qui permet d'éliminer toutes les incertitudes relatives à la fréquence. Comme prévu, nous n'avons observé aucun changement de la tension mesurée, même lorsque la source d'ondes millimétriques était commutée du mode stabilisé en fréquence au mode en fonctionnement libre. Pour toutes les autres comparaisons, l'incertitude relative due à la mesure de la fréquence était d'environ  $1 \times 10^{-10}$ , une valeur quelque peu supérieure à ce qui était attendu.

L'ensemble des résultats de ces comparaisons, exprimés comme la différence entre les valeurs qui seraient attribuées à une pile étalon par les différents instruments, est donné ci-dessous. Les incertitudes sont les incertitudes types combinées (types A et B).

Au NIST :

$$U_{\text{NIST}} - U_{\text{BIPM}} = 0,1 \text{ nV}, \quad \sigma = 0,3 \text{ nV}.$$

Au NRC :

$$U_{\text{NRC}} - U_{\text{BIPM}} = -0,2 \text{ nV}, \quad \sigma = 0,3 \text{ nV}.$$

Au NPL :

$$U_{\text{NPL}} - U_{\text{BIPM}} = -0,1 \text{ nV}, \quad \sigma = 0,5 \text{ nV}.$$

Au LCIE :

$$U_{\text{LCIE}} - U_{\text{BIPM}} = -0,1 \text{ nV}, \quad \sigma = 0,2 \text{ nV}.$$

À l'ETL :

$$U_{\text{ETL}} - U_{\text{BIPM}} = 0,0 \text{ nV}, \quad \sigma = 0,2 \text{ nV}.$$

Au BIPM :

$$U_{\text{BIPM}(1)} - U_{\text{BIPM}(2)} = 0,0 \text{ nV}, \quad \sigma = 0,2 \text{ nV}.$$

Des comparaisons avec d'autres laboratoires nationaux sont projetées en 1992.

### 5.2.2. Autres activités

Les recherches pour améliorer la reproductibilité des mesures d'étalons à diode de Zener continuent. Nous envisageons de remplacer le détecteur de zéro utilisé pour les mesures au niveau de 1,018 V.

## 5.3. Résistance électrique

### 5.3.1. Effet Hall quantique et mesures de résistance associées (F. Delahaye)

Nous avons poursuivi la mise au point de l'étalonnage en courant alternatif basse fréquence (de l'ordre de 1 Hz) d'étalons de 1  $\Omega$ , 100  $\Omega$  et 10 k $\Omega$  en fonction de la résistance de Hall quantifiée (RHQ). Les mesures en basse fréquence présentent en effet des avantages substantiels par rapport aux mesures traditionnelles en courant continu, tout en donnant des résultats de mesure compatibles avec ceux obtenus en continu [1].

Nous avons réalisé un nouveau pont de mesure de résistance fonctionnant en courant alternatif. Il est fondé sur un comparateur de courants à température ambiante utilisant un noyau magnétique de haute perméabilité [voir section 5.7.3]. Des techniques originales pour la fabrication des enroulements (rapport de nombre de tours égaux à 100,

64,53 et 129,06) ont été mises en œuvre, conciliant une haute résolution et une faible erreur relative de rapport (quelques  $10^{-9}$  à 1 Hz). Nous avons étudié le comportement en courant alternatif de différents étalons de résistance de  $1 \Omega$  et évalué la différence de la valeur de leur résistance entre le continu et l'alternatif (1 Hz). Pour des étalons sélectionnés, cette différence ne dépasse pas quelques  $10^{-9}$ .

Nous sommes maintenant en mesure d'utiliser ce nouveau pont pour les mesures courantes d'étalons de  $1 \Omega$  en fonction de la résistance de Hall quantifiée. Comme le pont est relativement facile à transporter et à utiliser, nous suggérons qu'il pourrait être transporté dans d'autres laboratoires pour des comparaisons de rapport de résistances. Cette nouvelle technique de transfert ne repose pas sur des étalons de transfert de résistance dont le défaut de stabilité limite actuellement la précision des comparaisons. Une comparaison expérimentale avec le LCIE est prévue pour 1993.

### **5.3.2. La comparaison internationale d'étalons de $1 \Omega$ et de $10 \text{ k}\Omega$ de 1990**

La comparaison internationale d'étalons de  $1 \Omega$  et de  $10 \text{ k}\Omega$  de 1990 s'est déroulée au BIPM du 24 septembre au 25 novembre 1990. Après la réalisation des mesures retour par les laboratoires participants, une version provisoire du rapport sur la comparaison a été préparée et soumise aux laboratoires. La version définitive du rapport [2] a été publiée dans *Metrologia*.

Les résultats sont globalement bons. En particulier, pour les dix laboratoires qui ont fourni des résultats fondés sur des mesures indépendantes de résistance de Hall quantifiée, la moyenne et l'écart-type pondérés de la différence relative entre la valeur attribuée à un étalon par le laboratoire et celle attribuée par le BIPM est  $(-3,2 \pm 2,4) \times 10^{-8}$  pour les étalons de  $1 \Omega$  et  $(0,9 \pm 2,2) \times 10^{-8}$  pour les étalons de  $10 \text{ k}\Omega$ . Cela confirme, à l'échelle mondiale, la cohérence des étalons de résistance fondés sur l'effet Hall quantique et apporte des éléments techniques solides pour le raccordement entre étalons nationaux de résistance. Une autre conclusion est que l'incertitude provenant du manque de stabilité des étalons voyageurs de  $1 \Omega$  et de  $10 \text{ k}\Omega$  est de l'ordre de  $2 \times 10^{-8}$ . La réduction des incertitudes à un niveau inférieur à  $1 \times 10^{-8}$  nécessitera donc des améliorations substantielles des résistances transportables ou une nouvelle technique de transfert, telle que celle proposée en 5.3.1.

### **5.4. Étude des applications métrologiques des supraconducteurs à haute température (T. J. Witt)**

Jusqu'à cette année, nos études sur l'effet Josephson dans les supraconducteurs à haute température s'étaient limitées à des dispositifs en matériau céramique massif à base de  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-8}$  préparés au

BIPM. Récemment, des techniques pour la fabrication de dispositifs à micropont en couches minces présentant l'effet Josephson ont été mises au point dans plusieurs laboratoires de recherche. Nous avons cherché à établir une collaboration avec ces laboratoires afin d'étudier les applications métrologiques possibles. Une de ces collaborations a consisté à emprunter un dispositif à couches minces fabriqué par B. Mockley de l'Université Cornell, Ithaca, New York (É.-U. d'Amérique). Avec la soudeuse thermosonique utilisée pour la préparation de nos échantillons pour l'effet Hall quantique nous avons pu réaliser des connexions fiables sur les plots de contact argentés des couches en  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$  et tester sept dispositifs sur un même substrat. Bien qu'un seul des dispositifs ait présenté l'effet Josephson, et cela seulement avec un courant critique très faible, le dispositif a montré un couplage particulièrement fort avec l'irradiation micro-onde. Lorsque les dispositifs à couches minces deviendront plus largement disponibles, nous espérons pouvoir établir d'autres collaborations avec les fabricants.

Nos mesures d'atténuation du champ magnétique dans un tube de 15 mm (diamètre intérieur) en matériau composite supraconducteur à haute température (voir Rapport 1991, p. 61) indiquent que le facteur d'atténuation atteint 300 à 1 kHz.

La qualité des soudures à faible résistance de contact réalisées sur du matériau  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$  suivant la technique mise au point au BIPM a été étudiée. Le produit de la résistance de contact par la surface de contact atteint  $1,5 \times 10^{-9} \Omega \cdot \text{cm}^2$ , valeur voisine des meilleures valeurs publiées.

### **5.5. Étude de l'accroissement possible des perturbations magnétiques au BIPM (T. J. Witt)**

En décembre 1991 nous avons eu connaissance d'un projet SNCF/RATP visant à transformer la ligne de chemin de fer existant le long de la Seine, à environ 400 m à l'est du Pavillon de Breteuil, en une ligne de tramway. La fréquence prévue des tramways étant d'un toutes les deux minutes aux heures de pointe, nous avons décidé d'étudier les perturbations qui pourraient en résulter pour certains équipements de mesure tels que la balance à suspensions flexibles. Cet instrument pourrait être sensible à des variations de la composante horizontale de l'induction magnétique aussi faibles que 0,1 nT. Le tramway en projet, d'un type déjà en service à Grenoble et à Nantes, fonctionne en courant continu avec des intensités pouvant atteindre 750 A.

Afin d'étudier le problème, nous avons rencontré les ingénieurs de la SNCF, responsables du projet de tramway, qui nous ont fourni les informations nécessaires. Nous avons par ailleurs réalisé des mesures magnétiques dans la bibliothèque et dans le jardin du BIPM, emplacements relativement protégés des perturbations locales, afin d'évaluer le niveau actuel des interférences magnétiques. Nos observations ont montré que les



fluctuations de l'induction magnétique étaient d'environ 2 nT pendant la nuit (de 2 h 00 à 5 h 00) et de 500 nT au maximum le jour.

Nous avons pris contact avec D. Gilbert, directeur de l'Observatoire magnétique national français qui a une expérience considérable des problèmes d'interférences magnétiques dues à l'activité humaine. Il s'est aimablement proposé pour accompagner T. J. Witt et R. S. Davis à Grenoble, avec deux magnétomètres sensibles de l'Observatoire et un du BIPM, afin de mesurer les perturbations créées par le tramway. Ceci a été fait le 4 juin 1992. À environ 50 m de la voie nous avons mesuré des variations d'induction magnétique d'environ 50 nT dans le plan horizontal et d'environ 250 nT dans le plan vertical lors du passage des tramways. À 100 m de la voie, la composante horizontale n'était plus que de 20 nT.

Nous sommes arrivés à la conclusion que la perturbation magnétique supplémentaire due au tramway sera moins importante que les perturbations existant actuellement au Pavillon de Breteuil. Quoi qu'il en soit, les instruments particulièrement sensibles doivent être blindés ou utilisés la nuit. Nous remercions D. Gilbert pour son aide lors de ces investigations.

## 5.6. Comparaisons et étalonnages courants

Les étalonnages courants ont porté sur le matériel suivant : des piles nues pour la Roumanie ; des étalons à diode de Zener à 1,018 V et à 10 V pour la Belgique, l'Irlande, l'Afrique du Sud, le Portugal et Israël ; des résistances de 1  $\Omega$  pour la Belgique, l'Irlande, l'Afrique du Sud et l'Espagne ; des résistances de 100  $\Omega$  pour la Belgique ; et enfin des résistances de 10 k $\Omega$  pour la Belgique, le Portugal, l'Afrique du Sud, la Roumanie et l'Espagne.

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

### 5.7.1. Publications extérieures

1. DELAHAYE F., An AC-Bridge for Low-Frequency Measurements of the Quantized Hall Resistance, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1991, **40**, 883-888.
2. DELAHAYE F., BOURNAUD D., WITT T. J., Report on the 1990 International Comparison of 1  $\Omega$  and 10 k $\Omega$  Resistance Standards at the BIPM, *Metrologia*, 1992, **29**, 273-283.
3. DELAHAYE F., DC and AC Techniques for Resistance and Impedance Measurements, *Metrologia*, 1992, **29**, 81-93.
4. HENDERSON L. C. A., REYMANN D., WITT T. J., NPL/BIPM Comparison of Josephson Voltage Standards, *Meas. Sci. Technol.*, 1992, **3**, 1011-1013.

### 5.7.2. Conférences et exposés

F. Delahaye a participé à la 7<sup>e</sup> réunion EUROMET d'experts de l'effet Hall quantique (SP, Borås, Suède, 31 mars-1<sup>er</sup> avril 1992) et y a présenté les résultats de la comparaison internationale d'étalons de 1  $\Omega$  et de 10 k $\Omega$  de 1990.

T. J. Witt, F. Delahaye et D. Reymann ont participé à la CPEM'92 (Paris, 9-12 juin 1992) et y ont présenté les communications suivantes :

- « The role and activities of the electricity section of the BIPM » (T. J. Witt), voir *CPEM'92 Digest*, 1992, 4-5 ;
- « Accurate AC measurements of standard resistors between 1 Hz and 20 Hz » (F. Delahaye et D. Bournaud), voir *CPEM'92 Digest*, 1992, 85-86 ;
- « International comparisons of Josephson-array voltage standards » (D. Reymann et T. J. Witt), voir *CPEM'92 Digest*, 1992, 364-365.

F. Delahaye est co-auteur d'une communication commune BIPM - BNM/LCIE - LEP présentée à la CPEM'92 et intitulée « Report on a joint BIPM-EUROMET project for the fabrication of QHE samples by the LEP », voir *CPEM'92 Digest*, 1992, 356-357.

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

T. J. Witt et D. Reymann ont visité : le NIST, Washington, DC (É.-U. d'Amérique), du 14 au 18 octobre 1991 ; le NRC, Ottawa (Canada), du 21 au 24 octobre 1991 ; le NPL, Teddington (Royaume-Uni), du 27 au 30 janvier 1992 ; l'ETL, Tsukuba (Japon), du 27 mars au 6 avril 1992, pour des comparaisons de réseaux de jonctions de Josephson, des visites et des discussions sur la métrologie des tensions et des résistances, les réseaux de jonctions et la supraconductivité à haute température. D. Reymann a visité le LCIE, Fontenay-aux-Roses (France), du 10 au 21 février 1992, dans le même but.

T. J. Witt a visité la School of Applied and Engineering Physics, Cornell University, Ithaca, New York (É.-U. d'Amérique), le 26 octobre 1992, pour des discussions sur l'effet Josephson dans des couches minces de supraconducteurs à haute température et pour prendre un échantillon pour l'effet Josephson.

T. J. Witt et D. Reymann ont visité : l'École supérieure de physique et de chimie industrielle, Paris, le 22 avril 1992, pour discuter de la fabrication de dispositifs à couches minces de supraconducteurs à haute température.

T. J. Witt a participé à la 4<sup>e</sup> réunion des correspondants en électricité d'EUROMET, les 7 et 8 novembre 1991, à la PTB, Braunschweig (Allemagne). Il y a présenté les activités de la section d'électricité du BIPM,

en particulier la comparaison de résistances de 1990 et les comparaisons d'étalons de tension à réseau de jonctions de Josephson.

T. J. Witt a participé à la réunion EUROMET sur l'effet tunnel monoélectronique et les étalons quantiques de courant au VSL, Delft (Pays-Bas), les 17 et 18 février 1992. Le 19 février, il a visité les laboratoires de métrologie électrique du VSL.

### **5.8. Activités en liaison avec des organismes extérieurs**

T. J. Witt et F. Delahaye ont été membres du Comité du programme technique de la CPEM'92 et ont participé à ses réunions du 10 décembre 1991 à la Société des électriciens et électroniciens (SEE), Paris, et les 21-22 janvier 1992 au LCIE, Fontenay-aux-Roses (France).

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

### **5.9. Visiteurs de la section d'électricité**

M. W. M. P. Marais (CSIR, Pretoria, Afrique du Sud), 1<sup>er</sup> octobre 1991.

Mme V. Spasić-Jokić (BFMMP, Belgrade, Yougoslavie), 6 décembre 1991.

M. D. Gilbert (directeur de l'Observatoire magnétique national et physicien à l'Institut de physique du globe de Paris), 24 janvier 1992.

M. P. Hetherington (EOLAS, Dublin, Irlande), 7 février 1992.

M. C. Andrikidis (CSIRO, Lindfield, Australie), 3 juin 1992.

MM. M. Cage, R. Dziuba, R. Elmquist, B. Waltrip, N. Oldham et S. Avramov (NIST, Gaithersburg, É.-U. d'Amérique), 8 juin 1992.

MM. M.K. Yoshihiro, A. Iwasa (ETL, Tsukuba, Japon), et M. H. Yoshida (Advantest Sendai Laboratories, Sendai, Japon), 8 juin 1992.

Prof. Liu Ruimin (NIM, Beijing, Rép. pop. de Chine), 17 juin 1992.

M. T. Endo (ETL, Tsukuba, Japon), 17-19 juin 1992.

Mme I. Diaconescu (INM, Bucarest, Roumanie), 23-25 juin 1992.

Mme A. Singhabhandhu (Physics and Engineering Division, Department of Science Service, Bangkok, Thaïlande), 13 juillet 1992.

## **6. Radiométrie, photométrie, thermométrie et manométrie** (J. Bonheure)

### **6.1. Radiométrie (R. Köhler, R. Goebel)**

L'activité de cette année porte, pour l'essentiel, sur la comparaison internationale de sensibilité spectrale de photodiodes au silicium mentionnée dans le précédent rapport.

Le BIPM a agi comme pilote du petit groupe de travail constitué pour examiner comment réaliser la comparaison. Le groupe de travail a décidé que chaque laboratoire participant recevrait trois photodiodes (Hamamatsu type S1337-1010BQ, à fenêtre de quartz) et un récepteur piège formé de trois photodiodes du même type mais sans fenêtre ; il a aussi fixé les conditions d'emploi liées aux dimensions du faisceau et au domaine spectral (choix de 21 longueurs d'onde). Le dispositif expérimental utilisé au BIPM pour la comparaison a fait l'objet de nombreux essais et contrôles sur la répétabilité des mesures.

Des dix-sept laboratoires interrogés pour savoir s'ils participeraient ou non à la comparaison, quatorze ont répondu dont treize positivement. Toutefois, 15 jeux de récepteurs ont été préparés, afin d'en conserver deux en réserve au BIPM. Au total 50 photodiodes avec fenêtre et 50 photodiodes sans fenêtre pour les récepteurs pièges ont été achetées. La mécanique constitutive des pièges a été conçue au BIPM et les 15 pièges ont été fabriqués à l'atelier du BIPM.

Tous les récepteurs ont été mesurés par comparaison à un jeu de quatre photodiodes pour contrôler leur sensibilité spectrale relative, au moins deux fois, à chacune des 21 longueurs d'onde choisies. L'uniformité spatiale de sensibilité dans l'ultraviolet ( $\lambda = 365,5$  nm) a aussi été contrôlée sur toutes les diodes. Pour un échantillon représentatif de 15 récepteurs, on a mesuré la résistance de shunt et l'uniformité à trois longueurs d'onde différentes ; enfin, sur un nombre plus petit de récepteurs, on a déterminé la linéarité et l'influence de la température sur la sensibilité.

Bien que la comparaison internationale ne le requière pas, deux photodiodes ont été étalonnées en sensibilité spectrale absolue en utilisant un monochromateur, avec le récepteur QED-200 comme référence absolue à deux longueurs d'onde et un récepteur pyroélectrique comme dispositif de transfert spectralement plat.

Une comparaison pilote a été réalisée avec la PTB et le NPL en utilisant quatre photodiodes ; elle a montré que le type de photodiode choisi avait une stabilité suffisante pour servir d'instrument de transfert lors de la comparaison. La comparaison pilote a aussi permis de confronter l'échelle radiométrique du BIPM à celles des deux autres laboratoires dans le domaine spectral allant de 250 nm à 1000 nm.

L'échelle du BIPM a été comparée à celle du radiomètre cryogénique de la PTB (Berlin) à deux longueurs d'onde : les deux échelles présentent un écart systématique de 0,15 %.

## 6.2. Photométrie

Comme il est indiqué dans le précédent rapport, les mesures de répétabilité portant sur des lampes de fabrication russe (Spectron) et chinoise (NIM/fabrique de lampes Ya Ming de Shanghai) ont donné des résultats satisfaisants : des évolutions de 0,25 % environ pour le

flux lumineux des lampes russes et de 0,15 % environ pour l'intensité lumineuse des lampes chinoises ont été observées à la suite d'une série de 50 allumages de 12 et 8 minutes respectivement.

### 6.3. Thermométrie et manométrie

L'étude de la stabilité à long terme des cellules à point triple de l'eau s'est poursuivie. En particulier, on a montré que toutes les anomalies observées (changements soudains de température, dérives, etc.) disparaissaient quand on remplaçait l'azote liquide par de l'anhydride carbonique solide pour préparer les manchons de glace. La conclusion est claire : pour les mesures de la plus haute exactitude, l'utilisation d'une tige de cuivre refroidie dans l'azote liquide pour préparer le manchon de glace dans une cellule à point triple de l'eau doit être évitée. Les méthodes qui conduisent à une vitesse de congélation beaucoup plus lente, comme l'emploi d'anhydride carbonique solide, donnent de meilleurs résultats. Le texte de la brochure « *Supplementary Information for the International Temperature Scale of 1990* » devrait être modifié en conséquence.

Le manobaromètre étalon, qui est utilisé pour le contrôle régulier des jauges de pression en service dans les autres sections du BIPM, a un urgent besoin de rénovation. En particulier, le mercure doit être nettoyé et des vannes doivent être changées.

### 6.4. Travaux d'étalonnage

Deux photodiodes ont été étalonnées pour le CERN, Genève (Suisse), dans le domaine spectral allant de 400 nm à 800 nm.

Des lampes d'intensité lumineuse et de flux lumineux ont été étalonnées pour les laboratoires nationaux de Hongrie, de Suède et de Yougoslavie.

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

#### 6.5.1. Publications extérieures

1. BONHOURE J., PELLO R., Observations of the behaviour of water triple point cells, In *Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 6 (Edited by J. F. Schooley), New York, American Institute of Physics, 1992, 6, 299-303.
2. MARTIN J. E., QUINN T. J., The NPL radiation thermometer: extension of its range to 450 °C, In *Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 6 (Edited by J. F. Schooley), New York, American Institute of Physics, 1992, 6, 31-35.
3. PRESTON-THOMAS H., QUINN T. J., The International Temperature Scale of 1990, In *Temperature: Its Measurement and Control in Science and*

*Industry*, Vol. 6 (Edited by J. F. Schooley), New York, American Institute of Physics, 1992, 6, 63-74.

### **6.5.2. Conférences et exposés**

T. J. Quinn a assisté au septième symposium « Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry ». Il y a présenté, pour J. Bonhoure et R. Pello, une étude sur le comportement des cellules à point triple de l'eau. Avec J. Martin, il a fait un exposé sur le thermomètre à rayonnement total du NPL et, avec H. Preston-Thomas, un exposé sur l'Échelle internationale de température de 1990.

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

R. Köhler s'est rendu à la PTB, Braunschweig (Allemagne), les 18 et 19 mai 1992, pour discuter de radiométrie et à la PTB, Berlin (Allemagne), du 20 au 22 mai 1992, pour étalonner des récepteurs du BIPM avec le radiomètre cryogénique de la PTB.

R. Köhler et R. Goebel sont allés à l'INM, Paris (France), le 16 avril 1992, pour voir le nouveau radiomètre cryogénique et visiter la section de thermométrie.

### **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 et manométrie**

Mme F. Eduarda (IPQ, Lisbonne, Portugal), 17 septembre 1991.  
M. O. Touayar (INM, Paris, France), 6-7 novembre 1991.  
M. P. Vukadin (BFMMP, Belgrade, Yougoslavie), 10-14 février 1992.  
M. G. Grégoire (CERN, Genève, Suisse), 9 mars 1992.  
M. M. Krumrey (BESSY, Berlin, Allemagne), 24 avril 1992.  
M. K. Stock, (PTB, Braunschweig, Allemagne), 13 mai 1992.  
M. L. Szönyi, (OMH, Budapest, Hongrie), 18-26 mai 1992.  
MM. Myung-Sai Chung et Ko Yeoung Uk (KRISS, Taejon, Rép. de Corée), 29 juin 1992.

### **7. Rayonnements ionisants (J. W. Müller)**

Cette année encore les comparaisons internationales ont été au centre de nos activités. Ceci est vrai à la fois pour la dosimétrie, avec les

étalons de kerma dans l'air, les étalons de dose absorbée et les mesures de fluence neutronique, et pour les radionucléides, avec la préparation de la comparaison de  $^{75}\text{Se}$  et notre première participation à une comparaison d'émetteurs bêta purs qui a été rendue possible grâce à l'extension du SIR au comptage par scintillation liquide.

D'autres travaux consistent à améliorer ou à étendre nos possibilités de mesure (par exemple la calorimétrie en dosimétrie) et, parfois, à mettre au point de nouvelles méthodes qui, si elles s'avèrent praticables, pourront devenir par la suite des techniques d'utilisation courante (comme la méthode de parité pour les mesures d'activité).

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

### 7.1.1. Rayons gamma et rayons X (M. Boutillon et A.-M. Perroche)

#### i) Détermination de la période du $^{60}\text{Co}$

On a utilisé les mesures de kerma dans l'air effectuées au BIPM pendant la dernière décennie dans des conditions très stables pour une détermination de la valeur de la période,  $T_{1/2}$ , du  $^{60}\text{Co}$  (voir figure 7.1). Avant de calculer  $T_{1/2}$ , on a apporté des corrections mineures aux données pour tenir compte de petites variations de la distance entre l'étalon et la source, dues à la dilatation du bâtiment en été. On a également tenu compte d'une dérive des mesures de la pression atmosphérique pendant cette période, qui peut

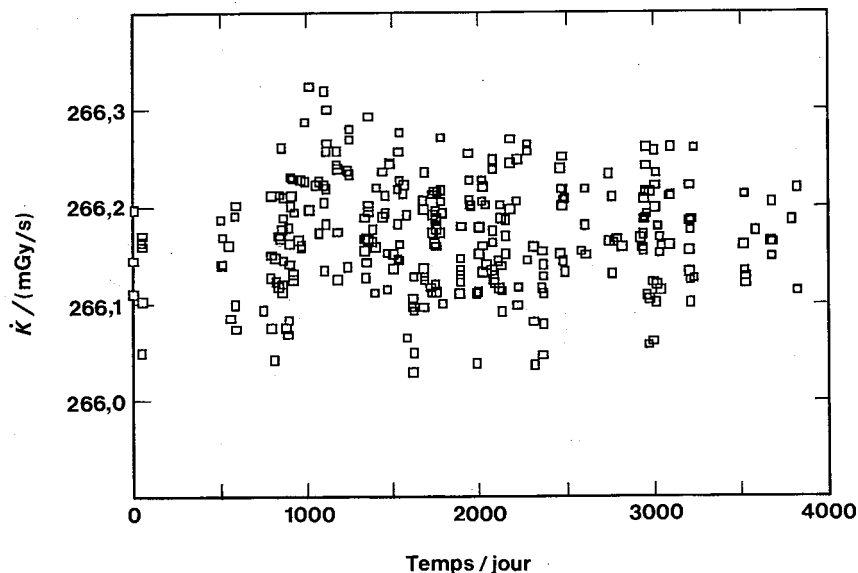


Fig. 7.1. — Mesures du débit de kerma dans l'air effectuées au BIPM. Les valeurs sont données pour la date de référence 1980-01-01, en utilisant la valeur expérimentale de la période du  $^{60}\text{Co}$ .

atteindre 0,02 %. Le résultat  $T_{1/2} = (1\,924,6 \pm 0,3)$  d. est en bon accord avec les valeurs publiées récemment.

## ii) Mesures de dose absorbée

Le travail décrit dans cette section concerne des mesures faites dans le rayonnement gamma du  $^{60}\text{Co}$ .

### — Facteurs $C_\lambda^K$ pour étalons secondaires

Les étalons secondaires sont généralement étalonnés en termes de kerma dans l'air. Quand ils sont utilisés pour la mesure de la dose absorbée dans l'eau, on a besoin d'un facteur de conversion  $C_\lambda^K$ . Celui-ci est défini par le rapport  $N_D/N_K$ , où  $N_D$  et  $N_K$  sont respectivement les facteurs d'étalonnage en termes de dose absorbée dans l'eau et de kerma dans l'air. Des estimations de ce facteur, faites selon divers protocoles, donnent des valeurs avec une incertitude de 1 % ou plus.

Comme il est possible de mesurer directement  $N_D$  et  $N_K$  au BIPM pour n'importe quelle chambre, on a fait une détermination expérimentale du facteur  $C_\lambda^K$ , à une profondeur de 5 cm dans l'eau, pour onze chambres de types NEL 2561, NEL 2571, Capintec C, Capintec G, T1 Exradin et T2 Exradin. On a trouvé que, pour des chambres de même type, le facteur  $C_\lambda^K$  est constant à mieux que 0,5 %. Par ailleurs, il est intéressant de noter que des mesures faites avec deux chambres de type différent à une profondeur de 17 cm dans l'eau montrent que le facteur  $C_\lambda^K$  ne varie pas de plus de 0,1 % par rapport aux mesures faites à 5 cm. Ce résultat présente un intérêt pratique lorsque les chambres doivent être utilisées à plusieurs profondeurs dans l'eau. Les valeurs de  $C_\lambda^K$  données dans le protocole de l'AIEA ont été comparées à celles du BIPM. La différence est de 1 % ou moins pour les chambres NEL et Capintec, mais elle atteint 2 % pour les chambres de type Exradin.

### — Calorimétrie

On a construit un appareil pour mesurer la température de l'eau. La dérive de la température, en l'absence d'irradiation, est de l'ordre de 0,005 mK/min et demeure constante pendant des périodes supérieures à une heure. La mesure de la dose absorbée est faite à 20 °C, à une profondeur de 6 cm dans l'eau, dans un faisceau horizontal. Dans ces conditions, l'effet de convection de l'eau est important : si l'on n'utilise pas de barrière de convection, l'augmentation de température provoquée par une irradiation de 10 min dans le faisceau du  $^{60}\text{Co}$  ne représente que 30 % de ce que l'on attend.

On a utilisé comme barrières de convection des cylindres de perspex de 5 cm de long et de diamètre variant entre 3 cm et 7 cm. Ils peuvent être fixés au support de la thermistance au moyen de fils de nylon fins. L'amélioration ainsi obtenue semble être maximale quand on utilise une combinaison de deux cylindres de diamètre 5 cm et 7 cm. Toutefois, même dans ce cas, la dérive de la température après irradiation est encore



importante et non linéaire, et nécessite de longues périodes d'attente entre les mesures. Une modification du système de convection est à l'étude. Z. Yin, du NIM, a pris part à ces travaux.

iii) *Source de  $^{137}\text{Cs}$*

L'achat d'une source de  $^{137}\text{Cs}$  par le BIPM a été recommandé par la Section I du CCEMRI en 1991 parce que beaucoup de pays ont un besoin impératif d'étalonner, dans un faisceau de  $^{137}\text{Cs}$ , des instruments utilisés en radioprotection. L'achat de la source a été reporté à 1993 pour des raisons financières. La mise en place du dispositif qui doit contenir la source est prévue pour l'automne 1992. La mesure du kerma dans l'air dans le rayonnement du  $^{137}\text{Cs}$  sera faite au moyen d'une chambre d'ionisation en graphite du même type que l'étalon utilisé dans le rayonnement du  $^{60}\text{Co}$ . Le volume de la cavité de la chambre a été déterminé par une méthode ionométrique, dans un faisceau de  $^{60}\text{Co}$ , par comparaison avec cet étalon. On étudie actuellement des corrections applicables à la chambre lors de son utilisation dans le faisceau de  $^{137}\text{Cs}$ , telles que la correction due à l'atténuation et au rayonnement diffusé dans les parois de la chambre.

iv) *Comparaisons et étalonnages effectués au BIPM*

Une comparaison d'étalons de kerma dans l'air a été effectuée entre le BFMMP/SZMDM (Belgrade, Yougoslavie) et le BIPM dans le rayonnement gamma du  $^{60}\text{Co}$ . Les facteurs de correction ont été déterminés au BFMMP/SZMDM. À titre de vérification, certains d'entre eux ont été mesurés à nouveau dans le faisceau du BIPM. Le résultat de la comparaison,  $K_{\text{SZMDM}}/K_{\text{BIPM}} = 0,9982 \pm 0,0020$ , fait apparaître un bon accord entre les deux étalons.

Une comparaison d'étalons de kerma dans l'air a été effectuée aussi entre le NMI (Bilthoven, Pays-Bas) et le BIPM, dans le rayonnement gamma du  $^{60}\text{Co}$  et dans le rayonnement X de moyenne énergie. Les résultats définitifs ne sont pas encore connus car des contrôles complémentaires doivent être faits au NMI.

Cinq chambres d'ionisation du SRPI (Stockholm, Suède), servant d'étalons secondaires de kerma dans l'air, ont été étalonnées dans le domaine des rayons X de faible et moyenne énergies et dans le rayonnement gamma du  $^{60}\text{Co}$ . Plusieurs d'entre elles sont étalonnées périodiquement au BIPM depuis 15 ans et leurs facteurs d'étalonnage n'ont pas varié de façon significative.

Une chambre d'ionisation ( $\phi = 14$  cm), conçue spécialement par l'ÖFS (Seibersdorf, Autriche) pour la mesure de l'équivalent de dose ambiant dans le domaine de la radioprotection, a été étalonnée dans le rayonnement gamma du  $^{60}\text{Co}$ . Le facteur d'étalonnage obtenu a une incertitude de 0,34 %.

La détermination de la dose absorbée dans l'eau à l'AIEA repose maintenant sur l'étalonnage de la chambre de transfert de l'AIEA (type NE 2561) en termes de dose absorbée dans l'eau effectué au BIPM en juin 1991. Quatre séries de dosimètres thermoluminescents ont été irradiées (2 Gy) pour l'AIEA dans le fantôme d'eau du BIPM, d'octobre 1991 à juin 1992. Le résultat de la première irradiation fait apparaître un accord meilleur que 0,5 % entre l'AIEA et le BIPM. On peut noter que, avant 1991, la valeur de l'AIEA provenait d'un étalonnage BIPM en termes de kerma dans l'air en utilisant la valeur  $C_{\lambda}^K$  du protocole de l'AIEA et l'accord était de l'ordre de 1 %.

### 7.1.2. Mesures neutroniques (V. D. Huynh)

#### i) *Comparaison internationale de mesures de fluence de neutrons*

La comparaison de mesures de fluence de neutrons au moyen de deux sphères de Bonner, pour des énergies de 2,5 MeV et 14,7 MeV, entre le BIPM, la PTB, le BCMN et le NPL, a laissé quelques problèmes en suspens. La Section III du CCEMRI, au cours de sa réunion de 1991, a demandé que de nouvelles mesures soient faites au BIPM pour éclaircir la situation en vérifiant la stabilité du détecteur et en déterminant l'effet sur la réponse du détecteur des interactions des neutrons avec les cibles qui produisent les neutrons.

Pour les deux sphères de Bonner, plusieurs séries de mesures de la réponse du détecteur ont été faites pour des distances allant jusqu'à 2,5 m dans les champs de neutrons de 2,5 MeV et 14,7 MeV du BIPM. Les mesures utilisant les configurations normales de la cible « mince » habituelle montrent que la sensibilité du détecteur est restée constante. Des mesures utilisant une épaisseur double du support de cible ont permis de déterminer l'effet de diffusion des neutrons par la cible et d'apporter des corrections aux réponses mesurées allant de 1,5 % pour la combinaison énergie/sphère la plus favorable à 10 % dans le pire des cas. L'accord obtenu avec les résultats du NPL est bon. Les valeurs de la PTB et du BCMN étaient en général plus élevées, mais le BCMN n'avait pas fait de correction pour les effets de diffusion par la cible.

Les deux sphères modératrices en polyéthylène ont été offertes au BIPM par le NPL. Elles ont été équipées, au centre, d'un compteur proportionnel à  $^3\text{He}$  fourni par le BIPM et servent d'instruments de transfert de référence pouvant être expédiés sur demande à d'autres laboratoires.

#### ii) *Spectrométrie neutronique*

Deux programmes de Monte Carlo pour calculer les fonctions de réponse et les efficacités de détection de neutrons d'un détecteur à scintillation liquide NE 213 ont été fournis par la PTB. Une étude est en cours pour adapter ces programmes aux conditions expérimentales du BIPM.

## 7.2. Radionucléides (J. W. Müller)

### 7.2.1. Mesures d'activité (G. Ratel)

#### i) *Comparaison internationale de mesures d'activité de $^{75}\text{Se}$*

Une grande partie du temps a été consacrée à l'organisation de la comparaison internationale de mesures d'activité de  $^{75}\text{Se}$  décidée par la Section II du CCEMRI au cours de sa réunion de 1991. Le BIPM a contacté vingt-six laboratoires et a reçu vingt-et-une réponses positives. C'était la première fois que le BIPM était responsable de la préparation de la solution radioactive et des ampoules pour une comparaison internationale. À cause du risque de présence d'impuretés on a acheté deux solutions. Chacune d'elles se présentait sous forme de solution aqueuse de sélénite de sodium, avec un pH compris entre 8 et 9 et une activité totale d'environ 185 MBq. Les solutions venaient de Pologne et du Royaume-Uni.

Les deux solutions, appelées A et B, ont été diluées et on a préparé 67 ampoules scellées à la flamme, contenant chacune environ 3,3 g de solution, ce qui correspond approximativement à la masse prescrite pour les mesures dans le SIR. Des tests de pureté indépendants, faits au NIST et à la PTB, ont montré que les deux solutions étaient convenables. Toutes les ampoules ont été contrôlées également avec les chambres d'ionisation du SIR (*voir ci-dessous*). Les ampoules ont été expédiées par le LMRI en mai 1992. La date de référence pour la comparaison est le 1<sup>er</sup> juin 1992.

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

Depuis octobre 1991, huit laboratoires (ANSTO, CNEA, LPRI, NAC, NIST, OMH, PTB et VNIIM) ont expédié au BIPM seize ampoules contenant treize solutions radioactives, à savoir  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{75}\text{Se}$ ,  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{113}\text{Sn}$ ,  $^{124}\text{Sb}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{133}\text{Xe}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{141}\text{Ce}$ ,  $^{201}\text{Tl}$  et  $^{207}\text{Bi}$ . Un nouvel essai de mesure d'une ampoule remplie au NIST de gaz à la pression de 33,9 kPa a été couronné de succès. Le radionucléide,  $^{133}\text{Xe}$ , a une période courte ( $T_{1/2} = 5,2$  d). Pour cette raison, et à cause de la faible sensibilité de la chambre aux rayons gamma d'environ 80 keV, on a envoyé au BIPM une source d'activité très élevée (2 GBq). Un nouveau type d'ampoule, à paroi plus épaisse, avait été conçu dans ce but. Les résultats préliminaires, qui ne sont pas corrigés pour la présence éventuelle d'impuretés, sont en bon accord avec la courbe d'efficacité empirique dans ce domaine d'énergie, comme le montre la figure 7.2. Un autre radionucléide, le  $^{124}\text{Sb}$ , a aussi été mesuré pour la première fois avec le SIR : dans ce cas également les résultats sont satisfaisants.

Les chambres d'ionisation du SIR ont été utilisées aussi pour contrôler les 67 ampoules de  $^{75}\text{Se}$  (33 pour la solution A et 34 pour la solution B), préparées pour la comparaison internationale. Les résultats obtenus sont en très bon accord, comme le montre la figure 7.3 (*voir p. 87*). La dispersion

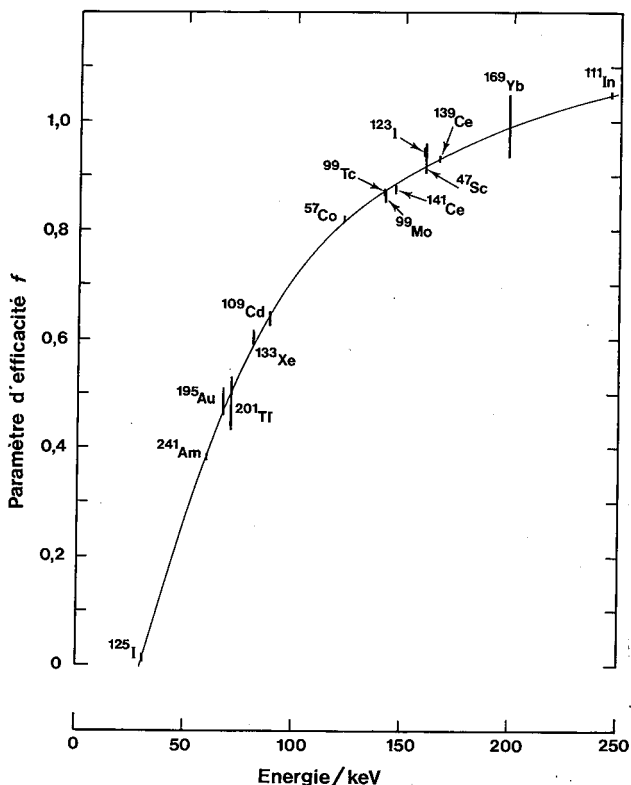


Fig. 7.2. — Efficacité de la chambre d'ionisation du SIR en fonction de l'énergie des photons. Seule la région proche de l'énergie du rayonnement gamma du  $^{133}\text{Xe}$  est indiquée. (Pour la définition de  $f$ , voir, par exemple, A. RYTZ, *Int. J. Appl. Radiat. Isot.*, 1983, **34**, 1047).

totale des résultats est de 0,4 % pour la solution A et 0,3 % pour la solution B.

iii) *Extension du SIR aux radionucléides émetteurs de rayons  $\beta$  et  $\alpha$*

Le BIPM a participé à la comparaison de radionucléides émetteurs de rayons  $\beta$  purs ( $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$  et  $^{99}\text{Tc}$ ), organisée par le NIST entre six laboratoires. Un tel exercice est très intéressant car il permet de contrôler non seulement les techniques expérimentales (par exemple l'ensemble à scintillation liquide) et les méthodes de comptage, mais aussi la stabilité à long terme du scintillateur et son comportement en présence de modifications importantes des conditions extérieures (pression et température). Trente-cinq ampoules ont été mesurées au NIST au début et à la fin de la comparaison. Douze ampoules de  $^3\text{H}$  d'activité bien connue, et pour lesquelles la réponse du détecteur était atténuée avec du chloroforme, ont servi à déterminer le lien qui existe entre l'efficacité et un paramètre caractérisant l'atténuation. Au BIPM, on a utilisé le nombre H à cette fin. La relation entre ce nombre

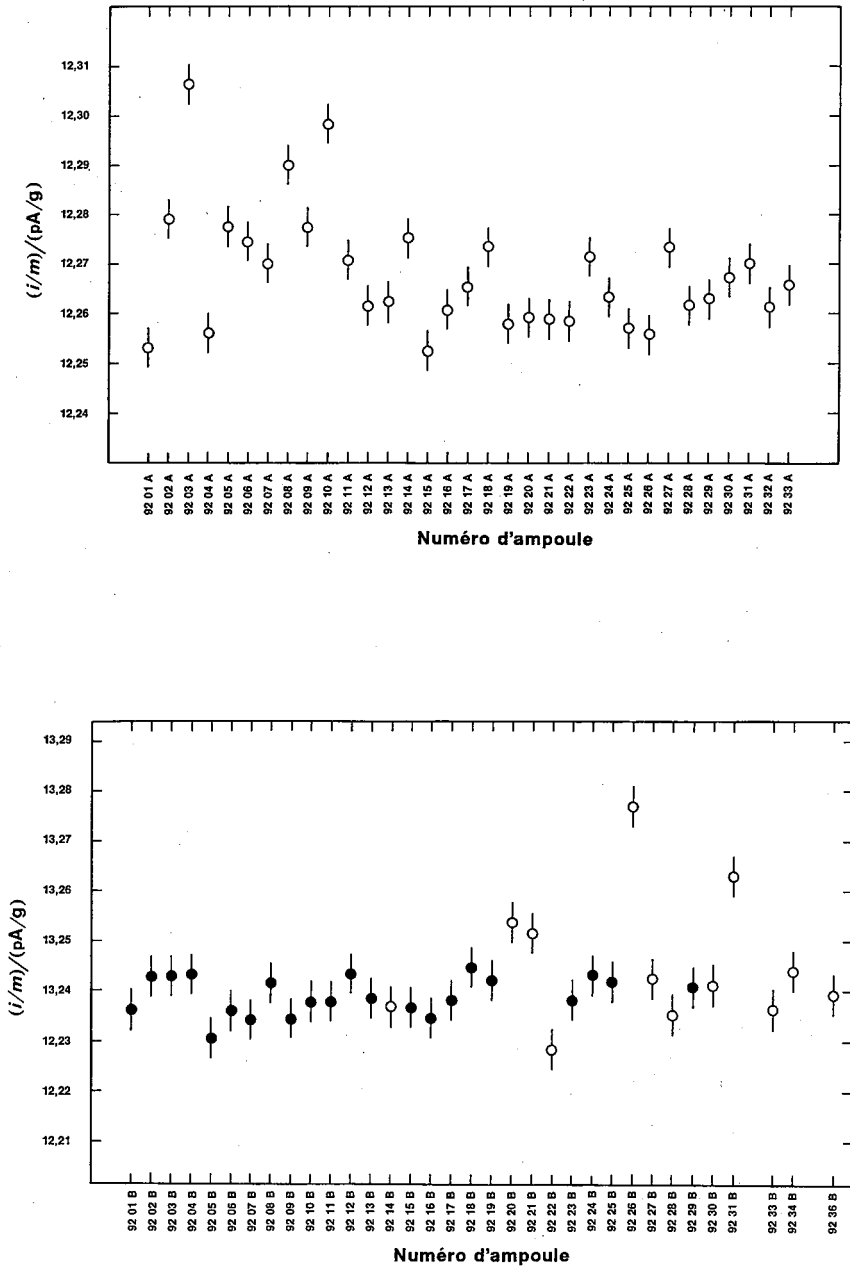


Fig. 7.3. — Répartition des concentrations d'activité pour les ampoules des solutions A et B, mesurées avec les chambres d'ionisation du SIR. La date de référence est le 1<sup>er</sup> avril 1992, 0 h UT. Les cercles noirs représentent les ampoules expédiées aux participants.

et les caractéristiques du dispositif expérimental a été déterminée à l'aide d'un programme fondé sur l'approche CIEMAT-NIST.

Pour la date de référence du 3 septembre 1990, on a obtenu les activités suivantes au BIPM :  $A(^{14}\text{C}) = (54,14 \pm 0,11)$  kBq/g,  $A(^{99}\text{Tc}) = (36,94 \pm 0,07)$  kBq/g. Un rapport résumant les résultats obtenus dans les six laboratoires est en préparation au NIST.

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

La « méthode de parité », qui a été suggérée récemment pour déterminer expérimentalement l'activité d'une source en mesurant la fréquence avec laquelle les impulsions bêta et gamma enregistrées, comptées un grand nombre de fois dans un court intervalle de temps donné,  $t$ , se présentent sous forme d'un nombre  $k$  qui est impair, a été bien accueillie et est sur le point d'être utilisée dans d'autres laboratoires.

Grâce à la simplicité et à la généralité de l'approche, elle peut être utilisée aussi pour des radionucléides qui ont un état isomère, avantage lié au fait qu'on ne mesure pas de coïncidences. Toutefois, la méthode demande non seulement des circuits électroniques originaux et très fiables (mis au point par P. Bréonce), mais aussi l'emploi de quelques corrections compliquées qu'il faut d'abord déterminer. Cela concerne en particulier les corrections de temps mort pour les parités mesurées dans les deux canaux.

La distribution de probabilité  $W(k)$  d'observer  $k$  événements dans un intervalle de temps donné  $t$ , pour un taux de comptage originel  $\rho$  et un temps mort déformé  $\tau$ , peut être exprimée sous la forme

$$W(k) = P(k) (1 + c_1 x + c_2 x^2 + \dots),$$

où  $P(k)$  suit la loi de Poisson et  $x = \rho\tau$ . Une fois les coefficients  $c_1, c_2, \dots$  estimés (pour les deux types de temps mort), il faut déterminer l'effet sur la parité  $\Pi$ . Puisque  $\Pi$  est défini comme la probabilité d'observer un nombre impair d'événements, avec

$$\Pi = \sum_{k \text{ impair}} W(k),$$

l'effet dû à  $\tau$ , inclus dans la valeur observée, est donné par

$$\Delta\Pi = \sum [W(k) - P(k)] = x \sum c_1 P(k) + x^2 \sum c_2 P(k) + \dots,$$

où les sommes comprennent seulement des valeurs impaires de  $k$ .

À la suite d'un long calcul, dans lequel un théorème sur les « moments de parité » [BIPM WPN-235] a été utilisé, on trouve que l'influence sur la parité, pour un processus stationnaire, prend la forme (jusqu'au deuxième ordre de  $x$  et pour  $\tau \ll t$ )

$$\Delta\Pi = x e^{-2\mu} \left\{ \mu - x \left[ 1 - \left( 2 + \frac{\theta}{2} \right) \mu + \mu^2 \right] \right\},$$

où  $\mu = \rho t$  est le nombre moyen d'impulsions arrivant en  $t$ , tandis que le paramètre  $\theta$  caractérise le temps mort ( $\theta = 0$  pour un type non étendu,  $\theta = 1$  pour un type étendu).

Ce changement est en bon accord avec les mesures faites, comme le montre la figure 7.4. Le fait qu'il soit positif nous rappelle que les temps morts rendent un processus plus uniforme et réduisent la différence entre les probabilités d'obtenir un nombre pair ou impair d'événements. L'évaluation du terme de troisième ordre est en cours (pour  $\theta = 1$ ), ainsi qu'une tentative de déterminer la correction applicable à la somme de deux rayonnements corrélés.

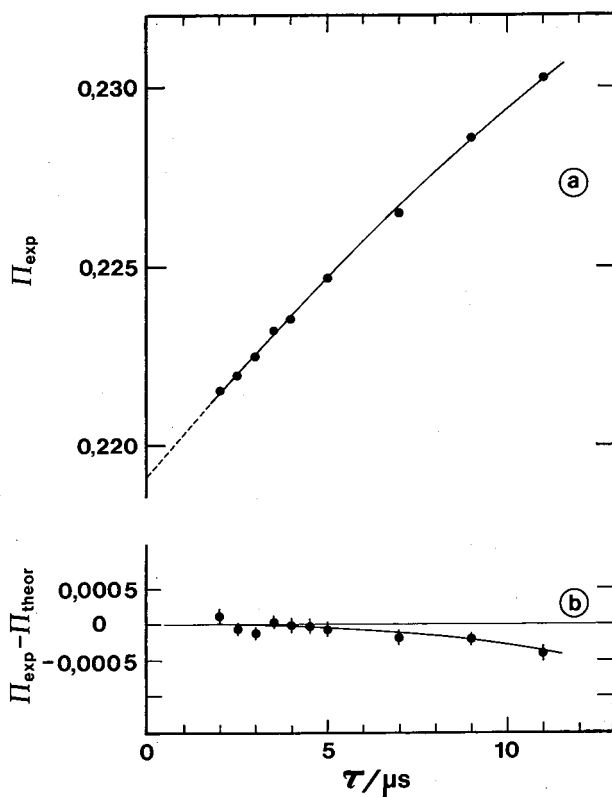


Fig. 7.4. — Mesure de la parité  $\Pi$ , pour les valeurs  $\rho \cong 7\,200\text{ s}^{-1}$  et  $\tau \cong 40\ \mu\text{s}$ , en fonction d'un temps mort  $\tau$  de type étendu. Chaque point repose sur dix mesures de 100 s.

a) Résultats expérimentaux ;

b) Différence entre les parités mesurées et calculées (jusqu'au deuxième ordre de  $x$ ).

Les corrections ci-dessus sont essentielles pour interpréter des expériences en cours qui devraient permettre une mesure directe de la fraction de désintégrations retardées qui se produisent dans la décroissance du  $^{75}\text{Se}$ , nucléide choisi pour la prochaine comparaison internationale de mesures d'activité.

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

#### 7.3.1. Publications extérieures

1. ALLISY A., JENNINGS W. A., KELLERER A. M., MÜLLER J. W., ROSSI H. H., Quantities and Units for Use in Radiation Protection, *ICRU News*, 1991, **2**, 5-9.
2. HUYNH V. D., BIPM neutron dosimetry comparison based on the circulation of a set of transfer instruments, *Radiation Protection Dosimetry*, 1992, **44**, 111-113.
3. HUYNH V. D., BIPM Neutron-Dosimetry Intercomparison, *Metrologia*, 1992, **29**, 295-299.
4. RATEL G., Trial comparison of the measurement of the activity of  $^{75}\text{Se}$ , *Nucl. Instrum. Methods*, 1992, **A312**, 201-205.
5. RATEL G., Activity concentration of a solution of  $^{133}\text{Ba}$ : results of an international comparison, *Nucl. Instrum. Methods*, 1992, **A316**, 318-323.

#### 7.3.2. Rapports BIPM

6. BOUTILLON M., PERROCHE A.-M., Determination of absorbed dose to water for  $^{60}\text{Co}$  by the scaling theorem, *Rapport BIPM-92/1*, février 1992, 8 pages.
7. MÜLLER J. W., Harry, Rolf and Richard - or Is there anything new in uncertainties?, *Rapport BIPM-91/7*, décembre 1991, 5 pages.
8. MÜLLER J. W., How to detect a decay distortion in Poissonian data, *Rapport BIPM-92/2*, février 1992, 6 pages.
9. MÜLLER J. W., Parity moments for a Poisson variable, *BIPM Working Party Note 235*, mars 1992, 3 pages.
10. PERROCHE A.-M., BOUTILLON M., Measuring conditions used for the calibration of ionization chambers at the BIPM, *Rapport BIPM-91/5*, octobre 1991, 11 pages.
11. PERROCHE A.-M., SPASIĆ-JOKIĆ V., Comparison of air kerma standards of SZMDM and BIPM for  $^{60}\text{Co}$  radiation, *Rapport BIPM-92/3*, mars 1992, 6 pages.

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

J. W. Müller a visité :

— l'ENEA, Casaccia, Rome (Italie), le 25 octobre 1991, où il était invité à faire une conférence intitulée « Evaluation of measurement uncertainties according to the BIPM recommendation » ;



— le NMI, Delft (Pays-Bas), le 27 avril 1992, où il a fait une conférence sur « Measurement uncertainties: old and new approaches »; il a aussi visité le Department for Ionizing Radiation Standards à Bilthoven ;

— Delft (Pays-Bas), les 28 et 29 avril 1992, pour une réunion du Comité EUROMET ;

— le LGAI, Bellaterra (Espagne), le 12 juin 1992, Eurolab Workshop on Uncertainties in Testing ;

— l'OFM, Wabern (Suisse), le 6 juillet 1992, où il était invité à faire une conférence sur « Altes und Neues zur Bestimmung von Messunsicherheiten ».

V. D. Huynh a participé au 7th Symposium on Neutron Dosimetry, Berlin, du 14 au 18 Octobre 1991, et a fait une présentation sur panneaux intitulée « BIPM neutron dosimetry comparison based on the circulation of a set of transfer instruments ».

G. Ratel a visité :

— le LNMRI, Rio de Janeiro (Brésil), le 18 août 1992, où il a fait un exposé intitulé « Activity measurement of a solution of  $^{75}\text{Se}$  » ;

— l'INMETRO, Rio de Janeiro (Brésil), le 20 août 1992 ;

— l'IPEN, São Paulo (Brésil), le 31 août 1992, où il a discuté les résultats de la comparaison de  $^{75}\text{Se}$  ;

— Vienne (Autriche), du 14 au 18 septembre 1992, où il a participé à l'International Conference on Advances in Liquid Scintillation Spectrometry.

#### 7.4. Activités en liaison avec des organismes extérieurs

J. W. Müller est membre du Board of Editors de *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*. Il est représentant du BIPM auprès de l'ICRU et président du Comité ICRU « Fundamentals of Particle Counting applied to Radioactivity Measurements ». Il est aussi membre du SSDL Scientific Committee for advising the IAEA, membre du comité scientifique « Mesures Physiques et Métrologie » de l'INM (Paris), et membre du Working Group of TAG 4 on the Expression of Uncertainties de l'ISO.

#### 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. Z. Yin (NIM, Beijing, Rép. pop. de Chine) a travaillé dans le groupe de dosimétrie d'avril 1991 à avril 1992.

Mme V. Spasić-Jokić (BFMMP, Belgrade, Yougoslavie) est venue du 9 au 11 décembre 1991 pour la comparaison de l'étalon de kerma dans l'air de son laboratoire dans le rayonnement gamma du  $^{60}\text{Co}$ .

MM. T. W. M. Grimbergen et E. Van Dijk (NMI, Bilthoven, Pays-Bas) sont venus du 16 au 20 décembre 1991 pour la comparaison des étalons de kerma dans l'air de leur laboratoire dans le domaine des rayons X de moyenne énergie et dans le rayonnement gamma du  $^{60}\text{Co}$ .

M. V. E. Lewis (NPL, Teddington, Royaume-Uni), président de la Section III du CCEMRI, est venu du 10 au 29 mai 1992, et a pris part aux travaux de la comparaison de mesures de fluence de neutrons avec des sphères de Bonner.

MM. I. Kovar et R. Wagner (UDZ, Prague, Tchéco-Slovaquie) ont participé, du 14 au 18 septembre 1992, à la comparaison de l'étalon de kerma dans l'air de leur laboratoire et à l'étalonnage d'instruments de transfert dans le rayonnement gamma du  $^{60}\text{Co}$ .

### 7.5.2. Visiteurs

M. B. Vaucher (OFM, Wabern, Suisse), 4 octobre 1991.

Mme Lea Contier de Freitas (LNMRI, Rio de Janeiro, Brésil), 7 et 8 octobre 1991.

M. Mauro Corrêa Fagundes (INMETRO, Duque de Caxias, Brésil), 9 octobre 1991.

Mme Saravi de Fernandez Gianotti (CNEA, Buenos Aires, Rép. d'Argentine), 26 mars 1992.

Un groupe d'enseignants suédois, 29 avril 1992.

M. H. Janssen (PTB, Braunschweig, Allemagne), 2 et 3 juin 1992.

M. O. Gullberg (SRPI, Stockholm, Suède), 25 juin 1992.

M. E. Schönfeld (PTB, Braunschweig, Allemagne), 21 et 22 septembre 1992.

## IV. — PUBLICATIONS DU BIPM

### 1. Publications générales

Depuis juillet 1991 ont été publiés :

*19<sup>e</sup> Conférence générale des poids et mesures, Comptes rendus, 1991, 191 pages.*

*Procès-verbaux des séances du Comité international des poids et mesures, Tome 59, 80<sup>e</sup> session, septembre 1991, 221 pages.*

*Comité consultatif de photométrie et radiométrie*, 12<sup>e</sup> session, 1990, 47 pages.

*Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants*, 12<sup>e</sup> session, 1991, 170 pages.

*Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées*, 4<sup>e</sup> session, 1991, 88 pages.

*Rapport annuel de la section du temps du BIPM* (1991), Vol. 4, 1992, 150 pages.

*Circulaire T* (mensuelle), 4 pages.

*Le Pavillon de Breteuil*, 1991, 20 pages.

*Vérification des étalons et des instruments au BIPM*, 1991, 24 pages.

## 2. Metrologia (D. A. Blackburn)

Le volume 28 de *Metrologia* est sorti en 1991 et au printemps de 1992. En plus des quatre numéros normaux, comportant des articles originaux, deux numéros spéciaux ont été publiés : l'un contient les comptes rendus d'une conférence, qui s'est tenue à Davos (Suisse) du 20 au 22 septembre 1990, sur « New Developments and Advances in Optical Radiometry III » ; l'autre porte sur un sujet unique, les travaux récents en nanométrie. Il en sera de même pour le volume 29 ; le premier numéro de l'année comporte des articles originaux, le deuxième contient une série de huit articles faisant le point sur les mesures électromagnétiques. Ce deuxième numéro a été distribué aux participants à la CPEM'92 à Paris.

Le volume 28 comporte 77 articles : 31 articles originaux, 39 articles présentés en conférence et 7 articles faisant le point sur un sujet précis. Entre le 1<sup>er</sup> janvier et le 31 décembre 1991, 46 manuscrits portant sur des sujets originaux ont été soumis pour publication ; 24 d'entre eux sont parus, 8 sont en cours de parution, 11 ont été refusés et 3 sont encore à l'étude. Entre le 1<sup>er</sup> janvier et le 30 mai 1992, 12 articles ont été reçus. Au 31 mai 1992, 3 d'entre eux ont été acceptés pour publication, 3 ont été refusés et 6 sont encore à l'étude.

Compte tenu de difficultés d'édition dues, en partie, au fait que le nombre d'articles a beaucoup augmenté, les deux derniers numéros du volume 28 ont été publiés en 1992. Pour tenter de combler ce retard, l'impression de *Metrologia* a été confiée à Gauthier-Villars à Paris. Ce transfert renoue les anciennes relations que le BIPM avait autrefois avec Gauthier-Villars, lequel a imprimé toutes ses publications de 1875 à 1962. Souhaitons que cette nouvelle collaboration soit aussi durable que le fut la première.

## V. — RÉUNIONS ET EXPOSÉS AU BIPM

### 1. Réunions

CCE, 15-16 juin 1992.

CCDM, 9-11 septembre 1992.

CIPM, 29 septembre-1<sup>er</sup> octobre 1992.

### 2. Exposés

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

D. A. Blackburn (Université) : conception, réalisation et développement, 25 octobre 1991.

M. Devoret (CEA, Saclay) : L'électronique à un électron, 11 décembre 1991.

P. Bouchareine (Institut d'Optique, Paris) : Longueurs d'onde en optique et interférométrie, 22 janvier 1992.

W. Tew : Recent measurements concerning the SI watt at NIST, 19 février 1992.

J.-M. Chartier : Lasers asservis au BIPM, 1972-1992, 18 mars 1992.

P. Tavella (IEN, Italie) : Algorithmes d'échelles de temps : concepts, modèles et applications, 15 avril 1992.

J. Laskar (Bureau des longitudes) : La stabilité du système solaire, 20 mai 1992.

H. Janssen (PTB, Allemagne) : Recent work of the Radioactivity Group at the PTB, 3 juin 1992.

## VI. — CERTIFICATS ET NOTES D'ÉTUDE

Du 1<sup>er</sup> octobre 1991 au 30 septembre 1992, 39 Certificats et 4 Notes d'étude ont été délivrés.

### CERTIFICATS

1991

N <sup>os</sup>	
22.	Chambre d'ionisation, NE 2561-301 . . . . . Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakości, Varsovie, Pologne.
23.	Chambre d'ionisation, NE 2536/3-R17786 . . . . . Norwegian Statens Institutt for Strålehygiene, Østerås, Norvège.
24.	Chambre d'ionisation, NE 2561-143 . . . . . Id.
25.	Chambre d'ionisation, Capintec PRO6C-7281 . . . . . Id.
26.	Étalon de résistance de 1 $\Omega$ , N <sup>o</sup> 1146606 (addition) . . . . . Division of Production Technology, Pretoria, Afrique du Sud.
27.	Étalon de force électromotrice à diode de Zener, N <sup>o</sup> 3435024 . . . . . Id.
28.	Étalon de force électromotrice à diode de Zener, N <sup>o</sup> 3855030 (addition) . . . . . National Physical Laboratory of Israël, Jerusalem, Israël.
29.	Étalon de force électromotrice à diode de Zener, N <sup>o</sup> 88062732 (addition) . . . . . Laboratório Nacional de Engenharia e Tecnologia, Industrial, Lisbonne, Portugal.
30.	Étalon de résistance de 10 k $\Omega$ , N <sup>o</sup> J207119030104 . . . . . Id.
31.	Étalon de force électromotrice à diode de Zener, N <sup>o</sup> 3795009 (addition) . . . . . Inspection générale de la métrologie, Bruxelles, Belgique.
32.	Étalon de résistance de 1 $\Omega$ , N <sup>o</sup> 1870794 (addition) . . . . . Id.
33.	Étalon de résistance de 10 k $\Omega$ , N <sup>o</sup> 043024 (addition) . . . . . Id.
34.	Étalon de résistance de 1 $\Omega$ , N <sup>o</sup> 17103 (addition) . . . . . Institutul national de metrologie, Bucarest, Roumanie.
35.	Étalon de résistance de 1 $\Omega$ , N <sup>o</sup> 17112 (addition) . . . . . Id.
36.	Trois étalons secondaires de flux lumineux (2800 K), N <sup>os</sup> 246A, 250D, 250E (addition) . . . . . Statens Provningsanstalt, Borås, Suède.
37.	Trois étalons secondaires d'intensité lumineuse (2800 K), N <sup>os</sup> 650-3472, 666-3473, 655 (addition) . . . . . Id.

1992

1. Étalon de résistance de 1 $\Omega$ , N° 1883431 (addition) . . . . .	EOLAS, the Irish Science and Technology Agency, Dublin, Irlande.
2. Six étalons secondaires de flux lumineux (2800 K), N°s P134, P135, P137, P142, P143, P144 . . . . .	Bureau fédéral des mesures et métaux précieux, Belgrade, Yougoslavie.
3. Étalon de force électromotrice à diode de Zener, N° 4185005 (addition) . . . . .	EOLAS, the Irish Science and Technology Agency, Dublin, Irlande.
4. Laser à hélium-néon de longueur d'onde 633 nm, N° EAM1 . . . . .	Office fédéral de métrologie, Wabern, Suisse.
5. Règle de 1 mètre, N° 5372 en acier au nickel (addition) . . . . .	Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakości, Varsovie, Pologne.
6. Étalon de force électromotrice à diode de Zener, N° 3795009 (addition) . . . . .	Inspection générale de la métrologie, Bruxelles, Belgique.
7. Trois étalons secondaires d'intensité lumineuse (2800 K), N°s 99, 103, 110 . . . . .	Office national des mesures, Budapest, Hongrie.
8. Trois étalons secondaires de flux lumineux (2800 K), N°s 61/66, 62/66, 66/66 . . . . .	Id.
9. Trois étalons secondaires de flux lumineux (2800 K), N°s 302/297, 306/301, 314/309 (addition) . . . . .	Id.
10. Trois étalons secondaires de flux lumineux (2800 K), N°s 510/366, 511/367, 514/370 (addition) . . . . .	Id.
11. Trois étalons secondaires de flux lumineux (2800 K), N°s 401/301, 406/306, 410/311 (addition) . . . . .	Id.
12. Quatre étalons de force électromotrice, N°s 5674, 4604, 5171, 5488 (addition) . . . . .	Institutul national de metrologie, Bucarest, Roumanie.
13. Quatre étalons de force électromotrice, N°s 4095, 3319, 5391, 5691 (addition) . . . . .	Id.
14. Chambres d'ionisation, PTW 17918 et PTW 245 . . . . .	Swedish Radiation Protection Institute, Stockholm, Suède.
15. Chambres d'ionisation, Shonka 168 et Shonka 1057 . . . . .	Id.
16. Chambre d'ionisation, Shonka 169 . . . . .	Id.
17. Étalon de 10 k $\Omega$ , N° 28014 (addition) . . . . .	Institutul national de metrologie, Bucarest, Roumanie.
18. Étalon de 10 k $\Omega$ , N° 118384 . . . . .	Id.
19. Étalon de 10 k $\Omega$ , N° 508004 (addition) . . . . .	Inspection générale de la métrologie, Bruxelles, Belgique.
20. Étalon de 10 k $\Omega$ , N° 718011 (addition) . . . . .	Id.
21. Étalon de 100 $\Omega$ , N° 226750 (addition) . . . . .	Id.
22. Étalon de 1 $\Omega$ , N° 1870791 (addition) . . . . .	Id.
23. Étalon de 1 $\Omega$ , N° 1816196 (addition) . . . . .	Id.

NOTES D'ÉTUDE

1991

N<sup>os</sup>

- |  |  |
|--|--|
| 3. Règle de 1,016 mètre, N <sup>o</sup> 7804 en acier au nickel (addition) . . . . . | Institut central de métrologie,<br>Pyongyang, Rép. pop. dém. de Corée. |
| 4. Étalon de résistance de 1 $\Omega$ ,<br>N <sup>o</sup> 4935018 . . . . .          | Division of Production Technology,<br>Pretoria, Afrique du Sud.        |
| 5. Étalon de résistance de 10 k $\Omega$ ,<br>N <sup>o</sup> 5065038 . . . . .       | Id.  |

1992

- |   |   |
|---|---|
| 1. Étalon de 10 k $\Omega$ , N <sup>o</sup> 28607 . . . . . | Institutul national de metrologie,<br>Bucarest, Roumanie. |
|---|---|

## 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 1991.

### Compte I. — Fonds ordinaires\*

#### RECETTES

	francs-or
ACTIF AU 1 <sup>er</sup> JANVIER 1991 . . . . .	11 681 069,08
Recettes budgétaires . . . . .	20 127 227,17
Taxes sur les achats remboursées . . . . .	676 532,86
Différences de change . . . . .	63 308,48
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1991 . . . . .	8 083,12
Total . . . . .	<u><u>32 556 220,71</u></u>

#### DÉPENSES

	francs-or
Dépenses budgétaires . . . . .	19 585 941,53
Taxes sur les achats remboursables . . . . .	538 868,11
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1991 . . . . .	12 431 411,07
Total . . . . .	<u><u>32 556 220,71</u></u>

#### DÉTAIL DES RECETTES BUDGÉTAIRES

	francs-or
Versement de contributions :	
au titre de l'exercice 1991 . . . . .	16 147 851
au titre de l'exercice 1990 . . . . .	950 384
au titre de l'exercice 1989 . . . . .	75 307
au titre de l'exercice 1988 et antérieurs. . . . .	331 772
au titre de l'exercice 1992 . . . . .	1 602 730
	} 19 108 044,00
Intérêts des fonds . . . . .	1 001 741,65
Recettes diverses . . . . .	17 441,52
Total . . . . .	<u><u>20 127 227,17</u></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 1991 se sont élevées à 19 585 941,53 francs-or pour un budget voté s'élevant à 20 449 420 francs-or.

DÉTAIL DES DÉPENSES BUDGÉTAIRES

Chapitres	Dépenses de l'exercice	Budget voté	Économies	Dépassements
<i>A. Dépenses de personnel :</i>				
1. Traitements . . . . .	10 217 060,56	10 438 000	220 939,44	—
2. Allocations familiales et sociales . . . . .	1 671 216,79	1 687 000	15 783,21	—
3. Sécurité sociale . . . . .	1 069 440,73	1 039 000	—	30 440,73
4. Assurance accidents du travail . . . . .	156 836,74	207 000	50 163,26	—
5. Caisse de retraites (a) . . . . .	1 687 000,00	1 687 000	—	—
<i>B. Dépenses de fonctionnement :</i>				
1. Mobilier . . . . .	24 382,77	30 000	5 617,23	—
2. Laboratoires et ateliers . . . . .	853 067,54	966 000	112 932,46	—
3. Chauffage, eau, énergie électrique . . . . .	358 378,04	432 000	73 621,96	—
4. Assurances . . . . .	56 272,52	53 000	—	3 272,52
5. Impressions et publications . . . . .	292 730,49	243 000	—	49 730,49
6. Frais de bureau . . . . .	388 854,95	403 000	14 145,05	—
7. Voyages et transports d'appareils . . . . .	549 251,46	374 000	—	175 251,46
8. Entretien courant . . . . .	345 702,75	362 000	16 297,25	—
9. Bureau du Comité . . . . .	60 000,00	60 000	—	—
<i>C. Dépenses d'investissement :</i>				
1. Laboratoires . . . . .	1 174 202,57	1 800 000	625 797,43	—
2. Atelier de mécanique . . . . .	105 780,04	53 000	—	52 780,04
3. Bibliothèque . . . . .	205 450,55	210 000	4 549,45	—
<i>D. Dépenses de bâtiments (gros travaux d'entretien et de rénovation) . . . . .</i>				
	222 134,72	305 420	83 285,28	—
<i>E. Frais divers (b) (c) . . . . .</i>				
	148 178,31	100 000	—	48 178,31
<b>Totaux . . . . .</b>	<b>19 585 941,53</b>	<b>20 449 420</b>	<b>1 223 132,02</b>	<b>359 653,55</b>

(a) Virement au compte II (Caisse de retraites).  
 (b) Comprenant un virement de 7 097 francs-or au compte IV (Caisse de prêts sociaux).  
 (c) Comprenant un virement de 34 877,98 francs-or au compte VI (Metrologia).

**Compte II. — Caisse de retraites**

RECETTES

	francs-or
ACTIF AU 1 <sup>er</sup> JANVIER 1991 . . . . .	14 546 368,84
Retenues sur les traitements . . . . .	924 807,11
Virement du compte I . . . . .	1 687 000,00
Intérêts des fonds . . . . .	1 203 679,46
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1991 . . . . .	9 988,88
Total . . . . .	<u>18 371 844,29</u>

DÉPENSES

	francs-or
Pensions servies . . . . .	2 998 076,40
Remboursement de versements . . . . .	9 726,54
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1991 . . . . .	15 364 041,35
Total . . . . .	<u>18 371 844,29</u>

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

RECETTES

	francs-or
ACTIF AU 1 <sup>er</sup> JANVIER 1991 . . . . .	75 627,81
Contribution d'entrée de la Nouvelle-Zélande . . . . .	97 025,00
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1991 . . . . .	112,75
Total . . . . .	<u>172 765,56</u>

DÉPENSES

	francs-or
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1991 . . . . .	172 765,56
Total . . . . .	<u>172 765,56</u>

**Compte IV. — Caisse de prêts sociaux**

RECETTES

		francs-or
ACTIF AU 1 <sup>er</sup> JANVIER 1991 . . . . .	182 473,30	} 302 251,48
Créances au 1 <sup>er</sup> janvier 1991 . . . . .	119 778,18	
Créances nouvelles en cours d'année . . . . .		170 844,08
Amortissements partiels des prêts :		
Capital . . . . .	123 326,44	} 127 650,77
Intérêts . . . . .	4 324,33	
Virement du compte I . . . . .		7 097,00
Intérêts des fonds . . . . .		13 841,89
<b>Total . . . . .</b>		<b>621 685,22</b>

DÉPENSES

		francs-or
Prêts consentis en cours d'année . . . . .		170 844,08
Créances amorties en cours d'année . . . . .		123 326,44
Créances au 31 décembre 1991 . . . . .	167 295,82	327 514,70
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1991 . . . . .	160 218,88	
<b>Total . . . . .</b>		<b>621 685,22</b>

**Compte V. — Réserve pour les bâtiments**

Le compte V. — Réserve pour les bâtiments présente un solde nul depuis le 31 décembre 1989, aucun mouvement n'a été enregistré sur ce compte depuis cette date.

**Compte VI. — Metrologia**

RECETTES

		francs-or
Abonnements encaissés . . . . .		279 708,61
Alimentation par le compte I . . . . .		34 877,98
<b>Total . . . . .</b>		<b>314 586,59</b>

DÉPENSES

		francs-or
Dépenses de fonctionnement . . . . .		291 918,66
Dépenses d'investissement . . . . .		22 667,93
<b>Total . . . . .</b>		<b>314 586,59</b>

**Bilan au 31 décembre 1991**

	francs-or
Compte I « Fonds ordinaires » .....	12 431 411,07
Compte II « Caisse de retraites » .....	15 364 041,35
Compte III « Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique » .....	172 765,56
Compte IV « Caisse de prêts sociaux » .....	327 514,70
Compte V « Réserve pour les bâtiments » .....	0,00
Compte VI « Metrologia » .....	0,00
	<hr/>
ACTIF NET .....	28 295 732,68
	<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) .....	1 939 722,10
2° En monnaie U.S.A. (1 USD = 5,1825 FRF = 2,856 127 240 FO)...	50 863,83
3° En monnaie suisse (1 CHF = 3,8310 FRF = 2,111 302 163 FO)...	1 416 565,26
4° En monnaie britannique (1 GBP = 9,7050 FRF = 5,348 521 923 FO)	32 407,49
5° En monnaie allemande (1 DEM = 3,4157 FRF = 1,882 426 206 FO)	3 756 616,76
6° En monnaie japonaise (100 JPY = 4,1195 FRF = 2,270 297 379 FO).	1 135 148,69
7° En monnaie hongroise (1 HUF = 0,0699 FRF = 0,038 522 584 FO).	3 048,22
8° En monnaie polonaise (100 PLZ = 0,0499 FRF = 0,027 500 386 FO)	212,05
9° En monnaie néerlandaise (1 NLG = 3,0304 FRF = 1,670 083 548 FO)	8 701 035,00
10° En ECU (1 XEU = 6,9315 FRF = 3,820 018 517 FO) .....	7 313 821,43
11° En monnaie danoise (1 DKK = 0,8766 FRS = 0,483 102 969 FO) ..	3 864 823,75

b. Espèces en caisse .....	6 576,28
	<hr/>
ACTIF BRUT .....	28 220 840,86
	<hr/> <hr/>

c. Créances de la Caisse de prêts sociaux .....	167 295,82
---	------------

d. Provision pour remboursement aux États à déduire (1) .....	92 404,00
---	-----------

ACTIF NET .....	28 295 732,68
	<hr/> <hr/>

(1) Compte « Remboursement aux États »

Situation au 1 <sup>er</sup> janvier 1991 .....	0,00
---	------

Versement par la Roumanie de sa contribution pour 1990 .....	92 404,00
	<hr/>

Situation au 31 décembre 1991 .....	92 404,00
	<hr/> <hr/>

## NOTICES NÉCROLOGIQUES

---

Jean TERRIEN

1907-1992

---

Jean Terrien, directeur honoraire du Bureau international des poids et mesures (BIPM), est décédé le 3 mars 1992, à l'âge de 85 ans.

Après des études secondaires à Bordeaux, il était entré en 1927 à l'École normale supérieure où il obtint l'Agrégation en sciences physiques en 1931. Il passa une année à Amsterdam, au laboratoire de Peter Zeeman, ce qui lui valait le privilège, rare pour un physicien français, de parler le néerlandais. Il revint ensuite au laboratoire d'Eugène Bloch où il soutint sa thèse sur la photodissociation des halogénures de cuivre (1937). Ce travail l'avait conduit à étudier la spectro-photométrie du rayonnement visible et ultra-violet, avec les moyens de l'époque qui nous semblent aujourd'hui bien rustiques ; il avait cependant obtenu des résultats qui révélaient son aptitude à faire de la bonne métrologie même avec des moyens modestes.

Entré au BIPM la même année, il devait y faire toute sa carrière. Il en devint le sous-directeur en 1952, puis le directeur en 1962, jusqu'à sa retraite en 1977.

Tout naturellement, à son arrivée, il prit en charge la création du laboratoire de photométrie décidée par le Comité international des poids et mesures (CIPM). Ce laboratoire assure depuis cette époque la comparaison des étalons nationaux d'intensité lumineuse et de flux lumineux.

Durant la période de la deuxième guerre mondiale, le BIPM et son personnel connurent une situation financière difficile. Tout en continuant de travailler à mi-temps au BIPM, J. Terrien assura des enseignements à l'Institut d'optique ; il conservait des contacts privilégiés avec cet établissement.

Opticien, J. Terrien s'intéressait particulièrement à l'utilisation des interférences optiques pour les mesures de longueur et pour l'analyse spectrale. La tradition amorcée en 1892 par A. A. Michelson et R. Benoît était conservée au BIPM. Les radiations « monochromatiques » dont on disposait alors étaient malheureusement complexes. Leur utilisation pour les mesures de longueur posait des problèmes difficiles auxquels A. Pérard, directeur jusqu'en 1952, avait consacré une grande partie de sa carrière.

Après la guerre, J. Terrien reprit en main le problème posé mais non résolu par Michelson : la définition du mètre à partir de la longueur

d'onde d'une radiation lumineuse. La séparation récente d'isotopes pairs, pratiquement purs, en quantité appréciable, permettait d'obtenir des sources émettant des radiations dont le profil spectral était exempt de structure hyperfine. Cela ressuscitait le projet de Michelson. Il fallait choisir entre les isotopes disponibles du mercure, du cadmium et du krypton et entre les diverses radiations émises par chacun d'eux. L'analyse spectrale comparative et les mesures de longueur d'onde faites au BIPM, par J. Terrien, en modernisant les méthodes presque oubliées de Michelson, permirent de trancher. La 11<sup>e</sup> Conférence générale des poids et mesures (CGPM), en 1960, put ainsi adopter une nouvelle définition du mètre fondée sur la longueur d'onde d'une radiation orangée du krypton 86.

J. Terrien avait lancé dès 1952 l'étude d'un comparateur à microscopes photoélectriques permettant de comparer les longueurs des règles divisées non seulement entre elles mais aussi à la longueur d'onde de radiations lumineuses, grâce à une mesure interférentielle des déplacements longitudinaux. Ce comparateur, toujours en service depuis 1964, est utilisé pour mesurer des règles et calibres d'une longueur de 1 mètre, à une dizaine de nanomètres près, directement en fonction de la longueur d'onde de la radiation étalon de 1960 ou des autres radiations recommandées depuis lors.

Depuis sa création, le BIPM s'intéressait à la mesure de l'accélération due à la pesanteur. En combinant le principe de la « double chute » (ascendante puis descendante) avec un repérage interférentiel du passage du mobile à deux niveaux dont la différence d'altitude serait bien déterminée, on pouvait espérer faire cette mesure avec une exactitude accrue. J. Terrien lança vers 1960 ce projet qui fut couronné de succès grâce à l'ingéniosité et à l'acharnement de A. Sakuma, physicien au BIPM.

C'est encore vers 1960 que le CIPM décida de créer au BIPM un laboratoire chargé de la mesure des rayonnements ionisants. Pour lancer un travail expérimental irréprochable sur ce sujet à la fois nouveau, vaste et difficile, J. Terrien sut recruter une équipe solide qui a largement fait ses preuves depuis cette époque. Je citerai seulement deux résultats à l'actif de cette équipe. D'une part les mesures absolues d'énergie des particules  $\alpha$  émises par quelques radionucléides, mesures qui ont fourni les meilleures références actuellement disponibles en spectrométrie  $\alpha$ . D'autre part l'invention de deux nouvelles méthodes de comptage d'impulsions corrélées, méthodes qui permettent, tout comme la traditionnelle méthode du comptage des coïncidences  $\beta$ - $\gamma$ , d'éliminer le défaut d'efficacité des compteurs ; comme elles ne sont pas soumises aux mêmes limitations que la méthode traditionnelle, ces nouvelles méthodes fournissent de précieuses vérifications.

Au cours de sa longue carrière, J. Terrien a été conduit à participer à diverses actions scientifiques internationales en rapport avec les étalons des grandeurs de base : nouvelle définition de la seconde fondée sur la fréquence d'une transition atomique du césium (1967), nouvelle

définition de l'unité de base de la photométrie, la candela, fondée sur la puissance transportée par un rayonnement monochromatique (1979). Il était membre de la Commission symboles, unités et nomenclature de l'Union internationale de physique pure et appliquée, commission qui a joué un rôle essentiel pour préparer l'adoption du Système international d'unités (SI) en 1960. Il participait aussi aux activités de la Commission internationale de l'éclairage (CIE) et en particulier à l'élaboration du Vocabulaire international de l'éclairage publié conjointement par la CIE et la Commission électrotechnique internationale (CEI) ; cet ouvrage multilingue fait autorité en la matière.

Ce bref résumé ne peut donner qu'une faible idée du véritable renouvellement des activités du BIPM, dans tous les domaines, qui fut réalisé sous l'impulsion de J. Terrien. Il avait obtenu du Gouvernement français l'extension du domaine mis à la disposition du BIPM dans le Parc de Saint-Cloud et les autorisations nécessaires pour y construire le nouveau laboratoire des rayonnements ionisants. Il avait aussi obtenu l'accord du CIPM et de la CGPM pour doubler progressivement l'effectif du personnel et pour recruter des physiciens de haut niveau, afin de faire face aux nouveaux problèmes scientifiques qu'il fallait aborder.

Homme réservé, d'une grande finesse et d'une grande distinction, il avait un sens aigu des problèmes diplomatiques internationaux. Il ne négligeait jamais, ni dans la forme ni dans le fond, ce qui pouvait contribuer à les résoudre ; il savait remarquablement éviter tout ce qui aurait pu rendre leur solution plus difficile. Il consacrait, par exemple, beaucoup de soin et d'attention à la rédaction des Recommandations du CIPM ou des Résolutions de la CGPM, sachant que leur clarté et leur simplicité favorisent leur traduction dans toutes les langues, donc aussi leur mise en application dans tous les pays, et finalement contribuent, à leur façon, à l'unification mondiale des mesures. Sa discrétion cachait une grande énergie et une profonde intégrité. Elle pouvait aussi faire sous-estimer l'importance de ses contributions personnelles à l'avancement de la métrologie. Il a cependant marqué profondément la métrologie mondiale à laquelle il a consacré quarante années de sa vie.

P. GIACOMO  
Septembre 1992

---

Charles VOLET

1895-1992

---

Charles Volet, directeur honoraire du Bureau international des poids et mesures, est décédé le 5 novembre 1992 dans sa quatre-vingt-dix-huitième année.

De nationalité suisse, C. Volet était né le 31 mars 1895 à Vevey (canton de Vaud). Licencié ès sciences physiques et mathématiques de l'Université de Lausanne, il fut tout d'abord assistant de physique du professeur A. Périer avant d'entrer au Bureau international en mai 1917 où il fit toute sa carrière : assistant en 1917, adjoint en 1923, sous-directeur en 1947 et directeur du 1<sup>er</sup> avril 1951 au 31 décembre 1961, date à laquelle il prit sa retraite en France dans le village de Grilly (Ain), à proximité de la frontière franco-suisse.

Dès son entrée au Bureau international, il devint le collaborateur de Charles-Édouard Guillaume dans ses recherches sur les aciers au nickel et les aciers à haute teneur en chrome et en carbone ; on lui doit la découverte d'un alliage fer-cobalt-chrome qui est en *élinvar* très voisin d'un invar, ainsi que l'étude des propriétés métrologiques de divers laitons (alliages cuivre-zinc et cuivre-zinc-nickel).

Il participa à la première vérification périodique des Mètres prototypes nationaux et il est l'auteur d'une étude exhaustive sur les Mètres étalons du Bureau international. Dans le domaine de la mesure des longueurs à traits, il apporta une importante contribution à l'amélioration de la précision des comparaisons des étalons, notamment par la mise au point d'une technique raffinée d'ébarbage des traits après traçage et l'utilisation de microscopes visuels réversibles et à immersion.

En gravimétrie, C. Volet a cherché à améliorer l'exactitude des déterminations absolues de l'intensité de la pesanteur par l'utilisation de méthodes différentes de celle des pendules réversibles. Il proposa en 1946 la cinématographie d'une règle divisée tombant en chute libre dans le vide, puis en 1947 la méthode dite « des deux stations » (mouvement ascendant et descendant d'un corps dans le vide). Mise en œuvre au Bureau international en 1960 et sans cesse perfectionnée, cette dernière méthode a permis d'atteindre sur la mesure de  $g$  une exactitude jusqu'ici inégalée.

Au cours de sa carrière, C. Volet a assisté au passage entre les périodes classique et moderne du Bureau international dont les activités initiales furent étendues successivement aux étalons de mesure électriques, photométriques et des rayonnements ionisants. Il a en outre contribué



efficacement à l'enquête pour l'établissement d'un système pratique d'unités de mesure, enquête qui aboutit à l'adoption en 1960 du Système international d'unités (SI), forme moderne du système métrique.

Durant son directorat, C. Volet eut la chance, contrairement à son prédécesseur, de profiter d'une période calme et d'une situation financière relativement favorable pour le développement du Bureau international. N'écrivait-il pas du reste en 1963 au signataire de ces lignes, peu de temps après avoir pris sa retraite « Dans un monde où les organisations internationales prolifèrent, la plus vieille d'entre elles ne pouvait pas rester trop en arrière. Il faut qu'elle garde néanmoins certaines de ses traditions et c'est aux anciens qu'il incombe de les faire respecter. »

En dehors de ses travaux au Bureau international, C. Volet a été conduit vers 1930, à une période difficile, à se tourner vers des calculs astronomiques et il publia plusieurs études sur les orbites d'étoiles doubles et sur le compagnon de Sirius.

Malgré l'éloignement de son lieu de retraite, il restait curieux de tout ce qui se passait au Bureau international, notamment des résultats obtenus pour la valeur de  $g$ . Il est rare qu'en métrologie, écrivait-il en 1970, « une constante physique voie sa précision multipliée par 100 en l'espace de quelques années. »

Auteur d'une cinquantaine de publications, C. Volet était officier de la Légion d'honneur et décoré de l'ordre polonais « Polonia Restituta ».

Dans la vie privée, il était un excellent violoniste, un fervent adepte de l'alpinisme et un « bricoleur » hors pair qui construisait encore en retraite un petit bateau à voile. En tant que musicien, il fit partie comme premier violon du « Quatuor des Quatre Charles » (prénom de chaque musicien), petite formation d'amis qui se réunissaient périodiquement pour des soirées musicales.

Après avoir passé ses trente années de retraite dans sa maison de Grilly qui correspondait tout à fait à ses goûts et d'où il découvrait quotidiennement le magnifique paysage du Lac Léman et des Alpes de Haute-Savoie, C. Volet s'est éteint paisiblement, sans souffrance, à l'approche de son centenaire.

Il laisse à ses anciens collaborateurs, aux soucis desquels il n'a jamais été indifférent, le souvenir d'un directeur toujours à la recherche de contacts humains et à l'écoute de leurs problèmes familiaux. Il nous quitte avec la considération, l'estime et la sympathie de tous ceux qui l'ont connu. Que ses enfants, petits-enfants et arrière-petits-enfants acceptent ces témoignages de reconnaissance à la mémoire d'un serviteur de la métrologie internationale.

H. MOREAU  
Décembre 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 m<sup>2</sup>) of the Pavillon de Breteuil (Parc de Saint-Cloud) placed at its disposal by the French Government; its upkeep is financed jointly by the Member States of the Convention du Mètre\*.

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

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

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

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

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

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

The activities of the 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 of 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.

Some forty physicists or technicians work in the BIPM laboratories. They mainly conduct metrological research, international comparisons of realizations of units and the verification of standards used in the above-mentioned areas. An annual

---

\* As of 31 December 1992, forty-six States were members of this Convention: Argentina (Rep. of), Australia, Austria, Belgium, Brazil, Bulgaria, Cameroon, Canada, Chili, 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, Russian Federation, South Africa, Spain, Sweden, Switzerland, Thailand, Turkey, United Kingdom, U.S.A., Uruguay, Venezuela.

report published in the Procès-Verbaux des séances du Comité International des Poids et Mesures give the details of the work in progress.

In view of the extension of the work entrusted to the BIPM, the 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 worldwide uniformity in units of measurement, the Comité International accordingly acts directly or submits proposals for sanction by the Conférence Générale.

The Comités Consultatifs have common regulations (*BIPM Proc.-Verb. Com. Int. Poids et Mesures*, 1963, 3 1, 97). Each Comité Consultatif, the chairman of which is normally a member of the CIPM, is composed of delegates from the major metrology laboratories and specialized institutes, a list of which is drawn up by the CIPM, as well as individual members also appointed by the CIPM and one representative of the 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 and Radiométrie (CCPR), new name given in 1971 to the Comité Consultatif de Photométrie (CCP) 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 (CC EMRI), set up in 1958. In 1969 this committee established four sections: Section I (Measurement of X and  $\gamma$  rays, electrons), Section II (Measurement of radionuclides), Section III (Neutron measurements), Section IV ( $\alpha$ -energy standards). In 1975 this last section was dissolved and Section II made responsible for its field of activity.
7. The Comité Consultatif des Unités (CCU), set up in 1964 (this committee replaced the «Commission for the System of Units» set up by the CIPM in 1954).
8. The Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées (CCM), set up in 1980.

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

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

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 the CIPM.

Since 1965 the international journal *Metrologia*, edited under the auspices of the 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 29 September 1992

---

*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.  
*Vice-President.*
4. J. de BOER, Institute of Physics, University of Amsterdam, Valckenierstraat 65, Amsterdam-C, Netherlands.
5. P. B. CLAPHAM, Director, National Physical Laboratory, Teddington TW11 0LW, United Kingdom.
6. L. CROVINI, Director, Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Strada delle Cacce 73, 10135 Turin, Italy.
7. K. IIZUKA, Special Adviser, Agency of Industrial Science and Technology, 3-1 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100, Japan.
8. J. W. LYONS, Director, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899, USA.
9. P. PÂQUET, Director, Observatoire Royal de Belgique, 3 avenue Circulaire, B-1180 Brussels, Belgium.

10. 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.
11. V. I. POUSTOVOIT, Vice-President, GOSSTANDART, Leninski prosp. 9b, 117049 Moscow, Russian Federation.
12. O. SALA, Professor, Department of Nuclear Physics, Universitaria Armando Salles de Oliveria, Caixa Postal 20516, 01498 São Paulo, Brazil.
13. K. SIEGBAHN, Institute of Physics, University of Uppsala, Box 530, 75121 Uppsala 1, Sweden.
14. J. SKÁKALA, Professor, Slovak Technical University, Nám. Slobody 17, 81231 Bratislava, Czechoslovakia. *Vice-President*.
15. R. STEINBERG, Head, Department of Physics and Metrology, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, 1101 Buenos Aires, Argentina.
16. J. VANIER, Director General, Institute for National Measurement Standards, National Research Council of Canada, Ottawa K1A 0S1, Canada.
17. 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.
18. ...

*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. M. KERSTEN, Am Hohen Tore 4A, 3300 Braunschweig.
  5. F. J. LEHANY, 5 Gladstone Avenue, Hunters Hill, NSW 2110.
  6. H. PRESTON-THOMAS, 1109 Blasdell Avenue, Ottawa K1K 0C1.
-



---

STAFF  
OF THE  
BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES  
on 1 January 1993

---

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

*Time scales:* Dr C. Thomas

Mr J. Azoubib, Dr W. Lewandowski, Mr G. Petit  
Miss H. Konaté, Mr P. Moussay, Mrs M. Thomas

*Electricity:* Dr T.J. Witt

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

*Radiometry and photometry:* Mr J. Bonhoure

Dr R. Köhler, Mr 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 D. Carnet, Mr C. Colas, Mr L. Lafaye, Mr C. Veyradier

*Secrétariat:* Miss J. Monprofit

Mrs L. Delfour, Mrs D. Le Coz, 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 A. Montbrun, Mr D. Rotrou,  
Mr E. Dominguez <sup>(1)</sup>, Mr C. Neves <sup>(1)</sup>

*Director emeritus:* Prof. P. Giacomo

*Principal metrologist emeritus:* Mr G. Leclerc

*Metrologist emeritus:* Mr H. Moreau

---

<sup>(1)</sup> Also caretakers



## AGENDA

---

1. Opening of the meeting by the President; quorum; approval of the agenda.
  2. Report of the Secretary.
  3. Report on the activity of the bureau of the Comité (October 1991 - September 1992).
  4. Financial situation of the BIPM for the years 1992-1996.
  5. Comités consultatifs
    - report of the CCE,
    - report of the CCDM,
    - presidency of the CCM, the CCT and the CCEMRI,
    - membership,
    - future meetings.
  6. Work of the BIPM: Report of the director.
  7. Metrology in Chemistry, report of the CIPM Working Group.
  8. Discussion on a draft *Guide to the expression of uncertainty in measurement*.
  9. Administrative and financial affairs
    - “Rapport aux Gouvernements” for 1991,
    - Quitus for 1991,
    - Progress report on the 1992 exercise.
  10. Other business.
-

# COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

---

81st Meeting  
(29 September - 1 October 1992)

---

## PROCEEDINGS OF THE SESSIONS HELD AT SÈVRES

D. Kind, President

---

The Comité International des Poids et Mesures (CIPM) held its 81st meeting on Tuesday 29, Wednesday 30 September and Thursday 1 October 1992. In all, four sessions were held.

Present: Messrs. BLEVIN, CLAPHAM, CROVINI, DE BOER (absent 29 and 30 September), IIZUKA, KIND, KOVALEVSKY, LYONS, PÂQUET, PLEBANSKI, SIEGBAHN, SKÁKALA, VANIER, WANG and QUINN (Director of the BIPM).

Also attending the meeting: Dr GIACOMO (Director emeritus of the BIPM); Dr GAO (invited); Miss MONPROFIT, Mrs LE COZ (Secretariat).

Apologies for absence were received from: Messrs. DE BOER (29 and 30 September), SALA and STEINBERG. No message was received from Dr POUSTOVOIT.

Professor Wang Daheng informed members of the CIPM of his intention to resign from the CIPM at the end of the meeting and he invited his colleagues to a lunch to be arranged at the Consulate of the People's Republic of China.

### **1. Opening of the meeting; quorum; agenda**

The President opened the 81st meeting of the Comité International des Poids et Mesures and welcomed the members present, in particular the three members recently elected, Messrs. Crovini, Pâquet and Vanier, and

the guests. He said he expected Dr Gao Jie to be present in the afternoon to assist Professor Wang Daheng for the rest of the meeting.

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

He noted that the quorum was satisfied, according to Article 12 of the *Convention du Mètre*.

One minute of silence was observed in memory of Dr Jean Terrien, Director emeritus of the BIPM, who had died on 3 March 1992. It was agreed that an obituary would be published with the report of the CIPM meeting.

The President informed members of the CIPM that Dr Preston-Thomas, who had been Vice-president of the CIPM since 1984, retired after the meeting of the bureau of the Comité in June 1992. Dr Blevin was proposed as new Vice-president and unanimously elected. He declared himself very honoured to accept this election.

The agenda was adopted and, on item 10, it was proposed to add the election of Dr Preston-Thomas as Honorary member.

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

## **2. Report of the Secretary of the CIPM** (October 1991 - September 1992)

Professor Kovalevsky, Secretary of the CIPM, presented the following report:

### *Member States of the Convention du Mètre*

By verbal note dated 28 February 1992 the Director of the BIPM was officially informed by the Foreign Ministry of the Russian Federation through their diplomatic representative in Paris, of its intention to take the place of the USSR on the list of member states of the Convention du Mètre. In so doing the Russian Federation “maintient complètement sa responsabilité de tous les droits et obligations de l'URSS au BIPM, y compris les obligations financières”. This communication was acknowledged by the Director of the BIPM on 5 March 1992 thus completing the only formalities necessary, following the advice of the French Foreign Ministry, to admit the Russian Federation to membership of the Convention du Mètre as legal successor to the USSR. The Russian

Federation now figures on the list of member states of the Convention du Mètre. The number of member states remains unchanged at forty-seven\*.

*Membership of the CIPM*

Since the last meeting of the CIPM in 1991 four resignations have come into force, those of Messrs. Bray, Jensen, Joshi and Preston-Thomas. Three of the vacancies thus declared have been filled by the elections of Messrs. Crovini (Director of the Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin), Pâquet (Director of the Royal Observatory, Brussels) and Vanier (Director of the National Institute for Measurement Standards, Ottawa). One vacancy thus remains.

*Meetings of Consultative Committees and Working Groups*

— The Comité Consultatif d'Électricité (CCE) held its 19th meeting on 15 and 16 June 1992. The CCE Working Group on radiofrequencies met at the Laboratoire Central des Industries Électriques (Fontenay-aux-Roses) on 13 June 1992.

— The Comité Consultatif pour la Définition du Mètre (CCDM) held its 8th meeting from 9 to 11 September 1992. This Comité had not met since the adoption of the new definition of the metre by the 17th Conférence Générale in 1983.

The meetings of the two Consultative Committees 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	1989	1990	1991	1992
I. — Ordinary funds . . . .	11 685 088,87	10 924 171,95	11 681 069,08	12 431 411,07
II. — Pension fund . . . . .	14 369 021,18	14 002 735,45	14 546 368,84	15 364 041,35
III. — Special fund for the improvement of scientific equipment .	78 764,20	75 835,04	75 627,81	172 765,56
IV. — Staff loan fund . . . .	260 806,64	283 545,36	302 431,48	327 514,70
V. — Building reserve fund.	83 232,12	0,00	0,00	0,00
VI. — Metrologia . . . . .	0,00	0,00	0,00	0,00
Totals . . . . .	26 476 913,01	25 286 287,80	26 605 497,21	28 295 732,68

\* On 19 October 1992, the French Foreign Ministry informed the BIPM that "le processus de dissolution de la République socialiste de Yougoslavie est arrivé à son terme". Consequently, the list of the member states of the Convention du Mètre is now forty-six.

The President then invited the Secretary of the Comité to present his report on the activity of the bureau of the CIPM

### **3. Report on the activity of the bureau of the CIPM** (October 1991 - September 1992)

Professor Kovalevsky continued with the following report:

Three meetings of the bureau have taken place since the last meeting of the CIPM. Two of these were at the Pavillon de Breteuil and one in Turin. The principal subjects dealt with by the bureau were the financial situation of the BIPM, the scientific programme 1993 to 1996, committee memberships, the application of general relativity to metrology and the expression of uncertainties in measurement.

#### *1. The financial situation of the BIPM*

Soon after last year's Conférence Générale and the meeting of the CIPM, the dissolution of the USSR made it clear that the BIPM's income was likely to fall by 10 %, not only in 1991, but also in 1992 and the foreseeable future\*. The Director reduced spending as far as was possible in the last quarter of 1991 and for 1992 aims to reduce overall expenditure about 5,5 %, by cutting 50 % laboratory capital expenditure and postponing all but the most essential building and other maintenance. The existence of some 12 000 000 gold francs in the reserves (Compte I) has prevented an immediate financial crisis and allowed a plan to be drawn up to absorb a 10 % reduction in funding over a period of about three years. This financial plan, which envisages the non-replacement of certain staff reaching retirement age and ceilings on pay increases, has been put to the Comité in the document on the financial situation of the BIPM.

#### *2. The scientific programme of the BIPM, 1993 to 1996*

A long-term reduction in income of 10 % cannot be absorbed without curtailing the scientific programme. We are fortunate in that the retirements among the senior scientific staff due in 1992 and 1993 allow savings to be made which, in the short term, do no more than postpone parts of the programme voted by the 19th Conférence Générale. Any further reductions in the number of scientific staff would become more difficult to absorb. The bureau foresees more discussion on this point at the 1993 meeting of the CIPM when the outline of the programme to be presented to the 20th Conférence Générale must be discussed by the Comité.

---

\* Soon after the CIPM meeting, the Russian Federation paid in October 1992 about 60 % of its contribution for 1991.



In response to a request at the last meeting of the CIPM in 1991, the Director has prepared a paper for the Comité on the future orientation of BIPM work on ionizing radiations.

### *3. Membership of the CIPM and presidencies of Consultative Committees*

Three elections to the Comité International have been made since October 1992 (*see* Report of the Secretary of the Comité), those of Messrs. Crovini, Pâquet and Vanier. These elections have filled three of the four vacancies left by the resignations of Messrs. Bray, Jensen, Joshi and Preston-Thomas. The President has in addition been informed by Professor Sala of his resignation from the Comité to take effect from the end of September 1992.

The resignations of Messrs. Bray, Preston-Thomas and Sala leave vacant the presidencies of three Consultative Committees, the Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées, the Comité Consultatif de Thermométrie and the Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants respectively.

### *4. The application of general relativity to metrology*

The bureau discussed a proposal made by Professor Guinot for the formation of a Working Group, under the auspices of the CIPM, to examine and report on the application of general relativity to metrology. This proposal, with the support of the bureau, is now put to the Comité for discussion (*see* Section 10.3 below).

### *5. Joint ISO, IEC, OIML and BIPM document on the expression of uncertainties in measurement*

A draft document on the expression of uncertainties in measurement has now been prepared and distributed for comment by a joint ISO, IEC, OIML and BIPM Working Group (ISO/TAG 4/WG 3). The document, which is based on the CIPM recommendation of 1981 and is strongly supported by the bureau, is presented to the Comité for approval.

Representations have been made by the Directors of the BIPM and the BML to the Secretary General of the ISO urging rapid approval and application of this document by the ISO.

## **4. Financial situation of the BIPM for the years 1992-1996**

The President invited Mlle Perent, the administrator of the BIPM, to join the CIPM for the discussion of the financial situation of the BIPM and asked Dr Quinn to introduce the subject.

Dr Quinn informed members of the CIPM that contributions of member states to the BIPM in 1992 are now not expected to exceed

15 800 000 gold francs, a shortfall of 4 600 000 gold francs with respect to the 20 400 000 gold francs foreseen for 1992. He reminded members, however, that the USA had paid their contribution for 1992 (of about 2 000 000 gold francs) in December 1991, but that of the remaining shortfall, some 2 000 000 gold francs is due to non-payment by the Russian Federation.

He then gave details of the steps he had taken at the beginning of the year with the aim of reducing spending in 1992 by about 5,5 % of the budget voted by the Comité in 1991. These include cutting laboratory capital expenditure by some 50 %, to give a saving of about 4,2 % in the total budget, and various other reductions amounting to about 1,5 %. All but the most essential building maintenance had been postponed. He added that it now looks as if the actual reduction in spending will be larger, nearly 8 %, through savings in salary costs which result from the non-replacement of retiring staff and the postponement and curtailing of Research Fellow appointments. He told the Comité that if spending plans approved by the 19th Conférence Générale for the period 1993 to 1996 were maintained in the face of such a reduction of income, the reserves (Compte I), which stood at 12 400 000 gold francs on 31 December 1991, would fall to zero by the end of 1996.

Dr Quinn went on to say that although the reductions in expenditure of the type effected in 1992 will not be harmful for one or even two years, the BIPM cannot, over a longer period, carry out its present scientific programme with only half the planned laboratory investment nor can it postpone building maintenance indefinitely.

In the 1992 budget voted by the CIPM, about 74 % was allocated to staff expenses (salaries  $\approx$  50 %, allowances, pensions, medical and other insurance 24 %). Dr Quinn noted that this is already a worryingly large proportion. Until 1985, staff expenses were kept between 60 % and 65 % of the budget, but increasing the Bureau's contribution to the pension fund, the 4,5 % increase in salaries from 1 January 1990 and taking over TAI without an accompanying increase in dotation has made this ratio unattainable. He said that measures would have been necessary in the long term to correct this imbalance even without the 10 % reduction in income.

Significant savings can be made only by reducing overall staff costs. In 1992 and 1993 four of the members of staff retiring will not be replaced. The consequent net savings to the annual budget are estimated to be 2,9 % in 1993 and 4,7 % in 1994 and 1995.

At present, BIPM salaries follow the index for international organizations in France calculated by INSEE (the French Government Statistical Office). In 1991 this increased by 3,7 % and in 1992 it is increasing at an annual rate of 3,9 %. Dr Quinn proposed to put a ceiling of 4 % on the total annual increase in staff expenses for each of the years 1993 to 1996. Together with the reduction in expenditure resulting from

these retirements, this will cause staff expenses to increase by only about 8,5 % from 1992 to 1996. This is a significant reduction relative to what was foreseen at the 19th CGPM and should bring the proportion of the 1996 budget devoted to staff expenses to below 70 %.

The saving in annual expenditure resulting from the change to private medical insurance amounts to about 750 000 gold francs. It was decided by the CIPM in 1991 that the whole of this saving should be transferred to a special account [Compte VII] until the funds accumulated to a level of some 2 000 000 gold francs to 3 000 000 gold francs. Dr Quinn proposed that, in view of the present special circumstances, half of this annual saving (375 000 gold francs) should be made available for building maintenance and it be accepted that the medical insurance fund would increase at a lower rate.

For each of the years 1993 to 1996 Dr Quinn proposed that laboratory capital expenditure be maintained at 90 % of the amounts foreseen at the time of the 19th CGPM. He said that the combination of all these measures will allow a balanced budget to be achieved in 1996 provided that inflation in France stays at a level of 4 % or less and that contributions received from member states, other than the ex-USSR, maintain their average levels of the past ten years, namely 98 % of the dotation voted by the Conférences Générales. Under this plan the sums to be taken from reserves for the years 1992 to 1995 are estimated to be:

1992	—	1 300 000 gold francs
1993	—	1 100 000 gold francs
1994	—	500 000 gold francs
1995	—	300 000 gold francs
Total		<hr/> 3 200 000 gold francs.

The reserves will thus fall from 12 400 000 gold francs (31 December 1991) to 9 200 000 gold francs (31 December 1995).

A long discussion followed and priorities were discussed. In particular, Dr Clapham stressed the importance of building maintenance, for which the present expenditure of 2 to 3 % of budget is insufficient in the long term. Dr Vanier added that travel and the transportation of instruments are a very important part of the work of the BIPM and should not be reduced. At the end of the discussion, the Comité approved the proposals put forward by Dr Quinn.

## 5. Comités Consultatifs

### 5.1. Comité Consultatif d'Électricité

Professor Kind, President of the Comité Consultatif d'Électricité (CCE), presented a brief report on the activities of the CCE, which had held its 19th meeting on 15 and 16 June 1992 at the BIPM.

The meeting was the first following the implementation of conventional values for the Josephson and von Klitzing constants on 1 January 1990. This decision was considered to be a good one: no real difficulties in the application of these new values had been reported.

Professor Kind stressed the importance of Recommendation E 1 (1992) on the traceability, via the BIPM, of the results of regional comparisons of measurement standards, a recommendation that should not be restricted to the CCE. Some regional organizations, in particular EUROMET, are carrying out a large number of comparisons. It is necessary that the BIPM maintain contact with such work and publish the results of these comparisons, showing the lines of traceability between regional organizations and the BIPM. Dr Clapham, as President of CCDM, supported this recommendation. Dr Lyons agreed and recalled similar discussions held two years ago. Professor Wang remarked that it was time to work on general rules and express guidelines for organizing cooperation in metrology at a general level. The President concluded that the CIPM should attempt a wider formulation of this recommendation.

Dr Quinn suggested that the CIPM make a recommendation along the lines of that proposed by the CCE and asked that the BIPM be informed of the results of regional comparisons. Dr Vanier added that, in view of regionalization (Europe, America, Asia), it would be helpful if the BIPM could play a coordinating role and provide traceability between regions.

Professor Kind concluding, emphasized that for technical reasons it is impossible to expect that everything end up at the BIPM but, in agreement with Dr Vanier, said that the BIPM should have a linking role in the coordination of comparisons. The global linkage of regional results should be a key task for the BIPM.

The CIPM adopted, in broader and more general terms, as Recommendation 1 (CI-1992) the recommendation from the CCE on worldwide recognition of the results of comparisons of measurement standards.

## **5.2. Comité Consultatif pour la Définition du Mètre**

Dr Clapham, President of the Comité Consultatif pour la Définition du Mètre (CCDM), presented his provisional report on the 8th meeting of the CCDM, which was held from 9 to 11 September 1992 at the BIPM.

It was the first meeting since the recommendation, in 1982, of the new definition of the metre and its adoption, in 1983, by the 17th Conférence Générale. Dr Clapham recalled that the definition was deliberately made in general terms so that improvements in measurements of the frequency or wavelength of radiations could be taken into account without changing the definition. He noted that this has worked successfully.

An important task of this committee was to consider whether it was wise and necessary to revise the *mise en pratique* of the definition of the metre. There was unanimity on the necessity to update frequency values and tighten up uncertainties. There was strong support for the proposal to add three additional radiations to the list of those recommended in 1982.

In its Recommendation M 1 (1992), the CCDM proposed a revision of the *mise en pratique*. A Working Group of the CCDM has been appointed to complete the revision and extension of the list of radiations recommended by the CIPM in 1982. Dr Clapham noted that the Working Group expected to complete its task by the end of the year 1992 so that the revised *mise en pratique* could be submitted, by correspondence, for approval first by the CCDM and then early in 1993 by the CIPM.

National laboratories were encouraged to continue the work on new techniques for the stabilization of frequency sources, particularly in the visible region. When preparing its Recommendation M 2 (1992) on future work, the CCDM did not restrict its discussion to the highest level of accuracy. Priorities for international comparisons on traditional dimensional metrology were also considered. In the discussion that followed, Dr Clapham and Professor Kind were of the opinion that this recommendation was specific to the CCDM; Professor Crovini, Professor Kovalevsky and Dr Lyons reported similar concerns in other fields.

The concluding discussion returned to the *mise en pratique*. The Secretary stressed its importance and said that it should be adopted by the CIPM, on the recommendation of the CCDM. Professor Crovini agreed that official approval of the CIPM was needed, as national standards are based on the recommendations of the CIPM. Dr Quinn said the new *mise en pratique* would be an update of the existing version, and not a completely new document, its general structure remaining the same. Dr Giacomo said it was important to state very clearly that values given in the new *mise en pratique* remain within the uncertainties of those given in the old one and so do not contradict it.

Finally, it was decided that the CIPM will adopt Recommendation M 1 (1992) as Recommendation 3 (CI-1992) by correspondence. This will be done at the beginning of 1993, when the new list of recommended radiations is complete and has been agreed by the CCDM. The documents concerning the new *mise en pratique* will then be published in Appendix to the Report of the CCDM and in *Metrologia*.

After discussion, the CIPM took note of Recommendation M 2 (1992) on future work.

Professor Crovini, Dr Lyons and Professor Kovalevsky suggested that the CIPM take Recommendation M 2 (1992) as the basis for a new recommendation emphasizing the importance in the long term of continuing research in fundamental metrology. Dr Lyons expressed a personal worry about the general health of metrology and emphasized the importance of calling the situation to the attention of governments. Recommendation

2 (CI-1992), on the need for long-term metrological research, was prepared and adopted.

### 5.3. Presidency of the Comités Consultatifs

The President informed the Comité that three Consultative Committees were without presidents.

Professor Bray, President of the Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées (CCM) resigned from the CIPM this year. Dr Iizuka, a specialist in the field, was chosen to succeed him.

Dr Preston-Thomas, President of the Comité Consultatif de Thermométrie (CCT), resigned from the CIPM in June 1992. Professor Crovini, a specialist in thermometry, was appointed to take over the chairmanship of the CCT.

Professor Sala, President of the Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CCEMRI), will resign from the CIPM after the 1992 meeting of the CIPM. Dr Vanier agreed to become President of the CCEMRI. Although he is not a specialist in the field, Dr Vanier assured the Comité that he would give it his full attention. Dr Quinn then explained the organization of the CCEMRI and its three sections.

### 5.4. Membership of the Comités Consultatifs

According to the rules, in the year following a Conférence Générale the CIPM reviewed the composition of its Consultative Committees. A full list of members is given at the end of this report.

### 5.5. Future meetings of the Comités Consultatifs

The President reminded the presidents of the Consultative Committees that dates had to be set for future meetings. The following were agreed:

CCDM	no date for the moment
CCDS	24-26 March 1993 (preceded by the Working Group on TAI on 22-23 March 1993)
CCE	no date for the moment
CCEMRI	Spring 1994 Section I and Section III: 19-23 April 1993 Section II: 1-3 June 1993
CCM	9-11 June 1993 (preceded by meetings of Working Groups on 7-8 June 1993)
CCPR	September 1994
CCT	7-9 September 1993
CCU	no date for the moment.

## 6. Work of the BIPM: Report of the Director

### *Work of the BIPM*

Dr Quinn briefly introduced the work carried out since the last meeting, showing how each section interacts with the outside world by means of external publications, travel, visits and international comparisons. He invited the scientific staff of the BIPM to present their work to the CIPM, reviewed the objectives of each project, and recalled that a visit of the laboratories was scheduled for the afternoon.

These presentations led to numerous comments and questions, in particular on the stability of prototypes of the kilogram, on TAI, on the update of the *mise en pratique* of the definition of the metre. Questions also addressed technical points in other areas, and the role of the BIPM in research and technology transfer.

The president thanked the physicists for their interesting presentation of the work carried out in the past year and their plans for future work.

He thanked Mme Müller, secretary to the Ionizing Radiations section, for whom it was the last day of work before retirement, and wished her good luck for the future.

He then said a few words on the career of Mr Girard who has worked at BIPM since October 1945 and will retire next year. Mr Girard assisted with the second verification of national prototypes of the kilogram in 1946-1947, took part in 1959 in measurements of length using the international prototype of the metre  $\mathcal{M}$ , and became head of the Mass section in 1963 on the retirement of Mr Albert Bonhoure. Since 1963, Mr Girard has also looked after geodetic tape and wire measurements, made measurements of the density of water, and carried out the third verification of national prototypes of the kilogram. The President said that Mr Girard has really concentrated his career on the main objectives of the BIPM. He thanked him on behalf of the CIPM and wished him all the best for the future.

Mr Girard thanked the President and the members of the CIPM, past and present, for their continued support over so many years.

### *Dépôt des prototypes*

No visit to the Dépôt des prototypes took place this year. The International Prototype of the Kilogram is not in the Caveau as it is being used for the third periodic verification of national prototypes.

### *Future orientation of the Ionizing Radiations work at the BIPM*

In response to a request made at the 1991 meeting of the CIPM, a document on the future orientation of the ionizing radiations work at the BIPM, and prepared by the Director of the BIPM, was presented to the Comité.

Dr Quinn introduced the document, reminding members of the discussion on the ionizing radiations work that had taken place in the Comité in 1985 as part of the discussion on the long-term plan for scientific work at the BIPM. At that time the Comité had decided that the emphasis in dosimetry should be placed on the X-ray and  $\gamma$ -ray work, and that effort and resources devoted to neutrons should be progressively transferred to this field while maintaining a residual expertise in neutrons.

He then gave a summary of the activities of the neutron section of the BIPM since its creation some 25 years ago in relation both to the work of Section III of the CCEMRI and to wider contacts with national laboratories. He then discussed the implications of the retirements of Dr Huynh and his assistant Mr Lafaye, both due in about three years time. The conclusions he presented were the following:

- The programme of work carried out since the mid 1960s by Section III has always been of much wider scope than that carried out at the BIPM. The BIPM work has, however, provided a useful focus for this international work and, at the beginning, such a focus was probably essential to initiate worldwide activity in this field.
- For the future, the increasing emphasis, already visible in the Section III programme of future international comparisons, towards thermal neutrons and high-energy neutrons (above 14 MeV) will further reduce the role of the BIPM in such comparisons. Since international comparisons provide one of the most important justifications for the existence of the BIPM, this reduction is a strong argument for transferring the resources devoted to neutron work to other areas of activity.
- As regards calibrations, one must question the justification for maintaining a calibration service that, for more than twenty years, has been used by just one country.
- The replacement of Dr Huynh by a physicist of high ability experienced in neutron dosimetry, but willing to work essentially alone with one technician, would pose great problems. It would be difficult to promise such a person a satisfying and productive career. The almost complete absence of research possibilities, due to lack of time and resources, is contrary to one of the most basic principles underlying a successful scientific laboratory. At the BIPM we must have in each Section an appropriate mix of international comparisons and calibrations, supported by an adequate level of research. The fact that Dr Huynh has been able to keep the work going under these conditions is of great credit to him, but it is not a good pointer for the future.



- In the event of a closure of the BIPM neutron work, it will be necessary to transfer to appropriate national laboratories some of the transfer standards deposited at the BIPM following various international comparisons.
- The transfer to the X-ray and  $\gamma$ -ray fields of the two posts at present allocated to neutrons would provide a significant and worthwhile reinforcement to this area. It would, furthermore, assure the future viability of the X-ray and  $\gamma$ -ray work after the departure, in not more than five years from now, of Mme Perroche, the SCPRI Guest Worker. Such a transfer, while completing the implementation of the 1985 CIPM decision to reinforce and secure the future of the X-ray and  $\gamma$ -ray work would, unfortunately, do so without maintaining a residual expertise in neutrons. In view of the small number of staff involved, however, it does not seem possible to make the transfer while at the same time maintaining, in the long term, any worthwhile practical expertise in neutrons.

Dr Quinn then informed the Comité that Dr Müller, head of the ionizing radiations section at the BIPM, concurs with these conclusions. He added that Dr Lewis, Chairman of CCEMRI Section III, had been consulted and he also had agreed with these conclusions while regretting that sufficient resources could not be made available to continue support both the neutron and X-ray and  $\gamma$ -ray work. Dr Lewis also complimented Dr Huynh on the fine work that he had done over many years. Dr Quinn then drew the attention of the Comité to the fact that at its meeting in 1991 Section III, in considering the future of neutron work at the BIPM, had urged that it be continued.

Members of the Comité then gave their views on the conclusions presented by Dr Quinn. Dr Iizuka regretted that the BIPM had to stop all neutron work, although he understood and agreed that there was no other alternative in the present circumstances. Dr Lyons said that, after consulting his experts in the field of ionizing radiations, he agreed with the conclusions as presented by Dr Quinn. Dr Clapham also agreed and added that customers of the BIPM neutron calibration service could address themselves to national laboratories such as the NPL or the PTB. Dr Blevin said that he also was in agreement with the conclusion, but asked whether it would not be possible to keep the equipment and facilities so that occasional guest workers could use them to maintain the activities of the BIPM in this field. Dr Quinn replied that he had discussed such a possibility with Dr Müller and Dr Huynh, but they had said that the high-voltage source was old and delicate and, unless it was used regularly, it would quickly fall into disrepair and that such a solution would not be viable. The President then said that he also, after consulting the experts in neutron work at the PTB, was in agreement with the conclusions presented by Dr Quinn. He now proposed that they be accepted by the Comité. It was

thus agreed that on the retirement of Dr Huynh the programme of work on neutrons at the BIPM will cease and the two posts be transferred to X-rays and  $\gamma$ -rays. In making this decision the President emphasized the continuing importance of the work of Section III of the CCEMRI.

### **7. Metrology in chemistry, Report of the CIPM Working Group**

Dr Lyons, as Chairman of the CIPM Working Group on Metrology in Chemistry, reported on the progress made in establishing the membership of the Working Group and initiating its first activities. The Working Group was constituted by inviting the members of the former CIPM *ad hoc* Working Group on chemical and physico-chemical measurements, a representative of IUPAC and others nominated by members of the CIPM. In all, fifteen members of the *ad hoc* Working Group accepted the invitation, but not all of them were yet ready to take part in practical work. The plan now submitted to the Working Group, in outline, is as follows: sample solutions of heavy metals dissolved in acids and water (at mass fraction levels of a few parts in  $10^6$ ) will be made up gravimetrically at the NIST; these will be distributed to participating laboratories for analysis by isotope dilution mass spectrometry. For comparison purposes, laboratories not having mass spectrometric expertise may submit data using other techniques. In the first instance the aim is to carry out a simple check of laboratory techniques and methods. Dr Lyons went on to say that the CIPM initiative already seems to be having an effect, because other groups are starting similar exercises. He mentioned Eurachem and the meeting of the Pittsburgh Conference to be held in Atlanta in 1993.

The President then said that the best lead the Comité could give would be to carry out some actual comparisons, even if the comparisons included only five or six laboratories. He urged Dr Lyons to press ahead as soon as possible and not to worry if the number of participants remained small. The important thing in his view, and this was supported by other members of the Comité, is to have some good results quickly. Dr Lyons agreed, but added that the Comité must proceed with care.

### **8. Discussion on a draft**

#### ***Guide to the expression of uncertainty in measurement***

Dr Quinn informed members that the draft document on the expression of uncertainties in measurement prepared by ISO/TAG 4/Working Group 3 had also been widely circulated among members of the Consultative

Committees. During its preparation, Dr Giacomo and Dr Müller had represented the BIPM and Dr Taylor, who was largely responsible for the present text, had represented the NIST. Many editorial comments had been received, but few substantive criticisms had been sent in.

After a discussion, the CIPM proposed that a letter should be sent to ISO expressing its approval of the document. The following declaration was prepared:

The CIPM welcomed the progress made by ISO/TAG 4/Working Group 3 in taking forward the CIPM Recommendation 1 (CI-1981) on the expression of experimental uncertainty.

The CIPM expressed its approval of the thrust and tenor of the document *Guide to the expression of uncertainty in measurement* while noting that the ISO Working Group had yet to finalize the text in the light of comments still being received. Further, the Comité encouraged the ISO to publish the final document as soon as possible.

## 9. Administrative and financial 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 1991*", and the report of the auditors for 1991. 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 1992, already discussed under item 4 of the agenda, was approved.

A draft budget for 1993 was presented, taking account of the possibility that no contribution would be received from the Russian Federation. Dr Quinn drew the attention of members of the Comité to the new heading in the budget "F - Reserve funds". The purpose of this is to indicate that a shortfall in income is expected and that the budget has been drawn up in such a way that the full dotation voted by the 19th Conférence Générale will not be spent. He remarked, once again, that the reserves (the amount in Compte I at the end of each year) are too low and that efforts should be made, over the next few years, to bring it up to the level considered prudent by the Comité, namely two-thirds of annual budget.

The draft budget for 1993 was approved.

## BUDGET FOR 1993

### INCOME

gold francs

#### *Budgetary income:*

1. Contributions from Member States . . . . .	21 761 000
2. Interest on capital . . . . .	1 100 000
3. Verification taxes . . . . .	110 000
<b>Total . . . . .</b>	<b>22 971 000</b>

### EXPENDITURE

#### *A. Staff expenses:*

1. Salaries . . . . .	10 418 000	} 14 927 000
2. Family and social allowances . . . . .	1 902 000	
3. Social Security . . . . .	901 000	
4. Industrial injuries insurance . . . . .	39 000	
5. Pension fund . . . . .	1 667 000	

#### *B. Operating expenses:*

1. Furniture . . . . .	30 000	} 3 230 000
2. Laboratories and workshops . . . . .	1 077 000	
3. Heating, water, electrical energy . . . . .	607 000	
4. Insurance . . . . .	65 000	
5. Printing and publications . . . . .	231 000	
6. Office expenses . . . . .	372 000	
7. Travel expenses and freight charges . . . . .	426 000	
8. General maintenance . . . . .	374 000	
9. Bureau du Comité . . . . .	48 000	

#### *C. Capital expenditure:*

1. Laboratories . . . . .	2 261 000	} 2 572 000
2. Mechanical workshop . . . . .	67 000	
3. Library . . . . .	244 000	

D. *Buildings* (major maintenance and renovation) . . . . . 900 000

E. *Miscellaneous and unforeseen expenses* . . . . . 210 000

F. *Reserve funds* . . . . . 1 132 000

**Total . . . . .** **22 971 000**

The last document submitted to the CIPM was the *Tableau de répartition de la dotation pour 1993*. This year a supplementary column has been added to this table to take into account the changes concerning the 1992 contribution resulting from the new UN coefficients, voted in December 1991 and recommended in June 1992, for the years 1992 to 1994.

Some members of the CIPM asked for an explanation of how the BIPM repartition of contributions is calculated. Dr Quinn replied explaining that the distribution of contributions to the BIPM follows the UN scale of assessment modified by application of the maximum and minimum agreed under Resolution 8 of the 18th Conférence Générale in 1987. The UN rates are re-assessed by the committee on contribution every three years and voted by the UN General Assembly. At the beginning of the three-year period it is almost always the case that the new coefficients are known only half-way through the first year. The BIPM distribution for these years is thus calculated on the basis of the scale for the previous year and any correction resulting from the new coefficients is applied in the following year. He explained that this is now happening in 1992 (the first year of the three-year period 1992 to 1994). On this occasion the changes in UN coefficients are much larger than has been the case for many years. This is why some Member States of the Convention du Mètre are finding that for 1993 their contribution to the BIPM, taking into account the corrections for 1992, is significantly different from that given in the *Notification* for 1992. Dr Quinn told members that he had already informed embassies in Paris of the change that will be required in the 1992 coefficient for each Member State and has confirmed that the corrections will appear in the 1993 *Notification des parts contributives*.

In reply to questions, Dr Quinn added that, according to the *Rules* of the *Convention du Mètre* and the decisions of various Conférences Générales, he has no discretion in the application of the new coefficients.

### *Metrologia*

The president welcomed Dr Blackburn, editor of *Metrologia*.

Dr Quinn expressed his satisfaction with the new *Metrologia* now appearing six times a year. He noted that the slow decline in the number of subscriptions appears to have stopped and that, indeed, there is some indication of new ones.

The provisional budget for 1992, and the draft budget for 1993, were presented and approved. The income for 1993 is expected to cover a significant proportion of salaries of Dr Blackburn and his assistant as well as printing costs.

Dr Blackburn said the production of *Metrologia* by the BIPM had been more expensive than originally foreseen, but that useful economies had been achieved by moving the printing to Gauthier-Villars. He also expects

savings of about 10 % by encouraging more authors to send articles on disc. A campaign of advertising has been started. This will be directed first towards North America, and then to Asia, where there are too few subscribers. The campaign will later be extended to Eastern Europe, where Springer-Verlag used to distribute free copies, and where institutions may wish to continue their collections from where they stopped.

The President congratulated Dr Blackburn on the improved success of *Metrologia*, an important activity for the reputation of the BIPM and of the Comité.

## 10. Other business

### 10.1. Changes in membership of the CIPM

The CIPM, having been informed that Professor Sala and Professor Wang Daheng intend to resign, discussed possible candidates. The president reminded members that these two resignations will bring to three the number of vacancies on the CIPM.

### 10.2. Honorary member

The President proposed that Dr H. Preston-Thomas be elected an Honorary member of the CIPM. Dr Preston-Thomas had been a member of the CIPM since 1969, a Vice-President since 1984, had attended every meeting of the CCT since 1954 and had been its President since 1971. He had also been editor of *Metrologia* during the period 1968-1980. The proposal was welcomed by members of the Comité and approved unanimously.

### 10.3. Working Group on the application of general relativity to metrology

Professor Kovalevsky then explained the background to the proposal to create a Working Group on the application of general relativity to metrology. He emphasized that the intention should not be to seek involvement in basic questions concerning the interpretation of general relativity, but to consider the very specific question of its application to the metrology of time and length. With this restriction the proposal met with the general approval of the Comité but it was thought that the Working Group should be attached to the CCDS and not to the CIPM.

Dr Clapham expressed his concern that we do not damage the credibility of the existing definition of the metre or its *mise en pratique*. Dr Pâquet made it clear that the intention is not to modify the definition of the metre

or of the second, but to make sure that relativistic effects are taken into account in their *mises en pratique*.

Professor de Boer warned that the task of the proposed Working Group is indeed a delicate one as there is no agreement among physicists on the fundamental concepts of general relativity. The Comité should therefore be very careful not to become involved in discussions at this level. An attempt to reach agreement on the application of these concepts in a carefully specified area would, on the other hand, be useful.

It was decided that the CCDS should be invited to create such a Working Group at its meeting in March 1993. The terms of reference of the Working Group proposed by the CCDS will be submitted for approval to the CIPM at its meeting in September 1993 although this is not intended to delay the Working Group beginning its task.

#### **10.4. Next CIPM meeting**

The CIPM decided that the dates of the next CIPM meeting will be as follows:

21 to 23 September 1993.

The President closed the 81st meeting of the CIPM thanking everyone present for having contributed to a successful meeting.





**Recommendations  
adopted by the  
Comité International des Poids et Mesures  
at its 81st Meeting**

---

Worldwide recognition of the results of comparisons of measurement standards

RECOMMENDATION 1 (CI-1992)

The Comité International des Poids et Mesures (CIPM),

*considering*

— the increasingly stringent requirements of science, technology and international trade for traceability in measurement at many levels of accuracy;

— the existence of regional groups of cooperating national standards laboratories;

— the need to have worldwide recognition of the results of comparisons of measurement standards carried out among the laboratories of these regional groups, some of which do not participate in comparisons carried out under the auspices of the CIPM;

— the role of the Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) in carrying out and coordinating worldwide comparisons of standards at the highest level;

— the impracticability of the BIPM's working in all fields and at all levels;

*decides* that in appropriate cases the BIPM carry out, either directly or through members of the Comités Consultatifs, comparisons with one or more of the laboratories of the member nations of the Convention du Mètre participating in regional comparisons so that the results of these comparisons may be interrelated and thereby given wider international recognition;

and

*recommends* that national laboratories ensure that the BIPM be kept informed of the progress and results of comparisons, particularly those carried out within the regional groups, so that it may publish them or otherwise make reference to them.

The need for long-term metrological research

RECOMMENDATION 2 (CI-1992)

The Comité International des Poids et Mesures,

*considering*

— the continual increase in demand for accurate and efficient measurement in science, technology and international trade;

— that the development of improved measurement standards and techniques frequently needs to be carried out well in advance of their application in science and industry;

— that these developments can only take place on the basis of a solid foundation of long-term metrological research closely linked to advances in science;

*recommends* that national laboratories

— continue to undertake long-term metrological research as well as to meet the more immediate needs of measurement services;

— keep the Bureau International des Poids et Mesures informed as to the results of the work related to fundamental metrology.

Revision of the mise en pratique of the definition of the metre

RECOMMENDATION 3 (CI-1992)

The Comité International des Poids et Mesures,

*recalling*

— that in 1983 the 17th Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM) adopted a new definition of the metre;

— that in the same year the CGPM invited the Comité International des Poids et Mesures (CIPM)

— to draw up instructions for the practical realization of the metre;

— to choose radiations which can be recommended as standards of wavelength for the interferometric measurement of length and draw up instructions for their use;

— to pursue studies undertaken to improve these standards and in due course to extend or revise these instructions;

— that in response to this invitation CIPM made a number of Recommendations in 1983 concerning the practical realization of the metre (the 'mise en pratique');

*considering*

— that science and technology continue to demand improved accuracy in the realization of the metre;

— that since 1983 work in national laboratories, BIPM and elsewhere has substantially improved the reproducibility of radiations which are suitable for the practical realization of the metre;

— that such work has also substantially reduced the uncertainty in the determined values of the frequencies and wavelengths of some of these radiations;

*decides* that the list of recommended radiations given by the CIPM in 1983 (Recommendation 1 (CI-1983)) be replaced by the list of recommended radiations given below.

LIST OF RECOMMENDED RADIATIONS, 1992

This list replaces the one published in *BIPM Proc.-Verb. Com. Int. Poids et Mesures*, 1983, **51**, 25-28 and *Metrologia*, 1984, **19**, 165-166.

In this list, the values of the frequency  $f$  and of the wavelength  $\lambda$  should be related exactly by the relation  $\lambda f = c$ , with  $c = 299\,792\,458$  m/s but the values of  $\lambda$  are rounded.

The data and analysis used for the compilation of this list are set out in the associated Appendix: Source Data for the List of Recommended Radiations, 1992 and its Annotated Bibliography\*.

It should be noted that for several of the listed radiations, few independent values are available, so that the estimated uncertainties may not, therefore, reflect all sources of variability.

Each of the listed radiations can be replaced, without degrading the accuracy, by a radiation corresponding to another component of the same transition or by another radiation, when the frequency difference is known with sufficient accuracy. It should be also noted that to achieve the uncertainties given here it is not sufficient just to meet the specifications for the listed parameters. In addition, it is necessary to follow the best good practice concerning methods of stabilization as described in numerous scientific and technical publications. References to appropriate articles, illustrating accepted good practice for a particular radiation, may be obtained by application to a member laboratory of the CCDM, or to the BIPM.

### 1. Radiations of Stabilized Lasers

1.1. Absorbing molecule  $\text{CH}_4$ , transition  $\nu_3$ , P (7), component  $F_2^{(2)}$ .

1.1.1. The values  $f = 88\,376\,181\,600,18 \text{ kHz}$   
 $\lambda = 3\,392\,231\,397,327 \text{ fm}$

with an estimated relative standard uncertainty of  $3 \times 10^{-12}$  apply to the radiation of a He-Ne laser stabilized to the central component [(7-6) transition] of the resolved hyperfine-structure triplet, the mean of recoil splitting, for effectively stationary molecules, i.e. the values are corrected for second order Doppler shift.

1.1.2. The values  $f = 88\,376\,181\,600,5 \text{ kHz}$   
 $\lambda = 3\,392\,231\,397,31 \text{ fm}$

with an estimated relative standard uncertainty of  $2,3 \times 10^{-11}$  apply to the radiation of a He-Ne laser stabilized to the centre of the unresolved hyperfine structure of a room temperature methane cell, within or external to the laser, subject to the following conditions:

- methane pressure  $\leq 3 \text{ Pa}$
- mean one-way axial intracavity surface power density<sup>†</sup>  $\leq 10^4 \text{ W m}^{-2}$
- radius of wavefront curvature  $\geq 1 \text{ m}$
- inequality of power between counter-propagating waves  $\leq 5 \%$
- detector placed at the output facing the laser tube.

---

\* The appendix referred to above is published in the Report of the 8th meeting of the CCDM (1992).

1.2. Absorbing atom  $^{40}\text{Ca}$ , transition  $^3\text{P}_1 - ^1\text{S}_0$ ;  $\Delta m_J = 0$ .

The values  $f = 455\,986\,240,5$  MHz  
 $\lambda = 657\,459\,439,3$  fm

with an estimated relative standard uncertainty of  $4,5 \times 10^{-10}$  apply to the radiation of a laser stabilized with a thermal atomic beam.

1.3. Absorbing molecule  $^{127}\text{I}_2$ , transition 8-5, P(10), component  $a_9$  (or g).

The values  $f = 468\,218\,332,4$  MHz  
 $\lambda = 640\,283\,468,7$  fm

with an estimated relative standard uncertainty of  $4,5 \times 10^{-10}$  apply to the radiation of a He-Ne laser stabilized with an internal iodine cell having a cold finger temperature of  $(16 \pm 1)$  °C and a frequency modulation width, peak to peak, of  $(6 \pm 1)$  MHz.

1.4. Absorbing molecule  $^{127}\text{I}_2$ , transition 11-5, R(127), component  $a_{13}$  (or i).

The values  $f = 473\,612\,214\,705$  kHz  
 $\lambda = 632\,991\,398,22$  fm

with an estimated relative standard uncertainty of  $2,5 \times 10^{-11}$  apply to the radiation of a He-Ne laser with an internal iodine cell, subject to the conditions:

- cell-wall temperature:  $(25 \pm 5)$  °C
- cold finger temperature:  $(15 \pm 0,2)$  °C
- frequency modulation width, peak to peak:  $(6 \pm 0,3)$  MHz
- one-way intracavity beam power<sup>†</sup>:  $(10 \pm 5)$  mW, for an absolute value of the power shift coefficient  $\leq 1,4$  kHz/mW.

These conditions are by themselves insufficient to ensure that the stated standard uncertainty will be achieved. It is also necessary for the optical and electronic control systems to be operating with the appropriate technical performance. The iodine cell may also be operated under relaxed conditions, leading to the larger uncertainty specified in Appendix M2 of the CCDM Report (1992).

1.5. Absorbing molecule  $^{127}\text{I}_2$ , transition 9-2, R(47), component  $a_7$  (or o).

The values  $f = 489\,880\,354,9$  MHz  
 $\lambda = 611\,970\,770,0$  fm

with an estimated relative standard uncertainty of  $3 \times 10^{-10}$  apply to the radiation of a He-Ne laser stabilized with an iodine cell, within or external to the laser, having a cold finger temperature of  $(-5 \pm 2)$  °C.

1.6. Absorbing molecule  $^{127}\text{I}_2$ , transition 17-1, P(62), component  $a_1$ .

The values  $f = 520\,206\,808,4$  MHz  
 $\lambda = 576\,294\,760,4$  fm

with an estimated relative standard uncertainty of  $4 \times 10^{-10}$  apply to the radiation of a dye laser (or frequency-doubled He-Ne laser) stabilized with an iodine cell, within or external to the laser, having a cold-finger temperature of  $(6 \pm 2)$  °C.

1.7. Absorbing molecule  $^{127}\text{I}_2$ , transition 26-0, R(12), component  $a_9$ .

The values  $f = 551\,579\,482,96$  MHz  
 $\lambda = 543\,516\,333,1$  fm

with an estimated relative standard uncertainty of  $2,5 \times 10^{-10}$  apply to the radiation of a frequency stabilized He-Ne laser with an external iodine cell having a cold-finger temperature of  $(0 \pm 2)$  °C.

1.8. Absorbing molecule  $^{127}\text{I}_2$ , transition 43-0, P(13), component  $a_3$  (or s).

The values  $f = 582\,490\,603,37$  MHz  
 $\lambda = 514\,673\,466,4$  fm

with an estimated relative standard uncertainty of  $2,5 \times 10^{-10}$  apply to the radiation of an  $\text{Ar}^+$  laser stabilized with an iodine cell external to the laser, having a cold-finger temperature of  $(-5 \pm 2)$  °C.

#### Note

+ The one-way intracavity beam power is obtained by dividing the output power by the transmittance of the output mirror.

## 2. Radiations of Spectral Lamps

2.1. Radiation corresponding to the transition between the levels  $2p_{10}$  and  $5d_5$  of the atom of  $^{86}\text{Kr}$ .

The value  $\lambda = 605\,780\,210,3$  fm

with an estimated overall relative uncertainty of  $\pm 4 \times 10^{-9}$  [equivalent to three times the relative standard uncertainty of  $1,3 \times 10^{-9}$ ] applies to the radiation emitted by a lamp operated under the conditions recommended by the CIPM (*BIPM Proc.-Verb. Com. Int. Poids et Mesures*, 1960, **28**, 71-72 and *BIPM Comptes Rendus 11<sup>e</sup> Conf. Gén. Poids et Mesures*, 1960, 85)].

2.2. Radiations of atoms  $^{86}\text{Kr}$ ,  $^{198}\text{Hg}$  and  $^{114}\text{Cd}$  recommended by the CIPM in 1963 (*BIPM Com. Cons. Déf. Mètre*, 1962, **3**, 18-19 and *BIPM Proc.-Verb. Com. Int. Poids et Mesures*, 1963, **52**, 26-27), with the indicated values for the wavelengths and the corresponding uncertainties.

## **Membership of Comités Consultatifs**

### **Comité Consultatif d'Électricité (CCE)**

*President:* D. Kind, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

*Members :*

Bureau National de Métrologie : Laboratoire Central des Industries  
Électriques, Fontenay-aux-Roses

CSIR, Division of Production Technology, Pretoria

CSIRO, Division of Applied Physics, Lindfield

D. I. Mendelejev Institute for Metrology, Saint-Petersburg

Electrotechnical Laboratory, Tsukuba

Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin

Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon

National Institute of Metrology, Beijing

National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg

National Physical Laboratory, Teddington

National Physical Laboratory of India, New Delhi

National Research Council of Canada, Ottawa

Office Fédéral de Métrologie, Wabern

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

Van Swinden Laboratorium, Delft

The Director of the Bureau International des Poids et Mesures

### **Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie (CCPR)**

*President:* W. R. Blevin, CSIRO, Division of Applied Physics, Lindfield

*Members :*

All-Russian Research Institute for Optophysical Measurements, Moscow

Bureau National de Métrologie: Institut National de Métrologie, Paris

Československý Metrologický Ústav, Bratislava

CSIR, Division of Production Technology, Pretoria

CSIRO, Division of Applied Physics, Lindfield

Electrotechnical Laboratory, Tsukuba

Instituto de Optica Daza de Valdés, Madrid

Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin

Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon

National Institute of Metrology, Beijing

National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg

National Physical Laboratory, Teddington

National Research Council of Canada, Ottawa

Office Fédéral de Métrologie, Wabern

Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

The Measurement Standards Laboratory of New Zealand, Industrial  
Research Limited, Lower Hutt

The Director of the Bureau International des Poids et Mesures

### **Comité Consultatif de Thermométrie (CCT)**

*President:* L. Crovini, Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin

*Members :*

All-Russian Research Institute for Physical, Technical and Radiotechnical Measurements, Moscow

Bureau National de Métrologie: Institut National de Métrologie, Paris

Československý Metrologický Ústav, Bratislava

CSIRO, Division of Applied Physics, Lindfield

D. I. Mendeleev Institute for Metrology, Saint-Petersburg

Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin

Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon

National Institute of Metrology, Beijing

National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg

National Physical Laboratory, Teddington

National Research Council of Canada, Ottawa

National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

Van Swinden Laboratorium, Delft

The Director of the Bureau International des Poids et Mesures

### **Comité Consultatif pour la Définition du Mètre (CCDM)**

*President:* P. B. Clapham, National Physical Laboratory, Teddington

*Members :*

Bureau National de Métrologie : Institut National de Métrologie, Paris

CSIRO, Division of Applied Physics, Lindfield

D. I. Mendeleev Institute for Metrology, Saint-Petersburg

Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin

Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon

National Institute of Metrology, Beijing

National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg/Joint Institute  
for Laboratory Astrophysics, Boulder

National Physical Laboratory, Teddington

National Research Council of Canada, Ottawa

National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba

Office Fédéral de Métrologie, Wabern

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

The Director of the Bureau International des Poids et Mesures



**Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde (CCDS)**

*President:* J. Kovalevsky, Observatoire de la Côte d'Azur, Grasse

*Members :*

All-Russian Research Institute for Physical, Technical and Radiotechnical Measurements, Moscow

Bureau National de Métrologie : Laboratoire Primaire du Temps et des Fréquences, Paris

Comité Consultatif International des Radiocommunications de l'Union Internationale des Télécommunications

Communications Research Laboratory, Tokyo

CSIRO, Division of Applied Physics, Lindfield

International Astronomical Union

International Union of Geodesy and Geophysics

International Union of Radioscience

Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin

Korea Research Institute of Standards and Science, Taejeon

Laboratoire de l'Horloge Atomique du CNRS, Orsay

National Institute of Metrology, Beijing

National Institute of Standards and Technology, Boulder

National Physical Laboratory, Teddington

National Physical Laboratory of India, New Delhi

National Physical Laboratory of Israel, Jerusalem

National Research Council of Canada, Ottawa

National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba

Observatoire Royal de Belgique, Brussels

Office Fédéral de Métrologie, Wabern

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

Real Instituto y Observatorio de la Armada, San Fernando

Technical University, Graz

U.S. Naval Observatory, Washington

Van Swinden Laboratorium, Delft

B. Guinot

The Director of the Bureau International des Poids et Mesures

**Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure  
des Rayonnements Ionisants (CCEMRI)**

*President:* J. Vanier, Institute for National Measurement Standards,  
National Research Council of Canada, Ottawa

*Members :*

The President of Section I  
The President of Section II  
The President of Section III

A. Allisy

G. Dietze

A. Dutreix

A. M. Kellerer

G. F. Knoll

The Director of the Bureau International des Poids et Mesures

Section I (Rayons X et  $\gamma$ , électrons)

*President:* J.-P. Simoën, Laboratoire Primaire des Rayonnements Ionisants,  
Saclay

*Members :*

Australian Radiation Laboratory, Yallambie

Bureau National de Métrologie : Laboratoire de Métrologie  
des Rayonnements Ionisants, Saclay

D. I. Mendelejev Institute for Metrology, Saint-Petersburg

Electrotechnical Laboratory, Tsukuba

International Commission on Radiation Units and Measurements

National Institute of Metrology, Beijing

National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg

National Physical Laboratory, Teddington

National Research Council of Canada, Ottawa

Nederlands Meetinstituut, Bilthoven

Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakości, Warsaw

Swedish Radiation Protection Institute, Stockholm

A. Brosed

The Director of the Bureau International des Poids et Mesures

Section II (Mesure des radionucléides)

*President:* D. Smith, National Physical Laboratory, Teddington

*Members :*

Australian Nuclear Science and Technology Organisation, Menai

Bureau National de Métrologie : Laboratoire de Métrologie  
des Rayonnements Ionisants, Saclay

D. I. Mendelejev Institute for Metrology, Saint-Petersburg  
National Accelerator Centre, Faure

National Institute of Metrology, Beijing

National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg

National Physical Laboratory, Teddington

National Research Council of Canada, Ottawa

Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

J.-J. Gostely

G. Winkler

The Director of the Bureau International des Poids et Mesures

Section III (Mesures neutroniques)

*President:* V. E. Lewis, National Physical Laboratory, Teddington

*Members :*

Bureau National de Métrologie : Laboratoire de Métrologie  
des Rayonnements Ionisants, Saclay

D. I. Mendelejev Institute for Metrology, Saint-Petersburg

Electrotechnical Laboratory, Tsukuba

National Institute of Metrology, Beijing

National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg

National Physical Laboratory, Teddington

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

E. J. Axton

J. J. Broerse

The Director of the Bureau International des Poids et Mesures

### **Comité Consultatif des Unités (CCU)**

*President:* J. de Boer

*Members :*

International Astronomical Union

International Commission on Illumination

International Commission on Radiation Units and Measurements

International Electrotechnical Commission, Technical Committee 25

International Organization for Standardization, ISO/Technical  
Committee 12

International Union of Pure and Applied Chemistry, Commission STU

International Union of Pure and Applied Physics, Commission SUN-  
AMCO

National Institute of Metrology, Beijing

National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg

National Physical Laboratory, Teddington

National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba

Organisation Internationale de Métrologie Légale

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

The State Committee of the Russian Federation for Standardization,  
Metrology and Certification, Moscow

H. H. Jensen

M. L. McGlashan

L. Villena

The Director of the Bureau International des Poids et Mesures

### **Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées (CCM)**

*President:* K. Iizuka, National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba

*Members :*

Bureau National de Métrologie : Institut National de Métrologie, Paris

Československý Metrologický Ústav, Bratislava

CSIRO, Division of Applied Physics, Lindfield

D. I. Mendeleev Institute for Metrology, Saint-Petersburg

Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin

Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon

National Institute of Metrology, Beijing

National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg

National Physical Laboratory, Teddington

National Research Council of Canada, Ottawa

National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba

Office Fédéral de Métrologie, Wabern

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

Van Swinden Laboratorium, Delft

The Director of the Bureau International des Poids et Mesures

---

---

DIRECTOR'S REPORT  
ON THE ACTIVITY AND MANAGEMENT  
OF THE BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES  
(October 1991 - September 1992)

---

I. — STAFF

*Promotions and changes of grade*

Monique PETIT, *secrétaire*, was promoted to the grade of *secrétaire principale*.

Carlos DIAS-NUNES, *aide-jardinier*, was promoted to the grade of *jardinier*.

These two changes took effect from 1 January 1992.

*Appointments*

Philippe MOUSSAY, born 28 April 1970 in Saint-Gemmes d'Andigné (Maine-et-Loire), qualified from the Institut universitaire de technologie of Saint-Nazaire, was appointed *technicien* in the Time section from 1 October 1991.

Richard DAVIS, born 14 October 1945 in Hartford (USA), Research Fellow in the Mass section since 28 May 1990, was appointed *physicien* from 1 June 1992.

*Research Fellows*

Alain MICHAUD, Research Fellow in the Length section from 21 January 1991, left the BIPM on 30 November 1991 at the end of his contract.

Zaizhe YIN, Research Fellow in the Ionizing Radiations section from 9 April 1991, left the BIPM on 31 March 1992 at the end of his contract.

### *Departures*

Bernard GUINOT left the BIPM on 30 April 1992, at the end of a further period of *service spécial* carried out at the request of the CIPM, from 1 October 1990.

Jacques LEROUX, *mécanicien principal*, retired on 30 June 1992, after 31 years of devoted and effective service.

Denise MÜLLER, *secrétaire de direction*, retired on 30 September 1992, after 31 years of service carried out with great competence and devotion.

## II. — BUILDINGS

### *Observatoire*

Continuation and completion of repairs to the roof.

Installation of an emergency lighting system in the service corridors on the ground floor.

### *Grand Pavillon*

Continuation of repairs to the shutters.

### *Laser building*

Laying of a floor covering in the basement.

### *Ionizing Radiations building*

Painting of toilets and external woodwork.

### *Workshop*

Replacement of light fittings.

### *Outbuildings and park*

Demolition of an old glasshouse and reinforcement of a collapsing retaining wall.

### III. — SCIENTIFIC WORK

#### 1. General introduction

Before introducing this year's scientific work I must first mention the severe financial constraints that have resulted from the sudden loss of 10 % of the BIPM income. I have, in particular, cut laboratory investment by 50 % and postponed all but the most essential building and laboratory maintenance with the aim of reducing overall expenditure by about 5 %. While such reductions can, of course, be supported and are without serious long-term effects if applied for only one or two years, an extended period of under-investment in laboratory equipment and building maintenance will have a serious effect on the scientific work of the BIPM. The very positive response, however, of the Conférence Générale to the scientific work carried out at the BIPM and to the programme proposed for the period 1993 to 1996 was a great encouragement to all of the staff. The clear approval expressed by member nations of the Convention du Mètre has provided one of the essential requirements for overcoming short-term financial difficulties.

The firm emphasis laid at the Conférence Générale on the role of the BIPM as the centre for international comparisons of realizations of units is well illustrated in my report this year. As the accuracy of realizations of units continually improves, the problem of finding adequate travelling transfer standards becomes more and more difficult. In the case of voltage standards based upon the Josephson effect, for example, it has long been evident that nothing other than a transportable Josephson system will suffice.

Results were given in last year's report of preliminary comparisons carried out using the BIPM travelling standard incorporating a 1 volt Josephson array. This year five more such comparisons have been made by transporting the equipment to the NIST (USA), the NRC (Canada), the NPL (United Kingdom), the LCIE (France) and the ETL (Japan). The results of these comparisons, together with the earlier ones with the PTB (Germany) and the DFM (Denmark), are spectacularly good. The differences between the BIPM realization of the volt and those of all these other laboratories in no case exceeded 0,2 nV with uncertainties of the same order. We can conclude that these comparisons have definitively demonstrated the worldwide coherence of realizations of the volt based upon the Josephson effect at a level more than two orders of magnitude below that previously obtainable using other travelling standards. Other important work in the Electricity section has been the development of a low-frequency, 1 Hz, system for the calibration of resistance standards in

terms of the quantized Hall resistance. The use of such a system should allow the accurate comparison of resistance ratio measurements without the need to rely upon the stability of travelling resistance standards. Among the important environmental factors that influence many measurements carried out at the BIPM, and elsewhere, are magnetic disturbances. A proposal by the French authorities to run a new 750 V dc electric tramway along the line of the existing railway some 400 m east of the Pavillon de Breteuil, led us to carry out an investigation of likely magnetic disturbances. The results show that the additional magnetic disturbance is unlikely to exceed those already present which result from the three existing railway lines in the vicinity. In carrying out the study, during which we were given a great deal of help and assistance by the French railway authorities, we gained significant new insights into the origins of magnetic disturbances and ways of protecting against them.

In the course of the year the Length section has engaged in collaborative work with a number of laboratories, much of it devoted to frequency comparisons. Notable this year were comparisons with lasers from the INM (France), of which one was with a laser whose absolute frequency had recently been determined to within a few parts in  $10^{11}$  by the LPTF (France) and another was with one used for a new determination of the Rydberg constant at the ENS (France). We have also worked with the LHA (France) on diode lasers, the LPTF and the ETCA (France) on the development of lasers stabilized at  $\lambda = 10,6 \mu\text{m}$ , the JILA (USA) on the development of a He-Ne laser for an absolute gravimeter and the VNIIFTRI (Russian Federation) on the improvement of lasers stabilized at  $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$ . Our circle of international comparisons for lasers stabilized at  $\lambda = 633 \text{ nm}$  has, for the first time, been extended to include Portugal, Romania and Switzerland. We are very pleased with progress on our new argon laser which is iodine-stabilized at  $\lambda = 515 \text{ nm}$  using an external cell. Preliminary results are very promising and we intend to run our first frequency comparisons using this laser in the autumn of 1992.

The third periodic verification of national prototypes of the kilogram is now in its final phase. The exercise has both confirmed the desirability of a means to monitor the mass of the international prototype of the kilogram in terms of atomic or fundamental constants and served as a reminder of the extremely high precision of classical methods. Work at the BIPM follows two broad lines, both concerned with the development of classical standards. In one, a series of projects is directed at increasing the already high precision of mass comparisons: in the other, we seek to use this precision to investigate the long-term performance of the mass standards themselves.

Current projects should lead to a better understanding of the anelastic behaviour of the materials used in flexure-strip balances and further development; they should also lead to an assessment of the limits to performance of the beam balance. Our project on the measurement of



the susceptibility of weakly magnetic materials provides a useful body of data for the selection of balance materials and may lead to a better understanding of the limits of performance imposed by electromagnetic interactions. Our experiments with diamond-machined Pt-Ir mass standards now give a good indication of the reproducibility of surface effects. They suggest that in air at atmospheric pressure the effects of changes in ambient humidity, pressure and temperature are small and easy to control, and that drifts in the masses themselves due to other, as yet unknown, causes set the limit to the reproducibility of Pt-Ir mass standards.

Time scales TAI and UTC continue to be maintained and made available throughout the world. Some 80 % of the laboratories now contributing to TAI are equipped with GPS time receivers and send their raw observations to the BIPM. Consequently nearly all the data included in the TAI computation are now obtained by one of the most accurate time transfer methods available and undergo a unified treatment. An important change in TAI is that, since September 1991, data from hydrogen masers have been included in the computation. Their introduction into the computation of TAI has improved its reliability without degradation of the stability of the time scale. Work on time-scale algorithms continues, a current problem being the description of how time-scale stability is degraded following the abrupt changes of weights that occur when clocks enter or exit the ensemble. Work using limited clock sets appears to confirm that the frequency prediction mode of ALGOS and the precautions taken for observing new clocks before their definitive introduction are very efficient. Time comparisons using the GPS are now computed using strict common views, with synchronization to within 1 s, to remove the clock-dither noise caused by intentional GPS signal degradation (Selective Availability, SA). The precision of these measurements is now about 2 ns for short distances and 8 ns for longer ones. Work continues on testing the closure condition through a combination of three links, OP-NIST, NIST-CRL and CRL-OP. This has shown, over an 18 month period, a residual bias of a few nanoseconds, on daily averages, which varies slowly with time. Improvements in GPS time comparisons will call for the use of precise satellite ephemerides and measured ionospheric delays along the line of sight. Precise ephemerides are regularly received and analysed at the BIPM, but arrive too late to be employed in current work. The Kalman prediction could provide an adequate solution to the problem of the precise restitution of GPS time in real time in the presence of SA and, in this connection, a numerical experiment involving three satellites is in hand. This has given promising results but more detailed studies are required. A new experiment, now in progress, allows a direct comparison of GPS and GLONASS common view time transfers. In this a GPS receiver, on loan from the BIPM, is in use at the VNIIFTRI and a GLONASS navigational receiver, on loan from the VNIIFTRI, is in use at the BIPM. Our pulsar work continues in collaboration with radio-astronomy groups observing pulsars. The objective of this work is to realize a pulsar time scale by

means of a stability algorithm. Such a scale could allow the transfer of the accuracy of the atomic second from one epoch to another, and so avoid the worst consequences of any failure of atomic standards. The Time section has provided collaborating groups with the latest version of its post-processed realization of Terrestrial Time TT (BIPM 92) and given other occasional support.

Work in the Radiometry section has concentrated on preparation for the international comparison of the spectral responsivity of silicon photodiodes noted last year. Thirteen laboratories are now scheduled to take part in the comparison and fifteen sets of detectors have been prepared, the trap detectors being of BIPM design and manufactured in the BIPM workshops. Extensive tests have been carried out on the detectors and these, together with a pilot comparison carried out with the collaboration of the PTB and the NPL, confirm that the type of photodiode chosen has sufficient stability to allow it to act as a transfer device for the comparison. Other work carried out this year confirms the repeatability of output of luminous flux lamps and luminous intensity lamps of Russian and Chinese origin, which we have been testing. Our studies of the long-term stability of the triple point of water cells confirm the merits of using solid carbon dioxide to form the ice mantle in triple point cells, and suggest that a modification should be made to *Supplementary Information for the International Temperature Scale of 1990*.

International comparisons have once again been the centre of activity in the Ionizing Radiations section. Most of the unresolved problems relating to the neutron fluence comparison involving the BIPM, the PTB, the CBNM and the NPL, which were discussed at the 1991 meeting of the CCEMRI Section III, have now been resolved by additional measurements which enabled the target scattering effect to be evaluated. We have also given considerable effort to the organization of the international comparison of  $^{75}\text{Se}$  measurements requested by the CCEMRI Section II at its meeting in 1991. This is the first comparison in which the BIPM has taken responsibility for the preparation of the active solution and the ampoules, and it called for considerable preparatory work. Two diluted solutions were prepared and then subjected to independent checks of purity by the PTB and the NIST: all ampoules were checked using the ionization chambers of the SIR. Results from the comparison are scheduled to reach the BIPM in September 1992. Continuing work on the new parity method for experimentally determining the activity of a source will be put to use in the  $^{75}\text{Se}$  comparison through corrections which provide a direct measurement of delayed disintegrations. Other work is aimed at improving and extending our measurement capabilities in dosimetry and calorimetry. Improvements have been made in the control of the conditions obtaining in our calorimetric system. We have also begun preparations for the  $^{137}\text{Cs}$  source, whose purchase was recommended by the CCEMRI Section I, and which is now scheduled to arrive in 1993.

The arrangement of this Report follows 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 of "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**

Quinn T. J., News from the BIPM, *Metrologia*, 1992, **29**, 1-7.

### **1.1.2. Travel (committees, visits to laboratories and institutions)**

T. J. Quinn visited:

— New Delhi (India), 29-31 November 1991, where he gave a lecture at the NPL entitled "The BIPM and its role in world metrology";

— Hong Kong, 2 November 1991, for discussions at the Hong Kong Standards and Calibration Laboratory;

— Taejon (Rep. of Korea), 4-5 November 1991, where he gave a lecture at the KRISS entitled "The BIPM and its role in world metrology";

— Lower Hutt (New Zealand), 7-11 November 1991, where he gave a lecture at the DSIR Standards Laboratory entitled "The BIPM and its role in world metrology" (*see also 3.7.2*);

— Lindfield (Australia), 14-21 November 1991, for discussions at the CSIRO, National Measurement Laboratory (*see also 3.7.2*);

— Ottawa (Canada), 12-13 December 1991, to attend a meeting of the Advisory Committee of the NRC, Institute for National Measurement Standards;

— Gaithersburg (USA), 20 April 1992, for discussions at the NIST (*see also 3.7.2*);

— Turin (Italy), 3 December 1991 and 23 March 1992, to attend meetings of the Scientific Council of the IMGCC and 18-19 June 1992 to attend a meeting of the bureau of the Comité;

— London (United Kingdom), 12 March 1992, to attend a meeting of the editorial board of *Reports on Progress in Physics* at the Institute of Physics;

— Brussels (Belgium) a number of times for meetings of the BCR evaluation Panel of the Commission of the European Communities (*see 1.2*).

## **1.2. Activities related to external organizations**

T. J. Quinn regularly attends meetings of the Scientific Council of the IMGCC (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 Symbols, the Advisory Committee of the NRC Institute for National Measurement Standards (Ottawa) and the Comité Scientifique of the Laboratoire de l'Horloge Atomique (Orsay). He is a member of the editorial board of the IOP journal *Reports on Progress in Physics* and was Chairman of an evaluation panel set-up by the European Commission to examine and report on the Commission's activities in the field of measurement and testing under the BCR programme. He has participated in meetings of a European Space Agency study group on fundamental physics experiments in space.

P. Giacomo (Director emeritus) continues to represent the BIPM in the preparation of the 2nd edition of the *International vocabulary of basic and general terms in metrology* and on the ISO/TAG 4/WG 3 in the preparation of the *Guide to the expression of uncertainty in measurement*.

## 2. Length (J.-M. Chartier)

### 2.1. General remarks

This year an important fraction of our time has been devoted to the writing of reports concerning recent international comparisons of lasers and iodine cells, the presentations for the CPEM'92 and the preparation of the 8th meeting of the CCDM held at the BIPM from 9 to 11 September 1992.

The classical length measurement programme is now full for at least the next two years, due essentially to requests from Poland.

Close collaboration has taken place with a number of external laboratories, in particular with the LHA (Orsay) for work on diode lasers, the ENS (Paris) by the provision of a laser at  $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$  for the determination of the Rydberg constant, the LPTF (Paris) and the ETCA (Arcueil) for the development of stabilized lasers at  $\lambda = 10,6 \mu\text{m}$ , the JILA (Boulder) for the development of a He-Ne laser at  $\lambda = 633 \text{ nm}$  for an absolute gravimeter, and the VNIIFTRI (Moscow) for the improvement of stabilized lasers at  $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$ .

For the first time, international comparisons of lasers stabilized at  $\lambda = 633 \text{ nm}$  have been carried out with Portugal, Romania, Spain and Switzerland. At this same wavelength, we have also checked the frequency of two lasers belonging to the INM (Paris).

A. Michaud, research fellow, left the BIPM after one year spent working on the stabilization of laser diodes on caesium at  $\lambda = 852 \text{ nm}$ . The first results are very encouraging.

### 2.2. Classical length measurement (L. Robertsson, J.-M. Chartier)

During the year, measurements on the Polish line scale No. 5372 have been completed. At  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , the result obtained was:  $1 \text{ m} - 1,89 \mu\text{m}$ , with

an uncertainty estimated as being  $s = 0,02 \mu\text{m}$ . This is the first in a series of line scale and end gauge calibrations requested by the PKNM (Warsaw).

The BIPM has been invited to participate in an European comparison of the calibration of a nickel-plated steel line scale No. 14588, organized within EUROMET. To verify the capability of our interferometric comparator a new determination has been made of the principal interval of our reference line scale No. 12924. The result obtained was:  $1 \text{ m} + 0,82 \mu\text{m}$  with  $s = 0,03 \mu\text{m}$ . This new value is referred to a temperature of  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  on the ITS-90, and should thus be 58 nm larger than would be measured at  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  on the IPTS-68. The mean of the measurements made earlier at the BIPM is:  $1 \text{ m} + 0,77 \mu\text{m}$  with a standard deviation of a single observation of  $s = 0,02 \mu\text{m}$ . The present results are thus well within the standard deviation of our earlier measurements taking into account the effect of the new reference temperature. The principal interval of the line scale No. 14588 was then measured and the following result obtained:

$$1 \text{ m} + 1,30 \mu\text{m}; \quad s = 0,02 \mu\text{m}.$$

A calibration of the decimetric lines was also carried out.

The comparator has been equipped with a renovated Lamb-dip stabilized laser, Spectra-Physics 119, as the old one was losing power rapidly.

## 2.3. Lasers

### 2.3.1. Iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda = 633 \text{ nm}$ using internal cells (J.-M. Chartier)

#### i) *International comparisons*

In November 1991, at the BIPM, a laser recently built by Sextant (France) for the IPQ (Lisbon, Portugal) was checked. Its frequency was 15 kHz (3 parts in  $10^{11}$ ) lower than that of the BIPM4 reference laser.

In November 1991, the Institute of Atomic Physics (Bucharest, Romania) brought a stabilized laser to the BIPM to be tested. Frequency differences of several parts in  $10^{10}$  were observed due to impurities in the iodine cell and problems in the electronic servo control. Several important improvements were made to this laser while it was at the BIPM.

In December 1991, a comparison between the EAM1 laser belonging to the OFM (Wabern, Switzerland) and the BIPM4 laser was carried out. The results were:

$$f_{\text{EAM1}} - f_{\text{BIPM4}} = 2,7 \text{ kHz}, \quad s = 1,8 \text{ kHz}, \quad n = 6$$

where  $s$  is the estimation of the standard deviation of one measurement, and  $n$  is the number of measurements.

From 15 to 17 June and on 10 July 1992 a comparison was carried out at the LPTF (Paris, France) between lasers of the INM (Paris, France) and of the BIPM. Lasers INMD1 and INM12 were compared against the BIPM4 laser. The results were:

15-17 June	$f_{\text{INMD1}} - f_{\text{BIPM4}} = + 2,2 \text{ kHz},$	$s = 3,3 \text{ kHz},$	$n = 3;$
	$f_{\text{INM12}} - f_{\text{BIPM4}} = - 12,9 \text{ kHz},$	$s = 0,6 \text{ kHz},$	$n = 4;$
10 July	$f_{\text{INM12}} - f_{\text{BIPM4}} = - 9,7 \text{ kHz},$	$s = 1,5 \text{ kHz},$	$n = 2.$

These results are important as the absolute frequencies of lasers INMD1 and INM12 were measured recently at the LPTF to within a few parts in  $10^{11}$ . Laser INM12 was also used for the determination of the Rydberg constant at the ENS (Paris, France).

In July 1992, a laser was checked at the BIPM which had recently been made by Sextant (France) for the Spanish Metrology Centre (Madrid, Spain). Its frequency was found to be higher than that of the BIPM reference laser BIPM4 by 3 kHz (6 parts in  $10^{12}$ ).

## ii) Others

As we have now been doing for ten years, we organized a bulk order for NEC He-Ne gain tubes on behalf of laboratories in member countries of the Convention du Mètre. This year, sixty laboratories were contacted.

In December 1991, at the JILA (Boulder, Colorado), we successfully tried an improved version of our portable laser on an absolute gravimeter. Several sets of measurements, each lasting more than fifteen hours, were made giving good results. On some occasions the laser remained locked without intervention for periods exceeding 24 hours in an environment where the temperature was poorly controlled.

### 2.3.2. Iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda = 612 \text{ nm}$ using internal and external cells (L. Robertsson)

The frequencies of the two BIPM lasers equipped with external iodine cells, BIOR3 and BIOR4, have been compared. These lasers have a much smaller tuning range than those with internal cells, BIOR1 and BIOR2. For the BIOR4 laser this range includes the components  $b_{15}$  to  $a_{10}$  in the transitions R(47) 9-2 and P(48) 11-3. For the BIOR3 laser an acousto-optic modulator shifts this range by plus 250 MHz or minus 250 MHz, giving for this type of laser a band which includes all components from  $b_{10}$  to  $a_{15}$ . It is thus possible to determine the frequency separation between components in this part of the spectrum. The results obtained are given

in column 3 of Table 2.1 and may be compared with earlier results from the same lasers\* given in column 2.

TABLE 2.1

*Frequency intervals between the components R(47) 9-2 and P(48) 11-3 of lasers BIOR3 and BIOR4; column 2 gives the values obtained in 1986 and column 3 those in 1992*

Component	$\Delta f/\text{kHz}$	$\Delta f/\text{kHz}$	Diff./kHz
b <sub>10</sub>	—	— 452 164	—
a <sub>1</sub>	— 357 161	— 357 159	2
a <sub>2</sub>	— 333 968	— 333 966	2
b <sub>15</sub>	— 160 318	— 160 317	1
a <sub>5</sub>	— 47 277	— 47 277	0
a <sub>6</sub>	— 36 774	— 36 773	1
a <sub>7</sub>	0	0	0
a <sub>8</sub>	81 450	81 450	0
a <sub>9</sub>	99 103	99 103	0
a <sub>10</sub>	107 466	107 466	0
a <sub>11</sub>	119 048	119 047	— 1
a <sub>13</sub>	249 604	249 600	— 4
a <sub>14</sub>	284 308	284 305	— 3

Some components have been omitted from this table since they are perturbed by their neighbours and are less interesting as frequency references. It can be seen that the measured frequency separations are very reproducible. The standard deviation of these frequency differences is 1,8 kHz.

The frequency differences between the two lasers are given in Table 2.2 for the four components on which the tuning ranges of the two lasers overlap.

TABLE 2.2

*Frequency differences between lasers BIOR3 and BIOR4*

Component	$(f_{\text{BIOR3}} - f_{\text{BIOR4}})/\text{kHz}$
b <sub>15</sub>	— 1,8
a <sub>8</sub>	— 1,8
a <sub>9</sub>	— 1,4
a <sub>10</sub>	— 1,5
mean	— 1,6 ( $\sigma = 0,2$ )

\* GLÄSER M., Properties of a He-Ne Laser at  $\lambda = 612$  nm, Stabilized by Means of an External Iodine Absorption Cell, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1987, **IM-36**, 604-608.

These values were obtained with a modulation amplitude of 2,3 MHz peak to peak and an iodine pressure of 4,1 Pa. In this work, the saturation and probe beams of the iodine cell were aligned to be as parallel as possible. Small misalignments in this setting can give a frequency shift of a few kilohertz. It is thus important to do this alignment in a highly reproducible manner.

### 2.3.3. Iodine-stabilized argon lasers at $\lambda = 515$ nm using an external cell (L. Robertsson, S. Picard, R. Goebel)

The construction of the new argon laser system for use at  $\lambda = 515$  nm, BIAR2, has progressed during the year and most optical, mechanical and electronic components are now installed.

Pre-stabilization of the laser frequency to an external cavity has been carried out. The limited bandwidth of this loop, 25 kHz, has so far given a laser linewidth of about 100 kHz. The bandwidth of this loop will be increased to reduce the laser linewidth. Saturated absorption signals in iodine have been seen using the FM-sideband and the modulation-transfer spectroscopic techniques. Figure 2.1 shows part of the iodine spectrum in

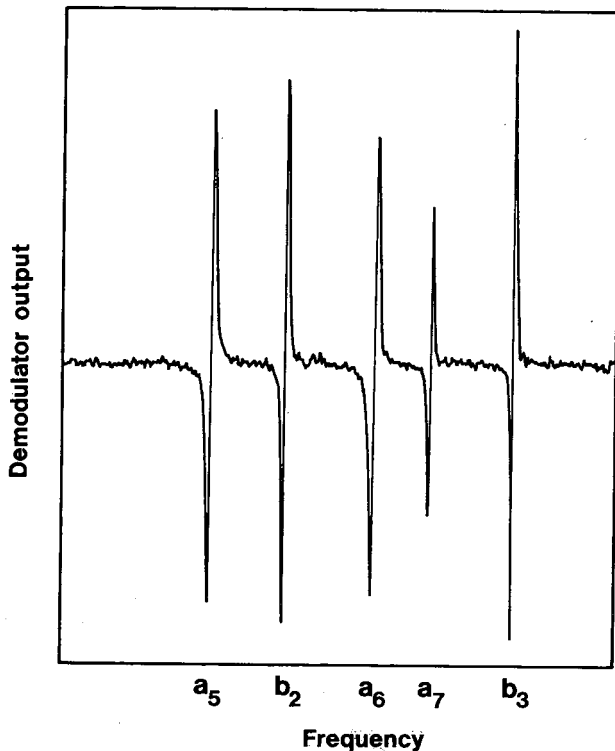


Fig. 2.1. — Part of the iodine spectrum of the P(13) 43-0 and R(15) 43-0 transitions, at  $\lambda = 515$  nm, recorded with FM-sideband spectroscopy techniques.



the transitions P(13) 43-0 and R(15) 43-0. The undulation in the background is believed to arise from amplitude modulation at the sideband frequency in the electro-optic phase modulator. An active system for the reduction of amplitude modulation is foreseen as well as improved isolation of the external cavity.

The first frequency comparisons between the old argon ion laser, donated by the PTB, BIAR1, and the new BIAR2 are planned for the autumn. These measurements will be very helpful for the refinement of the new system.

#### **2.3.4. Methane-stabilized He-Ne lasers at $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$ using internal and external cells (R. Felder)**

##### *i) Internal cell devices*

The faulty He-Ne tube of the slave laser of the system we bought last year from the VNIIFTRI (Moscow, Russian Federation) was replaced in February by Yu. S. Domnin. On this occasion, the whole device, designated VNIBI (master and slave lasers, electronic and optical parts), was completely checked.

The faulty He-Ne tube from our reference laser, VB, was replaced by a new one designed at the BIPM. The VB laser was then compared by beat frequency measurements with VNIBI. Since the absolute frequency of the VNIBI laser is known, we found for VB operating in normal conditions:

$$f(\text{VB}) = (88\,376\,181\,602,6 \pm 1,5) \text{ kHz.}$$

A new determination is scheduled after the return of the VB laser from the ENS (*see* below).

##### *ii) External cell devices*

Our first absorption system, which comprises a vacuum chamber with internal Fabry-Perot resonator, has been modified and it is now possible to fill the cavity with the absorbing medium and to make adjustments without breaking the vacuum. The complete vacuum system has now been installed and checked. The piezo-transducer mountings have yet to be tested before installation in the resonator.

##### *iii) Collaboration with other laboratories*

In April and May 1992 we participated in a new determination of the Rydberg constant at the ENS (Paris) [2]. In this experiment, using frequency mixing processes, one of our lasers (VB) was used as the reference. The results are in very good agreement with those from previous

determinations based on interferometric measurements and those obtained at the Max Planck Institute (Garching, Germany)\*.

iv) *Other activities*

As spare laser tubes and methane cells are not available commercially we have, at the BIPM, made the components needed for the maintenance of our apparatus. For this purpose the old vacuum system was completely modified and re-activated. A new vacuum system, using a turbo-molecular pump and equipped with an oven, was designed and constructed and new techniques for sealing Brewster windows using the Mallory bonding process are under investigation.

**2.3.5. CO<sub>2</sub> laser at  $\lambda = 10,6 \mu\text{m}$  (S. Picard)**

The construction of a stabilized CO<sub>2</sub> laser has continued. The laser takes the form of a 1,10 m long water-cooled sealed cavity. A wavelength-selecting grating can be adjusted by two vacuum-sealed traverse screws. High-voltage electronics have been installed and the associated pump system has been mounted and tested. In October 1991 the first laser action was observed at a power of 5 W. In a series of initial measurements and tests of the laser, about 16 rotational lines of the 10,6  $\mu\text{m}$  band were observed. Monomode laser action is obtained using a 6 mm diaphragm to eliminate transverse modes. Under these conditions a laser power of 1,5 W is obtained.

In August 1992, when it left the BIPM for the first time, the laser was taken to the ETCA (Arcueil) where its free-running frequency drift was measured by beat frequency measurements against stabilized lasers made by Ch. Bréant. The spectral purity observed was 2,3 kHz (width at half height) compared with the expected value of 1 kHz. The difference arises partly from vibrations transmitted by the cooling water and partly from the effect of mechanical vibration on the mounting of the grating. The laser and its characteristics will be described in more detail in a future BIPM report.

A 1,75 m long Fabry-Perot interferometer, designed to hold a frequency-selecting gas, has been constructed. The interferometer cavity is mounted on an acid-cleaned aluminium cylinder suspended in the chamber. The interferometer and the laser have been designed using the apparatus at the LPTF (Paris) as a model. The initial intention was to use OsO<sub>4</sub> as frequency discriminator for a stabilized laser system. For various reasons, however, it seems more prudent initially to stabilize the laser on hyperfine lines in SF<sub>6</sub> which offer a good chance of obtaining high frequency stability. The

---

\* ANDREA T., KÖNIG W., WYNANDS R., LEIBFRIED D., SCHMIDT-KALER F., ZIMMERMANN C., MESCHÉDE D., and HÄNSCH T. W., Absolute Frequency Measurement of the Hydrogen 1S - 2S Transition and a New Value of the Rydberg Constant, *Phys. Rev. Lett.*, 1992, **69**, 1923-1926.

construction of an electronic servo system has begun. Collaboration with Ch. Bréant, ETCA, and O. Acef, LPTF, is gratefully acknowledged.

### 2.3.6. Iodine cells (J.-M. Chartier, S. Picard)

#### i) *International comparison*

An international comparison of iodine cells took place at the BIPM at the beginning of 1991. A BIPM report showing the analysis of the results was later distributed to all CIPM members and to participating CCDM member laboratories. A brief report of the comparison has been accepted for publication in *Metrologia*.

#### ii) *Filling, examination of relative impurity and frequency calibration*

This year about twenty cells were filled and checked. As is now usual, two checks were made: in the first, a laser induced fluorescence technique at  $\lambda = 502$  nm is used to determine relative impurity concentrations and, in the second, the cell is installed in a laser cavity and its frequency compared with that of a reference laser by measurement of beat frequencies. Six cells from the CSMU (Praha, Czechoslovakia) have been calibrated in this way and the results confirm those obtained, in 1990, at the former ASMW, to within 10 kHz (2 parts in  $10^{11}$ ). Three cells belonging to the Institute of Atomic Physics (Bucharest, Romania) have also been calibrated.

#### iii) *A new type of iodine cell*

A new, simplified, type of iodine absorption cell has been constructed. This has no cold finger and the iodine pressure is set at the time of filling and sealing of the cell. Such cells exhibit a variation of iodine pressure, and hence frequency, which is two orders of magnitude smaller than a normal cell and appear to show good long-term frequency stability. These simplified cells may be useful for stabilized lasers in which the required frequency accuracy need not be better than a few parts in  $10^{10}$ .

## 2.4. Publications, lectures, travel: Length section

### 2.4.1. External publications

1. CHARTIER J.-M., PICARD-FREDIN S., CHARTIER A., Recent Results from an International Comparison of Iodine Cells, *Laser Spectroscopy, Technicols'91*, 1992, 106-107.
2. NEZ F., PLIMMER M. D., BOURZEIX S., JULIEN L., BIRABEN F., FELDER R., ACEF O., ZONDY J. J., LAURENT P., CLAIRON A., ABED M., MILLERIOUX Y., JUNCAR P., Precise Frequency Measurement of the  $2S - 8S/8D$  Transitions in Atomic Hydrogen: New Determination of the Rydberg Constant, *Phys. Rev. Lett.*, 1992, **69**, 2326-2329.

### 2.4.2. BIPM report

3. CHARTIER J.-M., PICARD-FREDIN S., CHARTIER A., International Comparison of Iodine Cells, *Rapport BIPM-92/4*, April 1992, 17 pages.

### 2.4.3. Lectures and presentations

— T. J. Quinn and J.-M. Chartier presented a paper at the CPEM'92 entitled "A New Type of Iodine Cell for Stabilized Lasers", see also *CPEM'92 Digest*, 1992, 34-35.

— J.-M. Chartier, J. Labot, G. Sasagawa, T. M. Niebauer, and W. Hollander presented a poster at the CPEM'92 entitled "A Portable Iodine Stabilized He-Ne Laser and its Use in an Absolute Gravimeter at  $\lambda = 633$  nm", see also *CPEM'92 Digest*, 1992, 158-159.

— R. Felder, J. L. Hall and L. S. Ma, presented a poster at the CPEM'92 entitled "An Improved Portable I<sub>2</sub>-stabilized Laser Based on Modulation Transfer", see also *CPEM'92 Digest*, 1992, 160.

— R. Felder, Y. Akimoto, V. M. Tatarenkov, Yu. S. Domnin and Y. T. Bukharov, presented a poster at the CPEM'92 entitled "Dependence of Methane Pressure on a CH<sub>4</sub>-stabilized He-Ne Laser", see also *CPEM'92 Digest*, 1992, 143-144.

### 2.4.4. Travel (committees, visits to laboratories and institutions)

J.-M. Chartier visited:

— the University of Dijon (France), 19 September 1991, as a member of the examining committee for a "Mémoire du Conservatoire National des Arts et Métiers";

— the Mechanical Institute (St-Petersburg, Russian Federation) at the invitation of Prof. V. E. Privalov, 27 October - 2 November 1991, to participate in the 2nd St-Petersburg International Conference on Science and Technology Parks, and for the opening session on Applications of Laser Technologies. He gave a presentation entitled "BIPM Activities Concerning the Definition of the Metre";

— the VNIIM, on 29 October 1991, and the Lomonosov Branch Underground Laboratory (St-Petersburg, Russian Federation), on 30 October 1991;

— the JILA (Boulder, USA), 22 December 1991 - 2 January 1992, to test the performance of the BIPM portable iodine-stabilized laser at  $\lambda = 633$  nm on an absolute gravimeter;

— the LPTF (Paris, France), 15-17 June 1992, for a laser comparison at  $\lambda = 633$  nm.

R. Felder visited:

— the Laboratoire de Spectroscopie Hertzienne de l'ENS (Paris, France), 20 November 1991;

— the PTB (Braunschweig, Germany), 25-28 November 1991, where he participated in the absolute frequency determinations of (He-Ne)/CH<sub>4</sub>

lasers belonging to the Lebedev Institute (Moscow, Russian Federation) and the Institute of Thermophysics (Novosibirsk, Russian Federation).

R. Felder, S. Picard and A. Michaud visited the Laboratoire de Physique des Lasers (Villetaneuse, France), 28 October 1991.

R. Felder visited the ENS a number of times in April and May 1992 to take part in the determination of the Rydberg constant.

J.-M. Chartier, R. Felder, L. Robertsson and S. Picard participated in the CPEM'92, 9-11 June (Paris).

## 2.5. Visitors to the Length section

### 2.5.1. Guest workers

Dr J. Blabla (CSMU, Praha, Czechoslovakia) stayed at the BIPM 16-20 September 1991 for a calibration of iodine cells.

Mr J. Guedelha (IPQ, Lisboa, Portugal) and Mr P. Gain (Sextant, Conflans-Sainte-Honorine, France) stayed at the BIPM 12-13 November to check a He-Ne laser stabilized by the saturated absorption of iodine.

Messrs G. Popescu and M. Necsoiu (Institute of Atomic Physics, Bucharest, Romania) stayed at the BIPM 22 November - 5 December 1991 for a laser comparison at  $\lambda = 633$  nm between this institute and the BIPM.

Dr B. Vaucher (OFM, Wabern, Switzerland) stayed at the BIPM 9-13 December 1991 for a laser comparison at  $\lambda = 633$  nm between the OFM and the BIPM.

Dr Yu. S. Domnin (VNIIFTRI, Moscow, Russian Federation) spent several days at the Length section in the period 24 February - 5 March 1992, when he changed the He-Ne tube of the slave laser of the device purchased from his institute.

Mr E. Prieto (CEM, Madrid, Spain) and Mr P. Gain (Sextant) came to the BIPM on 7 and 8 July 1992 to take part in the testing of an iodine-stabilized laser.

### 2.5.2. Visitors

Dr H. Hosomatsu (Optical Measurement Technology Development Co., Tokyo, Japan), 12 September 1991.

Mr P. Gain (Sextant, Conflans-Sainte-Honorine, France), 27 September 1991 and 12 November 1991.

Prof. M. M. Ammar (National Institute for Standards, Dokky-Cairo, Egypt), 1 October 1991.

Dr A. C. Corney (DSIR, Lower Hutt, New Zealand), 2 October 1991.

Dr B. Vaucher (OFM, Wabern, Switzerland), 3 October 1991.

- Dr H. Schnatz (PTB, Braunschweig, Germany), 25 October 1991.  
Mr M. Priel and Mr G. Vaillot (LNE, Paris, France), 6 November 1991.  
Mr B. De Marchi (Sextant, Conflans-Sainte-Honorine, France),  
12 November 1991.  
Dr M. De La Bacherie (LHA, Orsay, France), 27 November 1991.  
Dr P. Connes (Laboratoire d'Aéronomie, Verrières-le-Buisson, France),  
16 January 1992.  
Dr Liu Zhimin (NIM, Beijing, People's Rep. of China), 21 January  
1992.  
Dr A. Bauch (PTB, Braunschweig, Germany), 24 January 1992.  
Ten visitors from Service des Mines (Douai, France), 28 January 1992.  
Prof. Zhang Guoxiong (Tianjin University, People's Rep. of China),  
3 February 1992.  
Mrs G. Lipinski (LNE, Paris, France) and Prof. P. Juncar (INM, Paris,  
France), 4 February 1992.  
Dr J. E. Faller (JILA, Boulder, USA), 10 February 1992.  
Dr E. Prieto (CEM, Madrid, Spain), 11 February 1992.  
Dr G. Basile (IMGC, Turin, Italy), 13 February 1992.  
Messrs H. Muller and B. De Bièvre (BCMN, Geel, Belgium),  
18 February 1992.  
Mr M. Lindquist (SP, Borås, Sweden), 6 March 1992.  
Dr L. Pendrill (SP, Borås, Sweden), 18 March 1992.  
Dr Zhu (BEST, Beijing, People's Rep. of China), 18 March 1992.  
Mr H. Pirée (IGM, Brussels, Belgium), 6 April 1992.  
Messrs J. L. Hall, K. Gibble (JILA, Boulder, USA), Y. Akimoto  
(NRLM, Tsukuba, Japan), F. Bertinetto (IMGC, Turin, Italy) and  
M. A. Gubin (Lebedev Institute, Moscow, Russian Federation), 12 June  
1992.  
Mrs A. Singhabhandhu (Physics and Engineering Division, Department  
of Science Service, Bangkok, Thailand), 13 July 1992.  
Dr P. Cerez (LHA, Orsay, France), 15 July 1992.  
Dr H. Bosse (PTB, Braunschweig, Germany), 16 July 1992.  
Miss A. Razet (INM, Paris, France), 18 August 1992.  
Messrs V. M. Tatarenkov and Yu. S. Domnin (VNIIFTRI, Moscow,  
Russian Federation), 7 September 1992.  
Dr J. R. Pekelsky (NRC, Ottawa, Canada), 8 September 1992.

### 3. Mass and related quantities (G. Girard)

The third periodic verification of national prototypes of the kilogram is not yet finished but we have completed the measurements on all the participating national prototypes. Other work in the section 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, a

study of the anelasticity of flexures made of single-crystal silicon and the development of a convenient method for measuring magnetic susceptibility.

### 3.1. Third periodic verification of national prototypes of the kilogram (G. Girard)

The third periodic verification of national prototypes continues. The study of the last two groups of ten prototypes has been completed. These groups comprise: fourteen national prototypes previously studied at the BIPM, four new prototypes, prototype No. 34 (Académie des Sciences de Paris) which has not been used since 1961 (i.e. has remained in its shipping container) and a new diamond-machined prototype made from the most recent ingot of platinum-iridium alloy from Johnson-Matthey. This last prototype will remain at the BIPM where its mass will be monitored as a function of time.

In the course of studying these last two groups, we have used the same preliminary procedures as for the first two groups of ten prototypes (*see* Report 1991, p. 156). We have also used the same official copies, No. 8(41) and No. 32, as reference standards. The Mettler HK 1000 MC balance was used to determine the mass of the prototypes before cleaning and washing.

Figure 3.1 shows the change of mass  $\Delta m$  upon cleaning and washing of the international prototype, its 6 official copies ("témoins"), the national prototypes, and prototype No. 34.

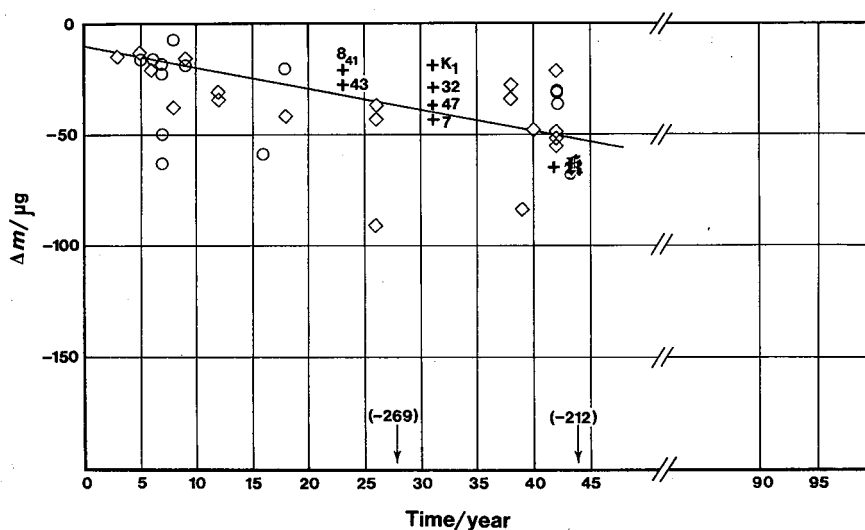


Fig. 3.1. — Change in mass,  $\Delta m$ , on cleaning and washing of the platinum-iridium prototypes as a function of the number of years since the last cleaning and washing (+ international prototype and its six official copies; ◇ national prototypes from the 1st and 2nd groups; ○ national prototypes and No. 34 from the 3rd and 4th groups).

Figure 3.2 shows the evolution in mass, with respect to the international prototype, of those national prototypes in the 3rd and 4th groups, and of prototype No. 34, that were also studied during the second periodic verification. These results are consistent with those shown in figure 3.2 of the 1991 Report.

The final phase of the third periodic verification is a new comparison of the international prototype with its official copies and selected working standards of the BIPM. This is now under way.

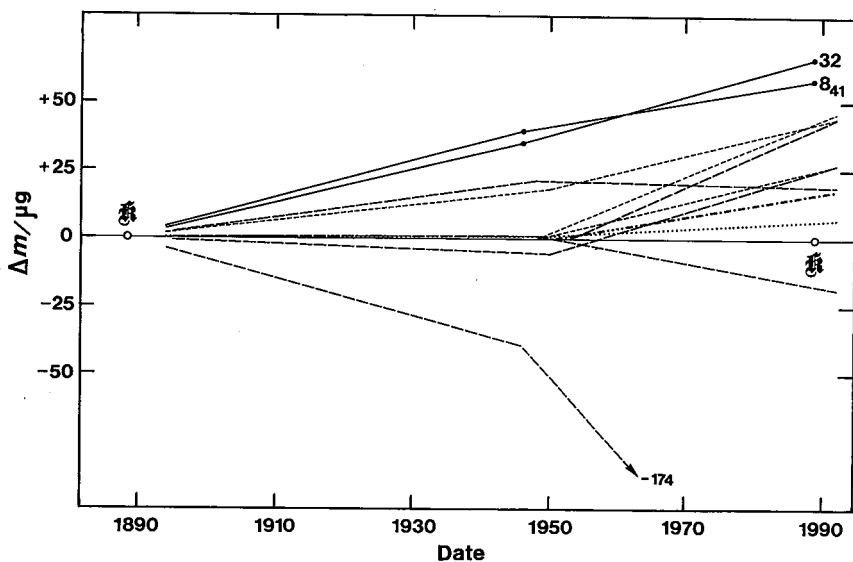


Fig. 3.2. — Evolution of the mass of the nine national prototypes in the 3rd and 4th groups, prototype No. 34 and two of the official copies of the international prototype, No. 8(41) and No. 32 (—).

### 3.2. The new flexure-strip balance, FB-2 (T. J. Quinn, A. Picard)

In the 1991 Report, p. 159, we indicated our intention to build a second flexure-strip balance. In this new balance the beam, flexures, pans and pan suspension were to be essentially identical with those of the prototype, but would permit the comparison of eight 1 kg standards instead of the two used in the prototype balance. Since that time, the circular mass transporter and the mass exchanger for the eight masses have been made and their control systems have been completed. The mass exchanger has been designed to carry out the exchange of masses on the pan as quickly as possible. To permit this, acceleration and deceleration functions have been incorporated in the drive-motor control. At present less than one minute is



required to exchange any two masses and the reproducibility in position is better than 10  $\mu\text{m}$ . Construction of the new balance continues.

### 3.3. Surface effects on Pt-Ir mass standards (T. J. Quinn, A. Picard)

The study of surface effects on the mass of Pt-Ir 1 kg mass standards described in the 1991 Report, p. 159, has progressed. The masses of two diamond-machined 1 kg standards, one a traditional cylinder, the other made up of four disks having a total surface of close to 150  $\text{cm}^2$  (i.e. twice the surface area of the first), have been compared in the flexure-strip balance FB-1. Starting in December 1990 the relative humidity of the air in the balance case was varied in the range from 0,37 to 0,58 while keeping the pressure constant at 100 kPa and the temperature at 22  $^\circ\text{C}$ . The ambient pressure was then varied in the range 99 kPa to 103 kPa while keeping the relative humidity and temperature constant. While keeping both the relative humidity and pressure constant the temperature was then varied in the range from 19  $^\circ\text{C}$  to 23  $^\circ\text{C}$ .

From these measurements we have been able to deduce changes in mass difference  $\Delta m_h$ ,  $\Delta m_p$ ,  $\Delta m_T$  as function of relative humidity  $h$ , pressure  $p$ , and temperature  $T$ , respectively. For a difference of surface area of 75  $\text{cm}^2$  the values obtained are

$$\begin{aligned}\frac{\Delta m_h}{\Delta h} &= (1,8 \pm 0,6) \mu\text{g}, \\ \frac{\Delta m_p}{\Delta p} &= (0,15 \pm 0,07) \text{ng} \cdot \text{Pa}^{-1}, \\ \frac{\Delta m_T}{\Delta T} &= (-0,3 \pm 0,1) \mu\text{g} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}.\end{aligned}$$

The value for  $\Delta m_h/\Delta h$  is just half that given in last year's report, a change which results from an improved estimate for the value of the temperature effect,  $\Delta m_T/\Delta T$ . For diamond-machined 1 kg mass standards the effects of changes in ambient conditions of humidity, pressure and temperature are small and can easily be kept below 0,1  $\mu\text{g}$ . The residual change represents that variation in mass with time which is not correlated with changes in ambient conditions and whose origin remains unknown (*see* figure 3.3). The magnitude of the change is similar to that observed for Pt-Ir 1 kg standards in the months following cleaning and washing. The two masses used in this work were cleaned a few months before the measurements began. In figure 3.3 the large dots represent data used in the global least squares fit to obtain the values of  $\Delta m_h/\Delta h$ ,  $\Delta m_p/\Delta p$  and  $\Delta m_T/\Delta T$ . The small dots represent data obtained during a part of the temperature study in which the observed variations of mass were not correlated with variations in temperature. This anomaly subsequently disappeared, and remains unexplained, but the points were excluded from

the global least squares fit of the data. The next stage in our study, which has already begun, is to measure  $\Delta m$  when the pressure is reduced from 100 000 Pa to vacuum.

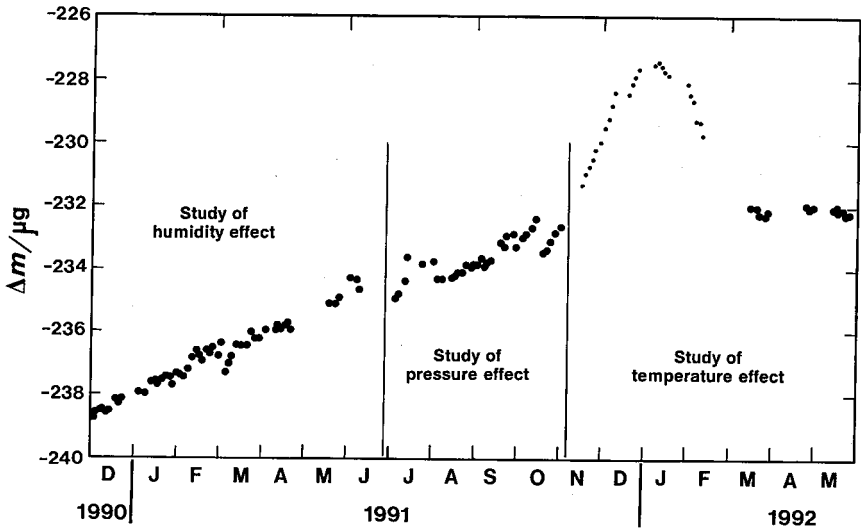


Fig. 3.3. — Change in mass difference,  $\Delta m$ , as a function of time. The results have been adjusted to take account, simultaneously, of the effects of humidity, temperature and pressure. The small dots represent values obtained during the study of temperature effects: they have not been explained and were not included in the adjustment.

### 3.4. Single-crystal silicon flexures (T. J. Quinn, R. S. Davis, C. C. Speake\*, W. Tew\*\*)

A new vertical pendulum designed to allow the study of silicon flexures with a much reduced risk of accidental breakage has proved successful. The flexure wafers are now Mallory-bonded to glass blocks so that the assembly can be mounted kinematically, as in the flexure-strip balance, thus eliminating the need to glue the silicon directly to the pendulum. Once under load, the flexure is fairly immune to damage and a few simple and obvious precautions suffice to keep it intact.

Data taken so far suggest that the single-crystal silicon we are using is subject to anelastic losses that are smaller in magnitude and have a much shorter relaxation time than those measured in Cu-Be. As yet it is not clear whether the small anelastic losses observed are due to the silicon

\* School of Physics and Space Research, University of Birmingham, United Kingdom.

\*\* Guest worker.

flexure or to the duralumin structure of the pendulum. A new, more rigid, pendulum is being made.

### 3.5. New method for measuring magnetic susceptibility (R. S. Davis)

In the 1991 Report, p. 160, we reported that a novel force method had been developed for measuring the volume magnetic susceptibility,  $\chi$ , of weakly magnetic materials commonly used for mass standards and balance construction. At the time, the precision of the experimental determinations seemed limited by the balance being used to measure the forces involved.

With the assistance of Mettler-Toledo AG (Switzerland), we have developed a new apparatus based on the same principle but using an analytical balance better suited to the experimental requirements. The sensitivity of the original device has thus been increased by two orders of magnitude so that even the small susceptibility of common diamagnetic samples can now be determined with reasonable accuracy. The ease with which measurements can be made has also been greatly improved and the theory of operation has been extended to include non-cylindrical samples. A range of standard materials with  $|\chi| \sim 10^{-5}$  has been measured with errors of less than 5 %.

We consider that, except for the production of a final report, this work is now complete.

### 3.6. Gravimetry (A. Sakuma)

As noted in the 1991 Report, p. 161, we are, in collaboration with the Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) in Orléans, preparing to establish absolute gravimetric bases around and on the summit of Puy-de-Dôme (an altitude of 1464 m). A feasibility study to site one of the absolute calibration bases in the transmitter building used by French television, at the summit of the Puy-de-Dôme, showed that the foundations are not sufficiently stable for the research requirements. The BRGM has therefore decided to build an independent module, about 12 m  $\times$  7 m, on a granite slab. Its construction is already under way on the summit of the Puy-de-Dôme.

The BIPM's portable absolute gravimeter, which will be used in this work, is in need of mechanical and electronic modifications: it was constructed over ten years ago. Modernisation of both the clock and the computer is also under way and will reduce the time necessary to calculate a value of  $g$  from two minutes to about thirty seconds. To achieve this performance we have constructed a new clock which allows the computer to register the transit time to a station with an uncertainty of less than 100 ps, and software that makes it possible to acquire more than 10 000 readings per second.

### 3.7. Publications, lectures, travel: Mass section

#### 3.7.1. External publications

1. DAVIS R. S., Using small rare earth magnets to study the susceptibility of feebly magnetic metals, *Am. J. Phys.*, 1992, **60**, 365-370.
2. DAVIS R. S., Equation for the determination of the density of moist air (1981/91), *Metrologia*, 1992, **29**, 67-70.
3. QUINN T. J., SPEAKE C. C., BROWN L. M., Materials problems in the construction of long period pendulums, *Phil. Mag.*, 1992, **65**, 261-276.
4. QUINN T. J., The beam balance as an instrument for very precise weighing, *Meas. Sci. Technol.*, 1992, **3**, 141-159.

#### 3.7.2. Lectures and presentations

T. J. Quinn gave an invited lecture entitled "The beam balance as an instrument for modern physics" at the March 1992 meeting of the American Physical Society (Washington, DC, USA).

T. J. Quinn during his visits to Australia and New Zealand (*see* 1.2) gave a lecture entitled "The beam balance and the problem of anelasticity" at the CSIRO National Measurement Laboratory (Lindfield) and at the Wellington branch of the New Zealand Royal Society.

### 3.8. Visitors to the Mass section

#### 3.8.1. Guest worker

Dr W. Tew (NIST, Gaithersburg, USA) participated in research programmes from 20 January 1992 to 2 May 1992 and from 1 June 1992 to the end of August 1992.

#### 3.8.2. Visitors

Mr A. C. Corney (DSIR, Lower Hutt, New Zealand), 2 October 1991.  
Messrs Van Dijk and Grimberger (NMI, Delft, Netherlands), 19 December 1991.

Mr de Beaufort (Sté Mettler-Toledo AG, France), 27 February 1992.

Mrs H. H. Rannveig (Det Norske Justervesen, Oslo, Norway), 16 March 1992.

Mr R. Spurny (CSMU, Bratislava, Czechoslovakia), 11 to 15 May 1992.

Mr L. Szönyi (OMH, Budapest, Hungary), 22 May 1992.

Prof. L. M. Brown (Cavendish Laboratory, University of Cambridge, United Kingdom), 2 June 1992.

Dr P. Bender (JILA, Boulder, USA), 8 June 1992.

Dr M. Gläser (PTB, Braunschweig, Germany), 10 June 1992.

Mr H. Bettin (PTB, Braunschweig, Germany), 12 June 1992.

Mr Y. Nezu (NRLM, Tsukuba, Japan), 15-16 June 1992.

Mr P. Pinot (INM, Paris, France), 24 June 1992.

Mr H. Bosse (PTB, Braunschweig, Germany), 16 July 1992.

#### 4. Time (C. Thomas)

##### 4.1. International Atomic Time (TAI) and Coordinated Universal Time (UTC)

The time scales TAI and UTC are maintained and made available by the monthly *Circular T*, now also distributed through the BITNET/INTERNET electronic network (since Autumn 1991). The *Annual Report of the BIPM Time Section* for 1991, Volume 4, was published in June 1992.

Since early 1992, thirty-six of the forty-five laboratories contributing to TAI have been equipped with GPS time receivers and have regularly sent their rough GPS observations to the BIPM. This means that nearly all time links involved in the TAI computation are now obtained by one of the most accurate time transfer methods available and undergo a unified data treatment.

As in previous years, 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 three frequency "steering" corrections of 0,5 parts in  $10^{14}$ , made in September 1991, November 1991 and May 1992. Some new primary frequency standards, which use optical preparation and detection of atoms, are now under development, and their accuracy is expected to compare with that of the PTB standards. The result of the evaluation of one of them, NIST 7 developed at the NIST Boulder, USA, is now imminent.

##### 4.2. Algorithms for time scales (J. Azoubib, C. Thomas, P. Tavella\*)

No change has been made to the BIPM algorithm ALGOS which is properly optimized for long-term stability. At present, about 12 % of the clocks contributing to TAI are hydrogen-masers. These are naturally-drifting clocks which, in previous years, were observed but not weighted in the TAI computation. In September 1991, hydrogen-masers were introduced into the TAI computation according to the same frequency prediction and weighting procedures as other clocks. This was done for two reasons:

i) The development of specific auto-tuning modes for the cavities of hydrogen-masers has much reduced their natural tendency to drift. Some hydrogen-masers kept by national timing centres, in particular the PTB,

---

\* Guest worker.

have shown long-term performance equivalent to those of commercial caesium clocks.

ii) The ALGOS weight is inversely proportional to the classical variance of the last six two-month rates of a clock, so drifting clocks automatically have a reduced contribution. This particular feature of ALGOS has already been shown to be efficient for minimizing other systematic effects such as annual variations.

As expected, the introduction of hydrogen-masers to the computation of TAI has not degraded the stability of the resulting time scale and has improved its reliability.

An important part of the research activity on time-scale algorithms is still devoted to comparative studies between the algorithm ALGOS, for estimation of TAI, and other algorithms developed for national time scales. It appears that the algorithms now under study rely upon the same basic ideas:

- the definition of a time scale is always a weighted average of clock readings;
- the prediction of clock rates and the weighting procedure are adapted to specific aims;
- the Kalman filter is a helpful tool for smoothing out white noise.

A numerical experiment now being performed in collaboration with the NIST (Boulder, USA) consists of running three different algorithms (the new NIST algorithm for estimation of TA2, ALGOS, and a modified ALGOS with weights deduced from Allan variances rather than classical variances) on three independent sets of caesium clocks (clocks kept by USNO, OP and NIST) for four consecutive years. This should allow us to study the stability performance of each algorithm and the impact of the clock number. For the moment, ALGOS has been shown to be more efficient than the modified ALGOS for reducing the residual drift of the resulting time scales.

An interesting problem is the degradation of time scale stability resulting from the abrupt changes of weights that occur when clocks enter or exit the ensemble. To study this effect quantitatively, we are running ALGOS on limited clock sets, using only continuously operating clocks: 72 clocks for the years 1990 and 1991, and 48 clocks for the years 1989, 1990 and 1991. We then compare with the time scale obtained using the total clock set. It appears that the frequency prediction mode of ALGOS and the precautions taken for observing new clocks before their definitive introduction are efficient and handle clock entries and exits very well.

#### **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. We are also involved in the development of GLONASS and two-way time transfer experiments.

### 4.3.1. Global Positioning System (GPS)

The GPS time comparisons are computed using strict common views (synchronization within 1 s) in order to remove the clock-dither noise brought about by the intentional GPS signal degradation (Selective Availability, SA), now permanently activated. The degree of smoothing of rough GPS data is adjusted according to the length of the baseline between stations. The precision of one single measurement [UTC(Lab1) – UTC(Lab2)] is about 2 ns for short distances and about 8 ns for long distances.

The coordinates of laboratory GPS antennas, all corrected by the BIPM in June 1990 to a common reference frame (ITRF88), are still the subject of continuous improvement. Work continues, in particular, for laboratories newly equipped with GPS receivers. We have also received special demands for the determination of accurate coordinates for the Arecibo Observatory (Puerto Rico, USA) and for the USNO station in Richmond (Florida, USA).

Another part of our current work is the checking of differential delays between GPS receivers operating on a regular basis in collaborating laboratories. In March 1992, an initiative to improve receiver calibration was organized between the OP (Paris, France), the NAO (Tokyo, Japan) and the CRL (Tokyo, Japan). Another such drive took place in July 1992 involving the OP and the CSAV (Praha, Czechoslovakia). Since then, the results of the drive to improve calibration involving the OP, the OCA (Grasse, France) and the TUG (Graz, Austria) has been published in *Rapport BIPM-91/6* [13].

We continue to organize the international synchronization of GPS measurements by issuing satellite tracking schedules twice a year (December and June).

Further improvement in GPS time comparisons will 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) and from the National Geodetic Survey (USA) are regularly received and analysed at the BIPM [1], but cannot yet be employed in current work because they reach us too late. This may become a serious problem if Selective Availability is extended to include ephemeride degradation. Measured ionospheric delays are used operationally for the links OP-NAO and OP-NIST.

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. Work continues on testing the closure condition [2] through a combination of three links, OP-NIST, NIST-CRL and CRL-OP. Over an 18 month period, the closure condition presents a residual bias (of order a few nanoseconds on daily averages) slowly varying with time. This work was

presented in September 1991 to the meeting of Study Group 7 (Science Services) of the CCIR. A draft recommendation concerning the use of global satellite systems for time transfer was then discussed.

An investigation has shown that different models of tropospheric correction are used in GPS time receivers, depending on the manufacturer. All neglect the contribution due to water vapour, which may be as much as 15 % of the total correction. When compared with a semi-empirical model, the results obtained from these models differ by up to 10 ns for low elevations ( $10^\circ$ ), high humidity and high temperature [3].

More generally, for two years now, anomalies in the software and hardware of commercial GPS receivers have been observed and reported by the BIPM [3,4,5]. At the end of 1991, the Working Group on TAI of the CCDS, in response to the growing need for a better standardization of GPS observation procedures, created the formal CCDS Group on GPS Time Transfer Standards (CGGTTS) whose Chairman is D.W. Allan (NIST). The BIPM Time section provides the secretariat for this Group. One of the first results is a recommended format for GPS data files (June 1992).

Direct access to GPS time, as issued from Block II satellites, has been degraded (from about 50 ns to some hundreds of nanoseconds) with the permanent implementation of Selective Availability. The Kalman prediction procedure could provide an adequate solution to the problem of the precise restitution of GPS time in real-time. A numerical experiment is being performed at the BIPM with a special GPS schedule in which four different satellites, chosen for their high elevation, are observed for 13 minutes every 16 minutes. Promising results have already been obtained, but need further investigation.

#### **4.3.2. Global Navigation Satellite System (GLONASS)**

In 1991, the BIPM initiated an experiment which should allow, for the first time, a direct comparison of GPS and GLONASS common-view time transfers. A GPS receiver, on loan from the BIPM, has been operating at the VNIIFTRI (Moscow) since June 1991, and observations of GLONASS satellites started at the BIPM on 26 February 1992, using a GLONASS navigation receiver on loan from the VNIIFTRI. The purpose of this experiment is to demonstrate the feasibility of GLONASS common-view time transfer, to elaborate procedures of data treatment and to suggest data format and other standards.

Previous GLONASS observations performed by the University of Leeds (UK) have already allowed the BIPM to establish regular time links between Western Europe and the Russian Federation with an uncertainty of several tens of nanoseconds. This performance has been checked this year by the comparison with GPS common-view time transfer [6,7]. Values



of [UTC – GLONASS time] are also currently published in the *BIPM Circular T*.

#### **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 several nanoseconds in accuracy. In 1989, the BIPM helped in the development of two-way time transfer experiments by initiating a collaboration between the NIST, the USNO and several European laboratories. Following this, a two-way experiment was 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 provided the expertise for GPS data processing and for a comparative study of GPS and two-way techniques. The BIPM also calibrated the GPS equipment [13]. The difference between the results obtained with the two techniques did not exceed several nanoseconds [8], which is excellent. This difference, however, has been shown to evolve with time and to be strongly correlated with external temperature. To explain this phenomenon fully, further experiments are required, but already a link can be made with previous work of the BIPM on the dependence of some GPS time receivers on the external temperature.

#### **4.4. Definition of time scales, relation with astronomy (B. Guinot, G. Petit)**

Following a paper published in 1991\* and the definition of new coordinate time scales by the IAU, discussions took place, mainly between J. de Boer, T. J. Quinn and B. Guinot, on the nature of time scales. The essential topics are the dimensioning of time scale readings and the relationship between the system of graduation and the SI second. These discussions are continuing.

At its 21st General Assembly in 1991, the IAU created a Working Group on Astronomical Standards to update and improve the system of astronomical models and constants. This is a continuation of the work of a previous subgroup. G. Petit participates in the activities of this Working Group.

#### **4.5. Pulsars (G. Petit, C. Thomas, P. Tavella)**

Millisecond pulsars are galactic objects that exhibit a very stable period of rotation. Although they cannot be expected to define a unit of time,

---

\* GUINOT B., La nature des échelles de temps, définitions, notations, *Journées sur les systèmes de référence spatio-temporels*, Observatoire de Paris, 1991, 3-10.

they can be used as stable clocks to realize a time scale by means of a stability algorithm. Work has been carried out with a view to understanding how such a pulsar time scale could be realized and what implications it would have for atomic time [12]. An important feature of this work is that a pulsar time scale could allow the transfer of the accuracy of the atomic second from one epoch to another, thus overcoming some of the consequences of possible failures of atomic standards.

Collaboration is under way with the radio-astronomy groups observing pulsars in order to obtain real pulsar data. The Time section provided these groups with the latest version of its post-processed realization of Terrestrial Time TT(BIPM92), in March 1992, and has given other occasional support.

## **4.6. Other activities**

### **4.6.1. Time laboratory (C. Thomas)**

The time laboratory of the BIPM is now operational. Data from several GPS time receivers and ionospheric measurement systems have been analysed for standardization purposes. The equipment assembled at the BIPM is also useful for calibration exercises and for collaboration on specific experiments such as the GLONASS time comparisons. The stability of the caesium clock installed at the BIPM, on loan from the USNO (Washington, DC, USA), corresponds to an Allan deviation of  $3 \times 10^{-14}$  for 25 day averaging intervals.

### **4.6.2. Very Long Baseline Interferometry (G. Petit)**

Very Long Baseline Interferometry (VLBI) is one of the most precise techniques for the realization of reference frames in geodesy and astrometry. It is also an application which demands the highest stability of atomic clocks with required averaging times ranging from 1 minute to 1 day. We keep in close contact with this technique through participation in:

- VLBI data processing at the IGN (Saint-Mandé, France),
- the development of a correlator at the Centre National d'Études Spatiales (Toulouse, France),
- the writing of software for the analysis of VLBI data at the Paris Observatory,
- the organization of VLBI observations on millisecond pulsars. The pulsar observations will be used to link radio and dynamical celestial reference frames, and may allow the identification of annual signatures in 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. LEWANDOWSKI W., PETIT G., THOMAS C., Precise GPS Ephemerides from DMA and NGS Tested by Time Transfer, In *Proc. 23rd PTTI*, 1991, 59-70.
2. LEWANDOWSKI W., PETIT G., THOMAS C., Accuracy of GPS Time Transfer Verified by the Closure around the World, In *Proc. 23rd PTTI*, 1991, 331-339.
3. LEWANDOWSKI W., PETIT G., THOMAS C., GPS Standardization for the Needs of Time Transfer, In *Proc. 6th EFTF*, 1992, 243-248.
4. LEWANDOWSKI W., THOMAS C., ALLAN D.W., CGSIC Subcommittee on Time and CCDS Group of Experts on GPS Standardization, In *Proc. ION GPS-91 4th International Technical Meeting*, 1991, 207-214.
5. LEWANDOWSKI W., PETIT G., THOMAS C., The Need for GPS Standardization, In *Proc. 23rd PTTI*, 1991, 1-13.
6. DALY P., KOSHELYAEVSKY N. B., LEWANDOWSKI W., PETIT G., THOMAS C., Comparison of GLONASS and GPS Time Transfers between two West European Time Laboratories and VNIIFTRI, In *Proc. 23rd PTTI*, 1991, 341-350.
7. DALY P., KOSHELYAEVSKY N. B., LEWANDOWSKI W., PETIT G., THOMAS C., Comparison of GLONASS and GPS Time Transfers, In *Proc. 6th EFTF*, 1992, 249-252.
8. KIRCHNER D., THYR U., RESSLER H., ROBNIK R., GRUDLER P., BAUMONT F., VEILLET C., LEWANDOWSKI W., HANSON W., CLEMENTS A., JESPERSEN J., HOWE D., LOMBARDI M., KLEPCZYNSKI W., WHEELER P., POWELL W., DAVIS A., UHRICH P., TOURDE R., GRANVEAUD M., Comparison of Two-Way Satellite Time Transfer and GPS Common-View Time Transfer Between OCA and TUG, In *Proc. 23rd PTTI*, 1991, 71-88.
9. GUINOT B., L'unification mondiale de l'heure et des fréquences, *L'onde électrique*, 1992, **72**, 18-23.
10. GUINOT B., Atomic time scales for dynamical astronomy, In *Proc. 6th EFTF*, 1992, 51-56.
11. GUINOT B., Navigation et mesure du temps, *Navigation*, 1992, **40**, 159, 389-403.
12. PETIT G., TAVELLA P., THOMAS C., How can Millisecond Pulsars improve the Long-Term Stability of Atomic Time Scales?, In *Proc. 6th EFTF*, 1992, 57-60.

#### 4.7.2. BIPM report

13. LEWANDOWSKI W., Determination of differential time corrections between the GPS time receivers located at the Observatoire de Paris, the Observatoire de la Côte d'Azur and the Technical University of Graz, *Rapport BIPM-91/6*, November 1991, 12 pages.

#### 4.7.3. Lectures and presentations

W. Lewandowski attended the meetings of the Civil GPS Service Interface Committee in San Diego (USA), on 29-31 January 1992. He gave presentations on recent studies in GPS time transfer.

G. Petit gave a lecture on VLBI at the IGN, Paris (France), on 19 February 1992. He gave a presentation on GPS time transfer at the International Workshop on Techniques to Study Cosmic Rays, in Paris, on 23 April 1992. He also gave a presentation on the precision and accuracy of GPS time transfer, at the CPEM'92 in Paris (France), on 11 June 1992.

C. Thomas gave a lecture on Time at the IGN, Paris (France), on 27 January 1992.

#### 4.7.4. Travel (committees, visits to laboratories and institutions)

B. Guinot visited:

— Noordwijk (Netherlands), 13-14 November 1991, to attend a meeting of the scientific council of the European Frequency and Time Forum and a discussion on space applications of time measurement;

— Toulouse (France), 11 February 1992, to attend a meeting of the Scientific Council of the Groupe de Recherches de Géodésie Spatiale (France).

W. Lewandowski visited:

— Pasadena (USA), 3-5 December 1991, to attend the 23rd PTTI meeting, to participate in the first formal meeting of the CGGTTS and in the meeting of the LASSO Coordinating Group;

— Noordwijk (Netherlands), 17-19 March 1992, to attend the 6th European Frequency and Time Forum;

— Paris (France), 9-12 June 1992, to attend the CPEM'92 and to participate in the 2nd meeting of the CGGTTS;

— Praha (Czechoslovakia), 1-5 July 1992, to install a GPS time receiver at the CSAV.

G. Petit visited:

— Geneva (Switzerland), 29-30 October 1991, to attend the meeting of Study Group 7 (Science Services) of the CCIR;

— Pasadena (California, USA), 2-5 December 1991, to attend the 23rd PTTI meeting and to participate in the first formal meeting of the CGGTTS;

— Noordwijk (Netherlands), 17-19 March 1992, to attend the 6th European Frequency and Time Forum;

— Den Haag (Netherlands), 18-20 May 1992, to attend the Symposium on Refraction of Transatmospheric Signals in Geodesy;

— Paris (France), 9-12 June 1992, to attend the CPEM'92 and to participate in the 2nd meeting of the CGGTTS;

— Bologna (Italy), 15-17 June, to install a GPS ionospheric calibrator for a VLBI experiment, and 10-14 August 1992, to correlate VLBI data.

C. Thomas visited:

— Geneva (Switzerland), 28 October-1 November 1991, to attend the meeting of Study Group 7 (Science Services) of the CCIR;

— Pasadena (California, USA), 2-5 December 1991, to attend the 23rd PTTI meeting and to participate in the first formal meeting of the CGGTTS;

— Turin (Italy), 12 December 1991, to visit the Politecnico di Torino for the presentation of the thesis work of Mrs P. Tavella, work carried out largely at the BIPM;

— Toulouse (France), 18 February 1992, to visit the Centre National d'Études Spatiales and to participate in a meeting on GPS Time Transfer;

— Paris (France), 9-12 June 1992, to attend the CPEM'92 and to participate in the 2nd meeting of the CGGTTS.

#### **4.8. Activities related to external organizations**

B. Guinot participates in the work of the IAU. He is a member of the Scientific Council of the Groupe de Recherches de Géodésie Spatiale (France) and of the European Frequency and Time Forum. 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.

W. Lewandowski participates in the work of IUGG.

G. Petit participates in the work of the IAU, in which he is a member of the Working Group on Astronomical Standards. He is a member of the Scientific Council of the GRGS (France), a member of the Comité National Français de Géodésie et Géophysique.

C. Thomas is a member of the Working Group on Terminologie et Notations en Géodésie (France), a member of the Comité National Français de Géodésie et Géophysique.

#### **4.9. Visitors to the Time section**

##### **4.9.1. Guest workers**

Mrs P. Tavella, (IEN, Turin, Italy), visited on four occasions, 14-25 October 1991, 10-14 February 1992, 6-17 April 1992 and 8-19 June

1992, to continue her studies on time-scale algorithms and to begin a collaboration concerning pulsars.

Mr E. Bleuzet, student at the École Nationale des Sciences Géographiques (St-Mandé, France), spent five months (May-September 1992) with the Time section preparing a report on measured ionospheric delays of GPS signals.

#### 4.9.2. Visitors

Mr J.-L. Issler (CNES, Toulouse, France), 24 October 1991.

Mr J. Cermak and Dr J. Vondrak (CSAV, Praha, Czechoslovakia), 19 November 1991.

Dr P. Uhrich, (LPTF, Paris, France), 21-30 January 1992.

Dr A. Bauch (PTB, Braunschweig, Germany), 24 January 1992.

Dr Y. Domnin and Mr G. Cherenkov (VNIIFTRI, Moscou, Russian Federation), 24 February-8 March 1992.

Mr B. G. Harsson and Mr B. O. Solberg (Geodetic Institute, Honefoss, Norway), 28 February 1992.

Mr M. Imae (Kashima Space Research Center, Kashima, Japan) and Mr Aida (CRL, Tokyo, Japan), 2-11 March 1992.

Dr T. Fayard (CNES, Toulouse, France), 13 April 1992.

Dr J.-F. Lestrade and Mr I. Cognard (Observatoire de Meudon, Meudon, France), 15 April 1992.

Dr A. Lecacheux (Observatoire de Meudon, Meudon, France), 26 May 1992.

Mr L.T. Lee (SCL, Hong Kong), 16 June 1992.

Dr F. Arias (ONBA, Buenos Aires, Argentina), 18 June 1992.

## 5. Electricity (T. J. Witt)

### 5.1. General remarks

The highlights of the year's activities include the successful completion of five more international comparisons of Josephson-array voltage standards at unprecedented levels of agreement (relative differences of 2 parts in  $10^{10}$  or less) and precision (relative uncertainties of 5 parts in  $10^{10}$  or less). The traceability among the primary Josephson-array standards of all participants is firmly established.

Similarly, the final results of the 1990 international comparison of resistance standards demonstrate good agreement among the participants that reported values in terms of their own laboratory's quantum Hall effect measurements. For  $1 \Omega$  resistors, the agreement between national laboratories and the BIPM is  $(-3,2 \pm 2,4)$  parts in  $10^8$  and for  $10 \text{ k}\Omega$  resistors it is  $(0,9 \pm 2,2)$  parts in  $10^8$ . It is now clear that the stability

of the travelling standard resistors themselves limits the prospects for improving the accuracy in the comparison of basic standards based on the quantum Hall effect. To overcome this difficulty, the BIPM proposes a novel method, a transportable ac resistance bridge operating at room temperature, to compare, with a precision that may approach a few parts in  $10^9$ , the results of quantum Hall effect measurements carried out in different laboratories.

## 5.2. Electrical potential

### 5.2.1. Josephson effect (D. Reymann)

Continuing work begun last year, Josephson-array comparisons have been the most important part of our voltage-standard activities. Since October 1991, five international comparisons have been successfully carried out by transporting our equipment to the NIST (USA), the NRC (Canada), the NPL (United Kingdom), the LCIE (France) and the ETL (Japan). We also made an internal comparison between the two BIPM Josephson-array standards, in May 1992, to verify the stability of the BIPM travelling standard.

These comparisons serve to establish traceability, at an unprecedented level of precision, among primary reference standards of the national metrology laboratories and provide valuable experience in the practical use of array standards. The results of the direct array comparisons and the indirect comparisons using the BIPM voltage transfer device were very satisfactory (agreements and uncertainties within a few parts in  $10^{10}$ ).

In addition to comparisons of array instruments we also measured, in most laboratories, Zener-diode-based standards which are used as transfer standards in all laboratories except the BIPM. The results indicate the limit of accuracy of Zener-diode-based standards due to leakage resistance, electromagnetic interference and  $1/f$  noise which, taken together, limit the final relative uncertainty of the measurements to a few parts in  $10^8$ .

Because of the problems encountered last year in the indirect comparison, via the BIPM voltage transfer device, the comparison with the LCIE was repeated in February 1992 and good results were obtained. The measurements at the LCIE included direct comparisons of outputs while both arrays were irradiated by the same millimetre-wave source so that all frequency-related uncertainties were eliminated. Indeed, we observed no change in the measured voltage even when the millimetre-wave source was switched from the frequency-stabilized to the free-running mode. In all other comparisons, the relative uncertainty due to the frequency measurement was about 1 part in  $10^{10}$ , a value somewhat larger than expected.

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 combined type A and type B.

At the NIST:

$$U_{\text{NIST}} - U_{\text{BIPM}} = 0,1 \text{ nV}, \quad \sigma = 0,3 \text{ nV}.$$

At the NRC:

$$U_{\text{NRC}} - U_{\text{BIPM}} = -0,2 \text{ nV}, \quad \sigma = 0,3 \text{ nV}.$$

At the NPL:

$$U_{\text{NPL}} - U_{\text{BIPM}} = -0,1 \text{ nV}, \quad \sigma = 0,5 \text{ nV}.$$

At the LCIE:

$$U_{\text{LCIE}} - U_{\text{BIPM}} = -0,1 \text{ nV}, \quad \sigma = 0,2 \text{ nV}.$$

At the ETL:

$$U_{\text{ETL}} - U_{\text{BIPM}} = 0,0 \text{ nV}, \quad \sigma = 0,2 \text{ nV}.$$

At the BIPM:

$$U_{\text{BIPM}(1)} - U_{\text{BIPM}(2)} = 0,0 \text{ nV}, \quad \sigma = 0,2 \text{ nV}.$$

Comparisons with other national laboratories have tentatively been scheduled for 1992.

## 5.2.2. Other activities

Work continues to improve the reproducibility of measurements of Zener-diode-based standards. We are now considering the possibility of replacing the null detector we use for the 1,018 V measurements.

## 5.3. Electrical resistance

### 5.3.1. Quantum Hall effect and associated resistance measurements (F. Delahaye)

This year we continued our development programme which aims to provide low-frequency (of order 1 Hz) ac calibration of 1  $\Omega$ , 100  $\Omega$  and 10 k $\Omega$  standards in terms of the quantized Hall resistance (QHR). This is motivated by the fact that low-frequency ac techniques have significant advantages over the traditional dc techniques and give results compatible with those of dc measurements [1].

We have designed a novel ac resistance bridge, based on a room-temperature alternating current comparator with a high permeability magnetic core [see section 5.7.3]. Original techniques for the realization of ratio-windings (ratios 100/1, 64,53/1 and 129,06/1) were developed, resulting in high resolution and low ratio error (a few parts in  $10^9$  at



1 Hz). Also we have investigated the ac behaviour of various  $1\ \Omega$  dc resistance standards and evaluated their ac-dc resistance difference at 1 Hz. For selected standards this difference does not exceed a few parts in  $10^9$ .

We are now able to use this new ac bridge for routine measurements of  $1\ \Omega$  standards in terms of the QHR. As the bridge is relatively easy to transport and operate, we suggest that it could be transported to other laboratories for comparisons of resistance ratio measurements. This new transfer technique does not rely on the stability of travelling standard resistors, the present limiting factor of precise comparisons. An experimental comparison with the LCIE is planned for 1993.

### **5.3.2. The 1990 international comparison of $1\ \Omega$ and $10\ \text{k}\Omega$ standards**

The 1990 international comparison of  $1\ \Omega$  and  $10\ \text{k}\Omega$  standards was carried out at the BIPM from 24 September 1990 to 25 November 1990. After completion of the return measurements by the participating laboratories, a first draft of the report on the comparison was prepared and circulated. The final version of the report [2] was published in *Metrologia*.

The results are generally good. In particular, for the ten participating laboratories reporting results based on quantum Hall effect measurements, the weighted mean and standard deviation of the difference between the value assigned to a resistor by the laboratory minus that assigned by the BIPM is  $(-3,2 \pm 2,4)$  parts in  $10^8$  at  $1\ \Omega$  and  $(0,9 \pm 2,2)$  parts in  $10^8$  at  $10\ \text{k}\Omega$ . This confirms the consistency of QHR-based resistance standards on a worldwide scale and provides a firm technical basis for traceability between national resistance standards. Another conclusion is that the estimated uncertainty due to the stability of  $1\ \Omega$  and  $10\ \text{k}\Omega$  travelling standards is of the order of 2 parts in  $10^8$ . To reduce comparison uncertainties below a few parts in  $10^8$  will require significant improvements in transportable resistors or a new transfer technique, such as that proposed in 5.3.1.

### **5.4. Studies of applications of high- $T_c$ superconductors in metrology** (T. J. Witt)

Until this year, our studies of the Josephson effect in high critical-temperature (high- $T_c$ ) superconductors have been limited to devices made of bulk ceramic materials containing  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  that we prepare ourselves. Recently, techniques for the fabrication of thin film microbridge devices exhibiting the Josephson effect have been developed in several research laboratories. We have sought to establish collaboration with these laboratories in order to study possible applications in metrology. In one such collaboration we borrowed a thin film device from B. Mockley of Cornell University, Ithaca, New York (USA). With the thermosonic bonding machine used for the preparation of our quantum Hall effect samples, we

were eventually able to make reliable bonds to the Ag contact pads of the  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$  films and test seven devices on a single substrate. Although only one device exhibited the Josephson effect, and this with only a very small critical current, the device showed particularly strong coupling to the microwave radiation. As thin film devices become more widely available, we hope to establish other collaborative efforts with device manufacturers.

Our tests of magnetic field attenuation in a 15 mm (inside diameter) tube of high- $T_c$  composite (*see* Director's Report 1991) indicate an attenuation factor of up to 300 at 1 kHz.

Tests of the technique we have developed for fabricating low-resistance solder contacts to  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$  materials show (contact resistance)  $\times$ (contact area) products as small as  $1,5 \times 10^{-9} \Omega \cdot \text{cm}^2$ , a result approaching the best of those published in the literature.

### **5.5. Study of possible increase in magnetic disturbance at the BIPM** (T. J. Witt)

In December 1991 it came to our attention that a proposal had been made by the SNCF and the RATP to convert the existing railroad line along the river Seine, approximately 400 m east of the Pavillon de Breteuil, to a tramway line. Since the anticipated frequency of trams is one every two minutes during rush hours, we decided to study the possible perturbing effects on certain sensitive measuring equipment, particularly the flexure strip balance. This instrument is potentially sensitive to variations in the horizontal component of magnetic flux density of as little as 0,1 nT. The projected tramway, of a type already in service at Grenoble and Nantes, operates on direct currents of up to 750 A.

To study the problem, we contacted the SNCF engineers heading the tramway project and they have been cooperative in providing information. At the same time we carried out magnetometric measurements in the BIPM library and garden, locations relatively free of local disturbance, to evaluate the present level of magnetic interference. Our observations showed variations of flux density ranging from about 2 nT at night (from 2 h 00 to 5 h 00) to a maximum of 500 nT during the day.

We contacted D. Gilbert, director of the Observatoire Magnétique National (France) who has had considerable experience with the problem of man-made magnetic interference. He kindly offered to accompany T. J. Witt and R. S. Davis to Grenoble, with two sensitive magnetometers from the Observatoire and one from the BIPM, to measure the perturbations created by the tramway. This was done on 4 June 1992. At approximately 50 m from the tracks we measured changes of flux density of about 50 nT in the horizontal plane and about 250 nT in the vertical plane as trams passed the magnetometer. At a distance of 100 m from the tracks, the horizontal component decreased to 20 nT.

We conclude that the additional magnetic field disturbances due to the tramway in Sèvres will be less severe than perturbations already existing at the Pavillon de Breteuil. Particularly sensitive instruments must be shielded or operated during the night, or both. We are pleased to acknowledge the help of D. Gilbert in this investigation.

## 5.6. Comparisons and routine calibrations

This year, routine calibrations were carried out on the following systems: bare cells for Romania; Zener diode standards at 1,018 V and 10 V for Belgium, Ireland, South Africa, Portugal and Israel; 1  $\Omega$  resistors for Belgium, Ireland, South Africa, Yugoslavia and Spain; 100  $\Omega$  resistors for Belgium; and 10 k $\Omega$  resistors for Belgium, Portugal, South Africa, Romania and Spain.

## 5.7. Publications, lectures, travel: Electricity section

### 5.7.1. External publications

1. DELAHAYE F., An AC-Bridge for Low-Frequency Measurements of the Quantized Hall Resistance, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1991, **40**, 883-888.
2. DELAHAYE F., BOURNAUD D., WITT T. J., Report on the 1990 International Comparison of 1  $\Omega$  and 10 k $\Omega$  Resistance Standards at the BIPM, *Metrologia*, 1992, **29**, 273-283.
3. DELAHAYE F., DC and AC Techniques for Resistance and Impedance Measurements, *Metrologia*, 1992, **29**, 81-93.
4. HENDERSON L. C. A., REYMANN D., WITT T. J., NPL/BIPM Comparison of Josephson Voltage Standards, *Meas. Sci. Technol.*, 1992, **3**, 1011-1013.

### 5.7.2. Lectures and presentations

F. Delahaye attended the 7th EUROMET meeting of experts on the quantum Hall effect (SP, Borås, Sweden, 31 March-1 April 1992) where he presented the results of the 1990 International Comparison of 1  $\Omega$  and 10 k $\Omega$  standards.

T. J. Witt, F. Delahaye and D. Reymann attended the CPEM'92 (Paris, 9-12 June 1992), and gave the following lectures:

"The role and activities of the electricity section of the BIPM" (T. J. Witt) ; see also *CPEM'92 Digest*, 1992, 4-5;

"Accurate AC measurements of standard resistors between 1 Hz and 20 Hz" (F. Delahaye and D. Bournaud); see also *CPEM'92 Digest*, 1992, 85-86;

"International comparisons of Josephson-array voltage standards" (D. Reymann and T. J. Witt); see also *CPEM'92 Digest*, 1992, 364-365.

F. Delahaye was co-author of a joint BIPM - BNM/LCIE - LEP presentation given at CPEM'92 and entitled "Report on a joint BIPM-EUROMET project for the fabrication of QHE samples by the LEP"; see also *CPEM'92 Digest*, 1992, 356-357.

### 5.7.3. Travel (committees, visits to laboratories and institutions)

T. J. Witt and D. Reymann visited: the NIST, Gaithersburg (USA), 14-18 October 1991; the NRC, Ottawa (Canada), 21-24 October 1991; the NPL, Teddington (United Kingdom), 27-30 January 1992; the ETL, Tsukuba (Japan), 27 March-6 April 1992, for comparisons of Josephson arrays, visits and discussions with colleagues on voltage and resistance metrology, Josephson arrays and high- $T_c$  superconductivity. D. Reymann visited: the LCIE, Fontenay-aux-Roses (France), for the same purpose.

T. J. Witt visited: the School of Applied and Engineering Physics, Cornell University, Ithaca, New York (USA), 26 October 1992, for discussions on the Josephson effect in thin film high- $T_c$  superconductors, and to pick up a Josephson device.

T. J. Witt and D. Reymann visited: the École Supérieure de Physique et de Chimie Industrielle, Paris, 22 April 1992, to discuss the fabrication of thin film devices of high- $T_c$  superconducting material.

T. J. Witt attended the 4th meeting of EUROMET contact persons in electricity, 7-8 November, 1991 at the PTB, Braunschweig (Germany). He reviewed the activities of the electricity section at the BIPM, emphasizing the 1990 resistance comparison and the comparisons of Josephson-array voltage standards.

T. J. Witt attended the EUROMET meeting on single electron tunnelling and quantum current standards at the VSL, Delft (Netherlands), 17-18 February 1992. On February 19th he visited the electrical metrology laboratories at the VSL.

### 5.8. Activities related to external organizations

T. J. Witt and F. Delahaye served as members of the Technical Programme Committee of CPEM'92 and attended its meetings on 10 December 1991 at the offices of the Société des Électriciens et Électroniciens (SEE), Paris, and on 21-22 January 1992 at the LCIE, Fontenay-aux-Roses (France).

F. Delahaye is a member of the IEC Working Group on General Concepts in Electrotechnology.

### 5.9. Visitors to the Electricity section

Mr W. M. P. Marais (CSIR, Pretoria, South Africa), 1 October 1991.

Mrs V. Spasić-Jokić (SZMDM, Beograd, Yugoslavia), 6 December 1991.

Mr D. Gilbert (Director of the Observatoire Magnétique National and physicist at the Institut de Physique du Globe de Paris), 24 January 1992.

Mr P. Hetherington (EOLAS, the Irish Science and Technology Agency, Dublin, Ireland), 7 February 1992.

Mr C. Andrikidis (CSIRO, Lindfield, Australia), 3 June, 1992.

Messrs M. Cage, R. Dziuba, R. Elmquist, B. Waltrip, N. Oldham and S. Avramov (NIST, Gaithersburg, USA), 8 June 1992.

Messrs M. K. Yoshihiro and A. Iwasa (ETL, Tsukuba, Japan), and Mr H. Yoshida (Advantest Sendai Laboratories, Sendai, Japan), 8 June 1992.

Prof. Liu Ruimin (NIM, Beijing, People's Rep. of China), 17 June 1992.

Mr T. Endo (ETL, Tsukuba, Japan), 17-19 June 1992.

Mrs I. Diaconescu (INM, Bucharest, Romania), 23-25 June 1992.

Mrs A. Singhabhandhu (Physics and Engineering Division, Department of Science Service, Bangkok, Thailand), 13 July 1992.

## **6. Radiometry, photometry, thermometry and pressure (J. Bonhoure)**

### **6.1. Radiometry (R. Köhler, R. Goebel)**

Work this year has concentrated on the international comparison of spectral responsivity of silicon photodiodes, mentioned in last year's report.

The BIPM acted as pilot laboratory for a small working group established to decide how the comparison should be carried out. The group decided that each participating laboratory should receive three photodiodes fitted with windows (Hamamatsu type S1337-1010BQ, with quartz window) and a single trap detector formed from three windowless photodiodes of the same type. The group also set conditions for the use of this equipment, including the beam diameter and the spectral domain to be employed (21 wavelengths were specified for the study). The experimental arrangement for the comparison at the BIPM has undergone extensive trials and checks to demonstrate the repeatability of the measurements.

Of the seventeen laboratories offered the chance to participate, replies were received from fourteen, thirteen of them being positive. To provide a reserve, 15 batches of detectors were prepared. In total, 50 photodiodes with windows and another 50 windowless photodiodes for the trap detectors were purchased. The mechanical design of the trap detectors is of BIPM origin and all were constructed in the BIPM workshop.

The relative spectral responsivity of each detector was measured relative to a set of four photodiodes, at least twice, at all 21 specified wavelengths. Each diode was also measured to confirm the spatial uniformity of its responsivity in the UV ( $\lambda = 365,5$  nm). The shunt resistance and spatial uniformity of responsivity were measured at three different wavelengths for a representative sample of 15 detectors, and the linearity and temperature dependence of the responsivity were also measured for a smaller number of detectors.

Although not required for the international comparison, the absolute responsivities of two photodiodes were measured using a monochromator. In this study the QED-200 detector acted as an absolute reference at two wavelengths and a pyroelectric detector was used as a spectrally flat transfer device.

A pilot comparison, involving four photodiodes, was performed with the collaboration of the PTB and the NPL. This confirmed that the type of photodiode chosen has sufficient stability to act as a transfer device for the purpose of this comparison. It also allowed us to compare the BIPM radiometric scale with those of the two other participating laboratories in the wavelength range from 250 nm to 1000 nm.

The BIPM scale has also been compared, at two wavelengths, with a cryogenic radiometer at the PTB, Berlin (Germany). The two scales differ systematically by 0,15 %.

## 6.2. Photometry

As noted last year, measurements of the repeatability of the output of Russian (Spectron) and Chinese (NIM/Shanghai Ya Ming lamp factory) lamps have given satisfactory results. After fifty cycles of operation for a duration of 12 minutes, in the case of the Russian luminous flux lamps, or 8 minutes, in the case of the Chinese luminous intensity lamps, the luminous flux lamps were found to have a mean drift of about 0,25 % and the luminous intensity lamps to have a mean drift of about 0,15 %.

## 6.3. Thermometry and pressure

The study of the long-term stability of water triple point cells has continued. In particular, we have demonstrated that all the observed anomalies (sudden changes of temperature, drifts, etc.) disappear if we use solid carbon dioxide instead of liquid nitrogen to prepare the mantles of ice. The conclusion is clear: for the most accurate measurements, the use of a copper rod precooled in liquid nitrogen to prepare the mantle of ice in a water triple point cell must be avoided. Methods that lead to a much lower rate of freezing, such as cooling with solid carbon dioxide, give better results. *Supplementary Information for the International Temperature Scale of 1990* should therefore be modified in this respect.

The standard manobarmeter used for the regular calibration of gauges used in other sections of the BIPM is in urgent need of renovation. In particular, the mercury must be cleaned and the valves renewed.

## 6.4. Calibration work

Two photodiodes have been calibrated for the CERN, Geneva (Switzerland) at wavelengths between 400 nm and 800 nm.

Lamps providing standards of luminous intensity and of luminous flux were calibrated for the national laboratories of Hungary, Sweden and Yugoslavia.

## **6.5. Publications, lectures, travel: Radiometry, photometry, thermometry and pressure section**

### **6.5.1. External publications**

1. BONHOURE J., PELLO R., Observations of the behaviour of water triple point cells, In *Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 6 (Edited by J. F. Schooley), New York, American Institute of Physics, 1992, 6, 299-303.
2. MARTIN J. E., QUINN T. J., The NPL radiation thermometer: extension of its range to 450 °C, In *Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 6 (Edited by J. F. Schooley), New York, American Institute of Physics, 1992, 6, 31-35.
3. PRESTON-THOMAS H., QUINN T. J., The International Temperature Scale of 1990, In *Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 6 (Edited by J. F. Schooley), New York, American Institute of Physics, 1992, 6, 63-74.

### **6.5.2. Conferences and lectures**

T. J. Quinn attended the Seventh Symposium on "Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry" where he presented a paper, on behalf of J. Bonhoure and R. Pello, on the behaviour of water triple point cells. With J. E. Martin, he presented a paper on the NPL total radiation thermometer, and with H. Preston-Thomas, another on the International Temperature Scale of 1990.

### **6.5.3. Travel (committees, visits to laboratories and institutions)**

R. Köhler visited the PTB, Braunschweig (Germany), 18-19 May 1992 for discussions on radiometry and the PTB, Berlin (Germany), 20-22 May 1992 for calibration of BIPM detectors with the PTB cryogenic radiometer.

R. Köhler and R. Goebel visited the INM, Paris (France), 16 April 1992 to see the cryogenic radiometer and the thermometry section.

## **6.6. Activities related to external organizations**

J. Bonhoure acts as the expert in French language of the Technical Committee 7.06 "Lighting terminology" of the International Commission on Illumination.

## 6.7. Visitors to the Radiometry, photometry, thermometry and pressure section

- Mrs F. Eduarda (IPQ, Lisbon, Portugal), 17 September 1991.  
Mr O. Touayar (INM, Paris, France), 6-7 November 1991.  
Mr P. Vukadin (SZMDM, Beograd, Yugoslavia) 10-14 February 1992.  
Mr G. Grégoire (CERN, Geneva, Switzerland), 9 March 1992.  
Mr M. Krumrey (BESSY, Berlin, Germany), 24 April 1992.  
Mr K. Stock, (PTB, Braunschweig, Germany), 13 May 1992.  
Mr L. Szönyi, (OMH, Budapest, Hungary), 18-26 May 1992.  
Messrs Myung-Sai Chung and Ko Yeoung Uk (KRISS, Taejon, Rep. of Korea), 29 June 1992.

## 7. Ionizing Radiations (J. W. Müller)

Once more international comparisons have been the focus of our activity. This is true both for dosimetry, with air kerma standards, absorbed dose standards and neutron fluence measurements, and for radionuclides, with the preparation of the comparison of  $^{75}\text{Se}$  and our first participation in a comparison of pure beta emitters, made possible by the extension of the SIR to liquid scintillation counting.

Other work aims mainly at improving or extending our measurement capabilities (e.g. calorimetry in dosimetry) and, occasionally, at developing new measuring methods which, if successful, may later become standard techniques (as in the parity method for measurement of activity).

### 7.1. Dosimetry (M. Boutillon and V. D. Huynh)

#### 7.1.1. Gamma rays and X rays (M. Boutillon and A.-M. Perroche)

##### i) *Determination of the half-life of $^{60}\text{Co}$*

The measurement of air kerma, performed at the BIPM during the past ten years in very stable conditions, has been used to determine a value for the half-life,  $T_{1/2}$ , of  $^{60}\text{Co}$  (see figure 7.1, p. 195). Prior to the calculation of  $T_{1/2}$ , minor corrections were applied to the data to take into account the small variations of the distance between the standard and the source, due to the dilatation of the building between winter and summer. A drift in the measurement of atmospheric pressure during this period, attaining 0,02 %, has also been included. The result  $T_{1/2} = (1\,924,6 \pm 0,3)$  d is in good agreement with recently published values.

##### ii) *Absorbed dose measurements*

The work described in this section concerns measurements performed in the gamma radiation of  $^{60}\text{Co}$ .



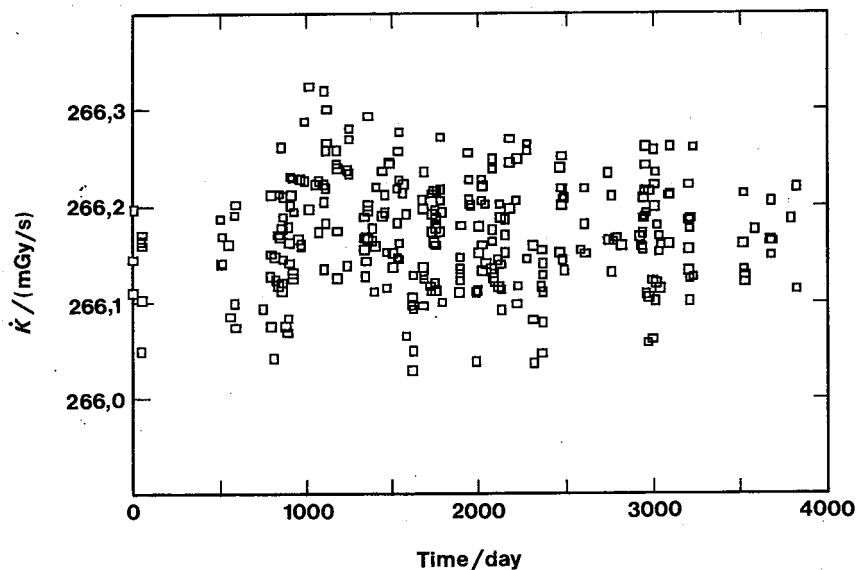


Fig. 7.1. — Measurements of air-kerma rate performed at the BIPM. The values are given for the reference date 1980-01-01, using the experimental value of the  $^{60}\text{Co}$  half-life.

—  $C_{\lambda}^K$  factors for secondary standards

Secondary standards are usually calibrated in terms of air kerma. When they are used to measure the absorbed dose to water, the so-called  $C_{\lambda}^K$  conversion factor is needed. This is defined as the ratio  $N_D/N_K$ , where  $N_D$  and  $N_K$  are the calibration factors in terms of absorbed dose to water and air kerma, respectively. Evaluations of this factor, performed under various protocols, provide values with an uncertainty of 1 % or more.

As both  $N_D$  and  $N_K$  may be measured directly at the BIPM for any chamber, the factor  $C_{\lambda}^K$  has been determined experimentally, at a depth of 5 cm in water, for eleven commercial chambers of types NEL 2561, NEL 2571, Capintec C, Capintec G, T1 Exradin and T2 Exradin. It has been found that for chambers of the same type, the factor  $C_{\lambda}^K$  is constant to better than 0,5 %. It is interesting also to note that measurements made with two different chambers at a depth of 17 cm in water show that  $C_{\lambda}^K$  does not vary by more than 0,1 % from 5 cm to 17 cm. This result is of practical interest when the chambers have to be used at different depths in water. The values of  $C_{\lambda}^K$  given in the IAEA protocol have been compared with the BIPM values. The difference is 1 % or less for the NEL and Capintec chambers, but rises to 2 % for the Exradin type.

— Calorimetry

A system has been built for the control of the water temperature. The temperature drift obtained without irradiation is of the order of 0,005 mK/min and appears to be constant over periods of time of more

than one hour. The measurement of absorbed dose is made at 20 °C, at a depth of 6 cm in water, and the beam is horizontal. In these conditions, the convection of the water has drastic effects: when no convection barrier is used, the temperature increase due to a 10 min irradiation by the  $^{60}\text{Co}$  beam is only 30 % of that expected.

Perspex cylinders, 5 cm long and with diameters varying from 3 cm to 7 cm, have been used as convection barriers. They can be fixed to the thermistor assembly by means of thin nylon threads. The improvement thus obtained appears to be best when a combination of two cylinders of diameters 5 cm and 7 cm is used. However, even in this case, the temperature drift after irradiation is still large and non linear, and requires long waiting periods between measurements. A modification of the convection system is under consideration. Z. Yin, from the NIM, has participated in this work.

iii)  $^{137}\text{Cs}$  source

The acquisition of a  $^{137}\text{Cs}$  source by the BIPM was recommended by the CCEMRI Section I in 1991 because many countries have an urgent need to calibrate instruments, used in radiation protection, in a  $^{137}\text{Cs}$  beam. For financial reasons, the purchase of the source has been delayed until 1993. The set-up necessary for its installation is planned for the autumn of 1992. The air kerma measurement in the  $^{137}\text{Cs}$  radiation will be performed using a graphite ionization chamber of the same type as the standard used for  $^{60}\text{Co}$  radiation. The volume of the chamber cavity has been determined ionometrically, in a  $^{60}\text{Co}$  beam, by comparison with this standard. Now under study are corrections pertinent to the use of the chamber in the  $^{137}\text{Cs}$  beam, such as attenuation and scattering inside the chamber walls.

iv) *Comparisons and calibrations performed at the BIPM*

A comparison of air kerma standards between the SZMDM (Beograd, Yugoslavia) and the BIPM has been performed in  $^{60}\text{Co}$  gamma radiation. The correction factors were determined at the SZMDM. As a check, some were measured again in the BIPM beam. The result of the comparison,  $K_{\text{SZMDM}}/K_{\text{BIPM}} = 0,9982 \pm 0,0020$ , shows good agreement between the two standards.

A comparison of air kerma standards between the NMI (Bilthoven, Netherlands) and the BIPM has also been performed in  $^{60}\text{Co}$  gamma radiation and in the medium-energy X-ray range. The final results are not yet known because additional checks have to be made at the NMI.

Five ionization chambers, used as secondary standards at the SRPI (Stockholm, Sweden), were calibrated in terms of air kerma in the low- and medium-energy X-ray range, and in the  $^{60}\text{Co}$  gamma radiation. Some of these instruments have been calibrated periodically at the BIPM in the course of the past fifteen years and their calibration factors have not changed significantly.

An ionization chamber ( $\phi = 14$  cm), specially designed by the ÖFS (Seibersdorf, Austria) for use in radiation protection dosimetry, has been calibrated in terms of ambient dose equivalent in  $^{60}\text{Co}$  gamma radiation. The calibration factor obtained has an uncertainty of 0,34 %.

The determination of absorbed dose to water at the IAEA is now based on the calibration of an IAEA transfer chamber (type NE 2561) in terms of absorbed dose to water, performed at the BIPM in June 1991. Four sets of thermoluminescent dosimeters were irradiated (2 Gy) for the IAEA in the BIPM water phantom, from October 1991 to June 1992. The result of the first irradiation shows an agreement better than 0,5 % between the IAEA and the BIPM. One can note that, before 1991, the IAEA value was derived from a BIPM calibration in terms of air kerma by using the  $C_{\lambda}^K$  value of the IAEA protocol and the agreement was of the order of 1 %.

### 7.1.2. Neutron measurements (V. D. Huynh)

#### i) *International comparison of neutron fluence measurements*

The comparison of neutron fluence measurements using two Bonner spheres for energies of 2,5 MeV and 14,7 MeV, undertaken by the BIPM, PTB, CBNM, and NPL, left several unresolved problems. Section III of the CCEMRI, at its 1991 meeting, requested that further measurements be made at the BIPM to clarify the situation by checking the stability of the detector system and determining the effect on detector response of neutron interactions with the neutron-producing targets.

For both Bonner spheres, several series of measurements were made of the detector response over a range of distances up to 2,5 m in the BIPM standard 2,5 MeV and 14,7 MeV neutron fields. Measurements using the normal "thin" target configurations indicated that the detector sensitivity had remained constant. Measurements using a double thickness of target backing enabled the target scattering effect to be determined and the measured responses to be corrected by amounts ranging from 1,5 % for the most favourable energy/sphere combination to 10 % for the worst case. Good agreement was obtained with the NPL results. The PTB and CBNM values were generally higher, but the latter laboratory had not corrected for target-scattering effects.

It should be mentioned that the two moderating polyethylene spheres have been given to the BIPM by the NPL and, fitted with a central  $^3\text{He}$  proportional counter supplied by the BIPM, are used as a reference transfer instrument system for circulation, on request, to other laboratories.

#### ii) *Neutron spectrometry*

Two Monte-Carlo codes for the calculation of the neutron response functions and the detection efficiencies of NE 213 liquid scintillation detectors, have been supplied by the PTB. A study of these codes to adapt

them to the situation corresponding to the BIPM experimental conditions is in progress.

## 7.2. Radionuclides (J. W. Müller)

### 7.2.1. Activity measurements (G. Ratel)

#### i) *International comparison of $^{75}\text{Se}$ activity measurements*

Considerable time has been given to organizing the international comparison of  $^{75}\text{Se}$  activity measurements requested by Section II of CCEMRI at its 1991 meeting. The BIPM contacted twenty-six laboratories and received twenty-one positive answers. This was the first occasion that the BIPM had taken responsibility for the preparation of the active solution and ampoules for an international comparison. Because of the risk that impurities might be present, two solutions were purchased. Each was in the form of an aqueous solution of sodium selenite with a pH in the range 8 to 9 and had a total activity of about 185 MBq. The solutions came from Poland and the United Kingdom.

The two solutions, designated A and B, were diluted and 67 flame-sealed ampoules were prepared, each of about 3,3 g of solution, which corresponds approximately to the mass prescribed for measurements in the SIR. Independent impurity checks, made at the NIST and the PTB, led to the conclusion that both solutions were suitable. All ampoules were also checked using the ionization chambers of the SIR (*see below*). The ampoules were dispatched by the LMRI in May 1992. The reference date for the comparison is 1 June 1992.

#### ii) *International reference system for measuring the activity of gamma-ray emitting radionuclides (SIR)*

Since October 1991, eight laboratories (ANSTO, CNEA, LPRI, NAC, NIST, OMH, PTB and VNIIM) have submitted sixteen ampoules to the BIPM filled with thirteen radioactive solutions, namely  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{75}\text{Se}$ ,  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{113}\text{Sn}$ ,  $^{124}\text{Sb}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{133}\text{Xe}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{141}\text{Ce}$ ,  $^{201}\text{Tl}$  and  $^{207}\text{Bi}$ . A new attempt at measuring an ampoule filled at the NIST with gas at a pressure of 33,9 kPa was successful. The radionuclide,  $^{133}\text{Xe}$ , has a short half-life ( $T_{1/2} = 5,2$  d). For this reason, and because of the low response of the chamber to the gamma rays of about 80 keV, a source with a very high activity (2 GBq) was sent to the BIPM. A new type of ampoule, with thicker walls, had to be designed for this purpose. The preliminary results, which are not corrected for possible impurities, agree well with the empirical efficiency curve in this energy region, as shown on figure 7.2. Another radionuclide,  $^{124}\text{Sb}$ , has also been measured for the first time with the SIR: again the results are satisfactory.

The ionization chambers of the SIR were also used to check the 67 ampoules of  $^{75}\text{Se}$  (33 for solution A and 34 for solution B), prepared for the international comparison. The results obtained are in excellent agreement, as can be seen from figure 7.3 (see p. 200). The overall spread in the results is 0,4 % for solution A and 0,3 % for solution B.

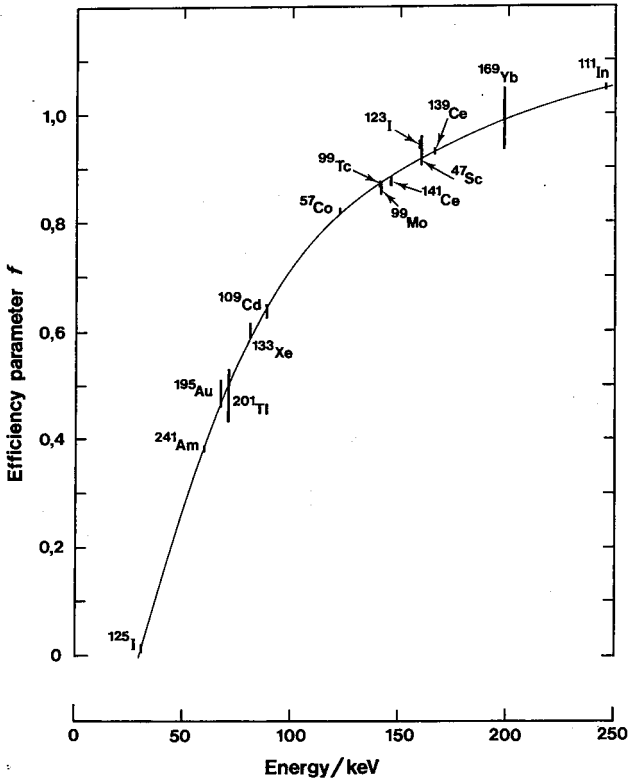


Fig. 7.2. — Efficiency as a function of photon energy for the SIR ionization chamber. Only the region close to the energy of the gamma rays of  $^{133}\text{Xe}$  is shown. (For the definition of  $f$ , see, for instance, A. RYTZ, *Int. J. Appl. Radiat. Isot.*, 1983, 34, 1047).

iii) *Extension of the SIR to  $\beta$ - and  $\alpha$ -ray emitting radionuclides*

The BIPM has taken part in the comparison of pure  $\beta$ -ray emitting radionuclides ( $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$  and  $^{99}\text{Tc}$ ), organized among six laboratories by the NIST. Such an exercise is of high interest because it enables a check to be made not only of the experimental techniques (i.e. liquid scintillation devices) and computational procedures, but also of the long-term stability of the scintillator and its behaviour under important changes in external conditions (pressure and temperature). Thirty-five ampoules were measured at the NIST at the beginning and at the end of the comparison. Twelve ampoules of  $^3\text{H}$ , quenched with chloroform, the activities of which were

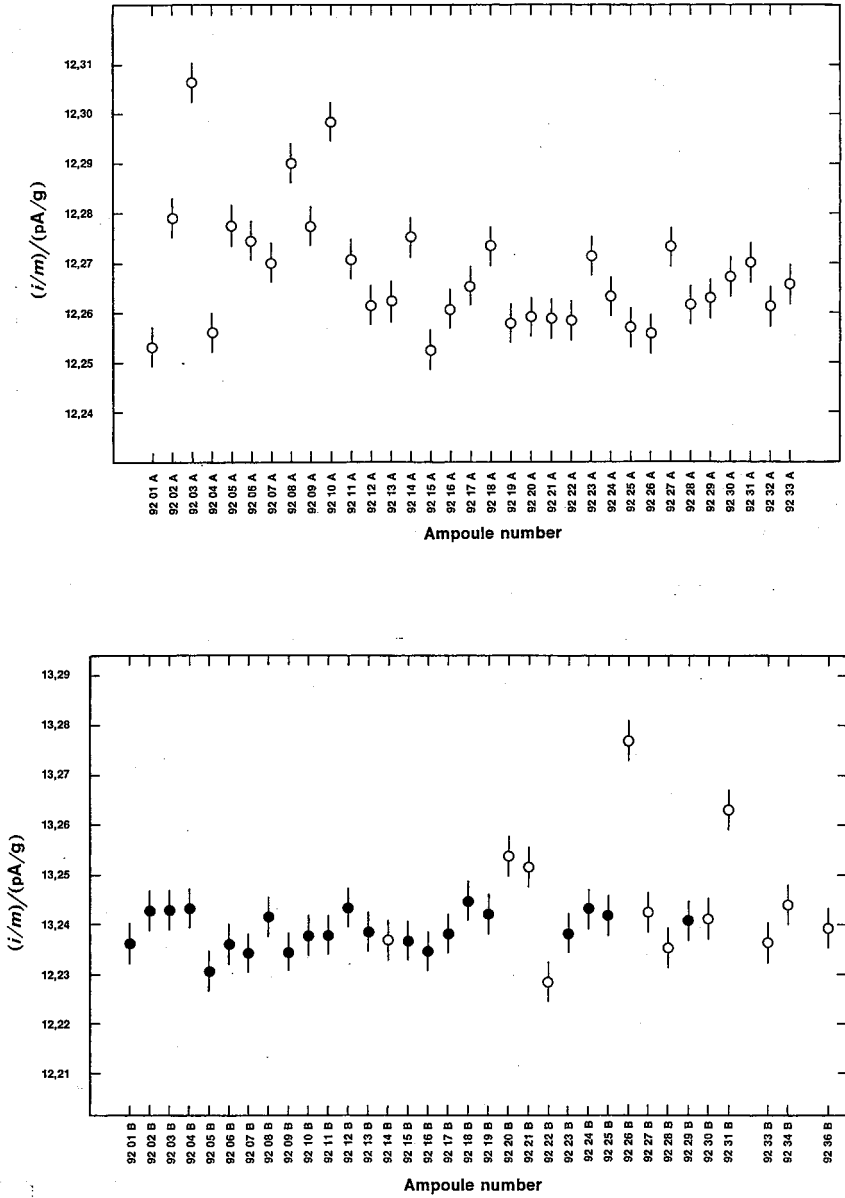


Fig. 7.3. — Distribution of activity concentrations, for ampoules with solutions A and B, measured by the SIR ionization chambers. The reference time is 1 April 1992, 0 h UT. The black circles indicate the ampoules sent to the participants.

very well known, were used to determine the link between the efficiency and a parameter which indicates the quenching of the samples. At the BIPM, the so-called H number was used for this purpose. The relationship between this number and the characteristics of the experimental device was determined by means of a program based on the CIEMAT-NIST approach.

For the reference date of 3 September 1990 the following activities were obtained at the BIPM:  $A(^{14}\text{C}) = (54,14 \pm 0,11)$  kBq/g,  $A(^{99}\text{Tc}) = (36,94 \pm 0,07)$  kBq/g. A report summarizing the results of the measurements obtained at the six laboratories is being prepared at the NIST.

### 7.2.2. Counting statistics (J. W. Müller)

The recently suggested "parity method" for experimentally determining the activity of a source by measuring the frequency with which the registered beta and gamma pulses, counted repeatedly in a given short time interval  $t$ , occur in a number  $k$  which is odd, has been well received and is about to be used in other laboratories.

The simplicity and generality of the approach imply that it is also suitable for radionuclides with an isomeric state, an advantage related to the fact that no coincidences are performed. However, the method requires not only new and highly reliable electronic circuits (developed by P. Bréonce), but also the application of some elaborate corrections which first have to be derived. This concerns, in particular, dead-time corrections for the parities measured in the two channels.

The observed probability distribution  $W(k)$  for counting  $k$  events in a given time interval  $t$ , for an original count rate  $\rho$  and a distorting dead time  $\tau$ , can be brought into the form

$$W(k) = P(k) (1 + c_1 x + c_2 x^2 + \dots),$$

where  $P(k)$  follows the Poisson law and  $x = \rho\tau$ . Once the coefficients  $c_1, c_2, \dots$  have been evaluated (for both types of dead time), the effect on the parity  $\Pi$  must be determined. Since  $\Pi$  is defined as the probability of observing an odd number of events, i.e.

$$\Pi = \sum_{k \text{ odd}} W(k),$$

the effect due to  $\tau$ , included in the observed value, is given by

$$\Delta\Pi = \sum [W(k) - P(k)] = x \sum c_1 P(k) + x^2 \sum c_2 P(k) + \dots,$$

where the sums extend only over odd values of  $k$ .

As the result of a lengthy calculation, in which a theorem on "parity moments" [BIPM WPN-235] is used, it is found that the change of the

parity, for a stationary process, takes the form (up to second order in  $x$  and for  $\tau \ll t$ )

$$\Delta\Pi = x e^{-2\mu} \left\{ \mu - x \left[ 1 - \left( 2 + \frac{\theta}{2} \right) \mu + \mu^2 \right] \right\},$$

where  $\mu = \rho t$  is the mean number of pulses arriving in  $t$ , while the parameter  $\theta$  characterizes the dead time ( $\theta = 0$  for a non-extended type,  $\theta = 1$  for an extended type).

This change is in good agreement with the measurements made, as shown in figure 7.4. The fact that it is positive, reminds us that dead times make a process more uniform and reduce the difference in the probabilities for an even or an odd number of events. An evaluation of the third-order term is planned (for  $\theta = 1$ ) as well as an attempt to determine the correction applicable to the sum of two radiations which are correlated.

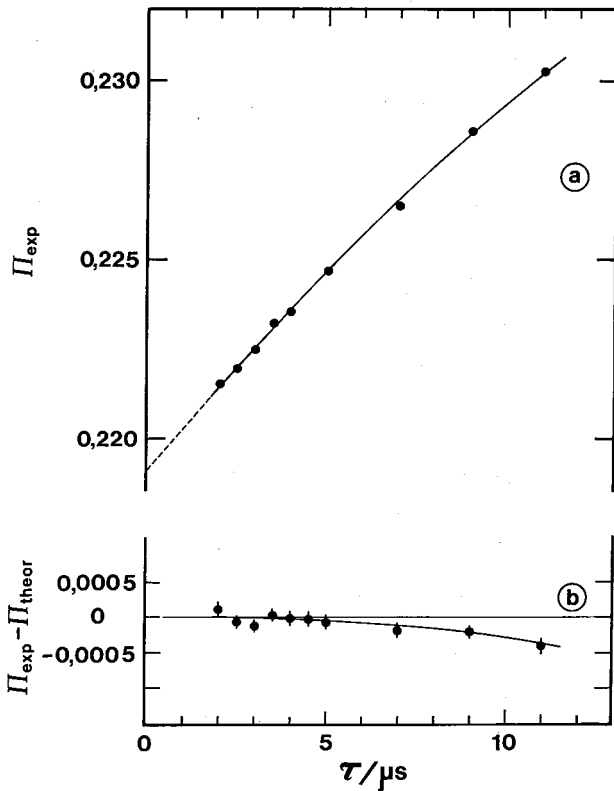


Fig. 7.4. — Measurement of the parity  $\Pi$ , for the values  $\rho \cong 7\,200\text{ s}^{-1}$  and  $\tau \cong 40\ \mu\text{s}$ , as a function of a dead time  $\tau$  of the extended type. Each point is based on ten measurements of 100 s.

a) Experimental results.

b) Difference between measured and calculated parities (up to second order in  $x$ ).



The above corrections are essential for the interpretation of current experiments which should allow a direct measurement of the fraction of delayed disintegrations occurring in the decay of  $^{75}\text{Se}$ , the nuclide chosen for the next international comparison of activity measurements.

### 7.3. Publications, lectures, travel: Ionizing Radiations section

#### 7.3.1. External publications

1. ALLISY A., JENNINGS W. A., KELLERER A. M., MÜLLER J. W., ROSSI H. H., Quantities and Units for Use in Radiation Protection, *ICRU News*, 1991, **2**, 5-9.
2. HUYNH V. D., BIPM neutron dosimetry comparison based on the circulation of a set of transfer instruments, *Radiation Protection Dosimetry*, 1992, **44**, 111-113.
3. HUYNH V. D., BIPM Neutron-Dosimetry Intercomparison, *Metrologia*, 1992, **29**, 295-299.
4. RATEL G., Trial comparison of the measurement of the activity of  $^{75}\text{Se}$ , *Nucl. Instrum. Methods*, 1992, **A312**, 201-205.
5. RATEL G., Activity concentration of a solution of  $^{133}\text{Ba}$ : results of an international comparison, *Nucl. Instrum. Methods*, 1992, **A316**, 318-323.

#### 7.3.2. BIPM reports

6. BOUTILLON M., PERROCHE A.-M., Determination of absorbed dose to water for  $^{60}\text{Co}$  by the scaling theorem, *Rapport BIPM-92/1*, February 1992, 8 pages.
7. MÜLLER J. W., Harry, Rolf and Richard - or Is there anything new in uncertainties?, *Rapport BIPM-91/7*, December 1991, 5 pages.
8. MÜLLER J. W., How to detect a decay distortion in Poissonian data, *Rapport BIPM-92/2*, February 1992, 6 pages.
9. MÜLLER J. W., Parity moments for a Poisson variable, *BIPM Working Party Note 235*, March 1992, 3 pages.
10. PERROCHE A.-M., BOUTILLON M., Measuring conditions used for the calibration of ionization chambers at the BIPM, *Rapport BIPM-91/5*, October 1991, 11 pages.
11. PERROCHE A.-M., SPASIĆ-JOKIĆ V., Comparison of air kerma standards of SZMDM and BIPM for  $^{60}\text{Co}$  radiation, *Rapport BIPM-92/3*, March 1992, 6 pages.

### 7.3.3. Travel (committees, visits to laboratories and institutions)

J. W. Müller visited:

— the ENEA, Casaccia, Roma (Italy), 25 October 1991, where he gave an invited lecture entitled "Evaluation of measurement uncertainties according to the BIPM recommendation";

— the NMI, Delft (Netherlands), 27 April 1992, where he gave a lecture on "Measurement uncertainties: old and new approaches"; he also visited the Department for Ionizing Radiation Standards at Bilthoven;

— Delft (Netherlands), 28-29 April 1992, for a meeting of the EUROMET Committee;

— the LGAI, Bellaterra (Spain), 12 June 1992, Eurolab Workshop on Uncertainties in Testing;

— the OFM, Wabern (Switzerland), 6 July 1992, for an invited lecture entitled "Altes und Neues zur Bestimmung von Messunsicherheiten".

V. D. Huynh attended the 7th Symposium on Neutron Dosimetry, Berlin, 14-18 October 1991, and presented a poster entitled "BIPM neutron dosimetry comparison based on the circulation of a set of transfer instruments".

G. Ratel visited:

— the LNMRI, Rio de Janeiro (Brazil), 18 August 1992, where he gave a lecture on "Activity measurement of a solution of  $^{75}\text{Se}$ ";

— the INMETRO, Rio de Janeiro (Brazil), 20 August 1992;

— the IPEN, São Paulo (Brazil), 31 August 1992, where he had discussions on the results of the  $^{75}\text{Se}$  comparison;

— Vienna (Austria), 14-18 September 1992, where he attended the International Conference on Advances in Liquid Scintillation Spectrometry.

### 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 the 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, a member of the Scientific Committee "Mesures Physiques et Métrologie" of the INM (Paris), and 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, France) continues her participation in the work of the Ionizing Radiations section (Dosimetry) as she has done since 1961.

Mr Z. Yin (NIM, Beijing, People's Rep. of China) worked with the dosimetry group from April 1991 to April 1992.

Mrs V. Spasić-Jokić (SZMDM, Beograd, Yugoslavia) stayed at the BIPM from 9 to 11 December 1991 for the comparison of the air-kerma standard of her laboratory in the  $^{60}\text{Co}$  gamma radiation.

Mr T. W. M. Grimbergen and Mr E. Van Dijk (NMI, Bilthoven, Netherlands) stayed at the BIPM from 16 to 20 December 1991 for the comparison of the air kerma standards of their laboratory in the medium-energy X rays and the  $^{60}\text{Co}$  gamma radiation.

Dr V. E. Lewis (NPL, Teddington, United Kingdom), the Chairman of Section III of CCEMRI, stayed at the BIPM from 10 to 29 May 1992, and participated in some of the work on the comparison of neutron fluence measurements with the Bonner spheres.

Dr I. Kovar and Mr R. Wagner (UDZ, Praha, Czechoslovakia) stayed at the BIPM from 14 to 18 September 1992; they compared the air-kerma standard of their laboratory and calibrated transfer instruments in the  $^{60}\text{Co}$  gamma radiation.

### 7.5.2. Visitors

Dr B. Vaucher (OFM, Wabern, Switzerland), 4 October 1991.

Dr Lea Contier de Freitas (LNMRI, Rio de Janeiro, Brazil), 7-8 October 1991.

Dr Mauro Corrêa Fagundes (INMETRO, Duque de Caxias, Brazil), 9 October 1991.

Mrs Saravi de Fernandez Gianotti (CNEA, Buenos Aires, Argentina), 26 March 1992.

A group of Swedish teachers, 29 April 1992.

Dr H. Janssen (PTB, Braunschweig, Germany), 2-3 June 1992.

Mr O. Gullberg (SRPI, Stockholm, Sweden), 25 June 1992.

Dr E. Schönfeld (PTB, Braunschweig, Germany), 21-22 September 1992.

## IV. — PUBLICATIONS OF THE BIPM

### 1. General publications

Since July 1991 the following have been published:

*19<sup>e</sup> Conférence Générale des Poids et Mesures, Comptes Rendus*, 1991, 191 pages.

*Procès-Verbaux des Séances du Comité International des Poids et Mesures*, Tome 59, 80th meeting, September 1991, 221 pages.

*Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie*, 12th meeting, 1990, 47 pages.

*Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants*, 12th meeting, 1991, 170 pages.

*Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées*, 4th meeting, 1991, 88 pages.

*Annual Report of the BIPM time section* (1991), Vol. 4, 1992, 150 pages.

*Circular T* (monthly), 4 pages.

*The Pavillon de Breteuil*, 1991, 20 pages.

*The calibration of standards and instruments at the BIPM*, 1991, 24 pages.

## 2. Metrologia (D. A. Blackburn)

Volume 28 of *Metrologia* was published in 1991 and in the spring of 1992. In it, the usual four research issues were supplemented by a conference issue recording the proceedings of the meeting held in Davos, Switzerland, 20-22 September 1990, on "New Developments and Advances in Optical Radiometry III" and by a single-topic issue devoted to recent work on *nanometrology*. This pattern is being repeated in Volume 29, the first issue of the year being a research issue, the second a series of eight reviews on the topic of *electromagnetic measurement*. This review issue was distributed at the CPEM'92 in Paris.

In Volume 28, 77 articles were published: 31 research articles, 39 conference articles and 7 review articles. In the year 1 January to 31 December 1991, 46 research manuscripts were submitted for publication. Of these 24 were published, 8 await publication, 11 were refused publication and 3 remain under consideration. From 1 January to 30 May 1992, 12 articles were submitted. At 31 May 1992, 3 of them had been accepted for publication, 3 had been refused and 6 remained under consideration.

Because of production difficulties occasioned, in part, by the greatly increased volume of material, the last two issues of Volume 28 were published in 1992. In an attempt to clear this backlog, the printing of *Metrologia* has been transferred to Gauthier-Villars of Paris. This change renews an old relationship since Gauthier-Villars were the printers of all BIPM reports from 1875 to 1962. We hope that this new collaboration will prove to be as durable as the first.

## V. — MEETINGS AND LECTURES AT THE BIPM

### 1. Meetings

The CCE met from 15 to 16 June 1992.

The CCDM met from 9 to 11 September 1992.

The CIPM met from 29 September to 1 October 1992.

## 2. Lectures

The following lectures were given at the BIPM as part of the regular schedule of seminars.

D. A. Blackburn: Université: conception, réalisation et développement, 25 October 1991.

M. Devoret (CEA, Saclay): L'électronique à un électron, 11 December 1991.

P. Bouchareine (Institut d'Optique, Paris): Longueurs d'ondes en optique et interférométrie, 22 January 1992.

W. Tew: Recent measurements concerning the SI watt at NIST, 19 February 1992.

J.-M. Chartier: Lasers asservis au BIPM, 1972-1992, 18 March 1992.

P. Tavella (IEN, Italy): Algorithmes d'échelles de temps: concepts, modèles et applications, 15 April 1992.

J. Laskar (Bureau des Longitudes): La stabilité du système solaire, 20 May 1992.

H. Janssen (PTB, Germany): Recent work of the Radioactivity Group at the PTB, 3 June 1992.

## VI. — CERTIFICATES AND NOTES OF STUDY

In the period from 1 October 1991 to 30 September 1992, 39 Certificates and 4 Notes of Study were delivered.

For a list of Certificates and Notes, see page 95-97.

## VII. — ACCOUNTS

Details of the accounts for 1991 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 98-102.

The headings for the tables may be translated as follows:

<b>Compte I – Fonds ordinaires</b>	<b>Account I – Ordinary funds</b>
<b>Compte II – Caisse de retraites</b>	<b>Account II – Pension fund</b>
<b>Compte III – Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique</b>	<b>Account III – Special fund for the improvement of scientific equipment</b>
<b>Compte IV – Caisse de prêts sociaux</b>	<b>Account IV – Special loans fund</b>
<b>Compte V – Réserve pour les bâtiments</b>	<b>Account V – Building reserve</b> This account has had a balance of zero since 31 December 1989, with no changes registered since that date.
<b>Compte VI – Metrologia</b>	<b>Account VI – Metrologia</b>

Two additional tables detail the payments made against budget in 1991 and the balance of accounts at 31 December 1991. This is done under the headings:

DÉTAIL DES DÉPENSES BUDGÉTAIRES

STATEMENT OF BUDGETARY EXPENDITURE

**Bilan au 31 décembre 1991**

**Balance at 31 December 1991**

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.

---

## OBITUARIES

---

Jean TERRIEN

1907-1992

---

Jean Terrien, Director Emeritus of the Bureau International des Poids et Mesures (BIPM), died on 3 March 1992 at the age of eighty-five.

In 1927, after completing his secondary education at Bordeaux, he attended the École Normale Supérieure, where he obtained the Agrégation en Sciences Physiques in 1931. He spent a year in Amsterdam at the Peter Zeeman Laboratory, to which he owed his fluency in the Dutch language, a rare accomplishment for a French physicist. He then returned to the Eugène Bloch Laboratory where he worked for his doctorate (1937) on the photodissociation of copper halogens. This work led him to study the spectrophotometry of visible and ultraviolet radiation using the methods of the day, methods which seem rather primitive to us. He did, however, achieve results which revealed a talent for carrying out fine metrology with modest means.

He joined the BIPM, where he would spend his entire career, that same year. He became Deputy Director in 1952, and was Director from 1962 until his retirement in 1977.

On his arrival it was natural that he should oversee the setting up of the photometry laboratory following the decision of the Comité International des Poids et Mesures (CIPM). Ever since, this laboratory has taken responsibility for the comparison of national standards of luminous intensity and luminous flux.

During the Second World War, the BIPM and its staff experienced a period of financial difficulty. While continuing to work part-time at the BIPM, J. Terrien took on teaching responsibilities at the Institut d'Optique, with which he was to maintain close contact.

As an optician, J. Terrien was particularly interested in the use of optical interference techniques for measurements of length and for spectral analysis. This tradition, begun in 1892 by A. A. Michelson and R. Benoît, was continued at the BIPM. The "monochromatic" radiations then available were, unfortunately, complex. Their use in length measurement posed difficult problems to which A. Pérard, Director until 1952, devoted a major part of his career.

After the war, J. Terrien again tackled the problem raised but not solved by Michelson, the definition of the metre using the wavelength

of a luminous radiation source. The recent separation of virtually pure even isotopes in substantial quantities made it possible to obtain radiation-emitting sources whose spectral profile was free from hyperfine structure. This revived Michelson's project. A choice had to be made between the available isotopes, mercury, cadmium or krypton, and between the different radiations they emitted. Comparative spectral analysis and wavelength measurements carried out at the BIPM by J. Terrien, updating Michelson's almost-forgotten methods, were to prove decisive. The 11th Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM) was thus able to adopt, in 1960, a new definition of the metre based on the wavelength of the orange-red radiation of krypton-86.

In 1952 J. Terrien began the study of a photoelectric microscope comparator which allowed the lengths of line scales to be compared not only among themselves but also with the wavelengths of sources of luminous radiation, thanks to an interferential measurement of longitudinal displacements. This comparator, in service since 1964, is still used to measure line scales and gauges of 1 metre length, to a few tens of nanometres accuracy, directly in terms of the wavelength of the radiation standard of 1960 or of other radiations recommended since then.

Since it was founded, the BIPM has been interested in measuring the acceleration due to gravity. Combining the principle of "double fall" (ascent and descent) with an interferential scale marking of the passage of a moving body between two levels, whose difference in height would be precisely measured, it was hoped that this measurement could be carried out with increased accuracy. Around 1960 J. Terrien launched this project, which was crowned with success thanks to the ingenuity and rigour of the work of A. Sakuma, a physicist at the BIPM.

It was also around 1960 that the CIPM decided to set up a laboratory at the BIPM to measure ionizing radiations. To organize irrefragable experimental work on this new, vast and difficult subject, J. Terrien assembled a strong team, which from the outset has fully justified its existence. I will mention only two of the results to its credit: first, absolute measurements of the energy of the  $\alpha$  particles emitted by some radionuclides, which have provided the best references currently available in  $\alpha$  spectrometry; second, the invention of two new methods of counting correlated pulses which, like the traditional method of counting  $\beta$ - $\gamma$  coincidences, enable defects in the efficiency of the counters to be eliminated; but which, not being subject to the same limitations as the traditional method, provide invaluable verification.

In the course of his long career, J. Terrien came to take part in diverse international scientific activities concerned with the measurement standards of base quantities: a new definition of the second based on the frequency of an atomic transition of caesium (1967), and a new definition of the base unit of photometry, the candela, based on the intensity of a monochromatic radiation source (1979). He was a member of the



Commission for Symbols, Units and Nomenclature of the International Union of Pure and Applied Physics, which played a vital role in preparing for the adoption of the International System of Units (SI) in 1960. He also participated in the activities of the International Commission on Illumination (CIE) and, in particular, in the development of the International Lighting Vocabulary published jointly by the CIE and the International Electrotechnical Commission (IEC), a multilingual work which is the authority on this subject.

This brief summary can only give a superficial idea of the veritable revival of BIPM activities, in all fields, under the impetus of J. Terrien. He obtained from the French Government an extension of the grounds available to the BIPM in the Parc de Saint-Cloud, together with permission to build the new ionizing radiations laboratory. He also obtained the agreement of the CIPM and the CGPM progressively to double the number of staff, and to recruit high-calibre physicists, so as to address the new scientific problems which had to be tackled.

A reserved man, of great subtlety and distinction, he had a keen sense of international diplomacy. He never overlooked, in form or content, anything that might help resolve diplomatic problems, and he had a remarkable ability to avoid anything that might complicate them. For example, he devoted much care and attention to editing the Recommendations of the CIPM and the Resolutions of the CGPM, knowing that clarity and simplicity favour their translation into other languages, lead to their application in other countries and, in the end, contribute to the worldwide unification of measurements. His discretion concealed tremendous energy and deep integrity. It could also lead to the underestimation of the importance of his personal contributions to the advancement of metrology. Yet he made a profound impression on world metrology, to which he devoted forty years of his life.

P. GIACOMO  
September 1992

---

Charles VOLET

1895-1992

---

Charles Volet, Director Emeritus of the Bureau International des Poids et Mesures, died on 5 November 1992 in his ninety-eighth year.

He was of Swiss nationality, born on 31 March 1895 at Vevey in the canton of Vaud. On graduating in physics and mathematics from the University of Lausanne, he worked as assistant to Professor A. Périer until May 1917, when he joined the BIPM. There he spent the remainder of his career: as *assistant* in 1917, *adjoint* in 1923, Deputy Director in 1947 and Director from 1 April 1951 to 31 December 1961, when he retired to the French village of Grilly (Ain), near the Swiss border.

From his arrival at the BIPM he worked closely with Charles-Édouard Guillaume in his research on nickel-steel and steel with a high percentage of chromium and carbon. He discovered the properties of an iron-cobalt-chromium alloy, known as Elinvar, very similar to Invar, and studied the metrological properties of different brasses (copper-zinc and copper-zinc-nickel alloys).

He took part in the first periodic verification of national prototypes of the metre, and wrote a comprehensive study on the standard metres of the BIPM. In the field of line scale measurement, he made a substantial contribution to improving the precision of standards comparisons, notably the development of a sophisticated technique for trimming the lines after tracing and the use of reversible microscopes with immersion objectives.

In gravimetry, Charles Volet sought to increase the precision of absolute determinations of gravitational acceleration by methods other than reversible pendulums. In 1946 he proposed a method involving the cine-photography of a ruled scale during free fall in vacuum, and in 1947 the so-called "double fall" method (ascending and descending motion of a body in vacuum). Implemented at the BIPM in 1960 and continually improved, this method enabled  $g$  to be measured with an accuracy as yet unsurpassed.

During his career Charles Volet saw the BIPM pass from the era of classical physics to the modern period as its initial activities were gradually extended to cover standards of electricity, photometry and ionizing radiations. He also made an important contribution to the inquiry into the setting up of a practical system of units of measurement, an inquiry which led to the adoption in 1960 of the International System of Units (SI), the modern form of the metric system.

He was fortunate that his period as Director, contrary to that of his predecessor, was quiet and, financially speaking, relatively favourable to the growth of the BIPM. After all, as he wrote to me in 1963, not long after his retirement "In a world where international organizations are proliferating, the oldest among them cannot lag too far behind. Nevertheless it must maintain certain of its traditions and it is up to the old folks to ensure that they are respected".

In addition to his work at the BIPM, during a difficult period around 1930, Charles Volet turned to astronomy and published a number of studies on the orbits of double stars and on the companion of Sirius.

Despite the distance that separated his place of retirement from the Bureau, he kept up an interest in everything that went on there, in particular the results obtained for the value of  $g$ . It is rare in metrology, he wrote in 1970, that "a physical constant should see its precision increased by a factor of 100 in the space of a few years".

The author of some fifty published works, Charles Volet was Officier de la Légion d'Honneur and decorated with the Polish Order of "Polonia Restituta".

In his private life he was an excellent violinist, a climbing enthusiast and an unequalled "do-it-yourselfer" who, even during his retirement, built a small sailing boat. As a musician, he played first violin in the "Quatuor des Quatre Charles" (all four were called Charles), a group of friends who held regular musical evenings.

After thirty years of retirement spent at his house in Grilly, which was admirably suited to his tastes and daily revealed to him the magnificent scenery of Lake Léman and the Alps of Haute-Savoie, Charles Volet passed away peacefully, without suffering, as his centenary drew near.

He is remembered by his former colleagues, to whose concerns he was never indifferent, as a Director who kept himself closely in touch with them and was a willing listener to their personal problems. He takes with him the respect, esteem and affection of all those who knew him. May his children, grandchildren and great-grandchildren accept these words of thanks in the memory of a servant of international metrology.

H. MOREAU  
December 1992

---



---

TABLE DES MATIÈRES  
TABLE OF CONTENTS

---

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

81<sup>e</sup> session (septembre - octobre 1992)

81st Meeting (September - October 1992)

---

	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 .....	XIII
Liste des membres du Comité international .....	XV
Liste du personnel du Bureau international .....	XVII
Ordre du jour de la session .....	XX
<b>Procès-verbaux des séances, 29, 30 septembre et 1<sup>er</sup> octobre 1992 .....</b>	<b>1</b>
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 .....	4
4. Situation financière du BIPM pour les années 1992 à 1996 .....	5
5. Comités consultatifs .....	8
5.1. Comité consultatif d'électricité .....	8
5.2. Comité consultatif pour la définition du mètre .....	9
5.3. Présidence de comités consultatifs .....	10
5.4. Composition des comités consultatifs .....	11
5.5. Réunions futures des comités consultatifs .....	11
6. Travaux du BIPM : Rapport du directeur .....	11
Travaux du BIPM .....	11
Dépôt des prototypes .....	12
Orientation future des travaux de la section des rayonnements ionisants du BIPM .....	12

7. Rapport du Groupe de travail du CIPM sur la métrologie en chimie ...	15
8. Discussion sur le projet de <i>Guide to the expression of uncertainty in measurement</i> .....	15
9. Questions administratives et financières .....	16
10. Questions diverses .....	19
10.1. Membres du CIPM .....	19
10.2. Membre honoraire .....	19
10.3. Groupe de travail sur l'application de la relativité générale à la métrologie .....	19
10.4. Prochaine session du CIPM .....	20
<b>Recommandations adoptées par le CIPM à sa 81<sup>e</sup> session</b> .....	21
1 (CI-1992) : Reconnaissance mondiale des résultats de comparaisons d'étalons de mesure .....	21
2 (CI-1992) : Besoins de recherches métrologiques à long terme .....	22
3 (CI-1992) : Révision de la mise en pratique de la définition du mètre ....	23
<b>Composition des comités consultatifs</b> .....	29
<b>Rapport du directeur sur l'activité et la gestion du Bureau international des poids et mesures</b> (octobre 1991 - septembre 1992) .....	35
I. Personnel. – Promotions (M. Petit, C. Dias-Nunes). Engagements (P. Moussay, R. Davis). Chercheurs associés (A. Michaud, Z. Yin). Départs (B. Guinot, J. Leroux, D. Müller) .....	35
II. Bâtiments .....	36
III. Travaux scientifiques .....	37
1. Remarques générales .....	37
1.1. Publications, conférences et voyages ne concernant pas directement une section particulière .....	41
1.1.1. Publication extérieure .....	41
1.1.2. Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts) ...	41
1.2. Activités en liaison avec des organismes extérieurs .....	42
2. Longueurs .....	43
2.1. Remarques générales .....	43
2.2. Mesures de longueur classiques .....	43
2.3. Lasers .....	44
2.3.1. Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée de l'iode en cuve interne à $\lambda = 633$ nm .....	44
2.3.2. Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée de l'iode en cuve interne ou externe à $\lambda = 612$ nm .....	45
2.3.3. Lasers à argon asservis sur l'absorption saturée de l'iode en cuve externe à $\lambda = 515$ nm .....	46

2.3.4. Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée du méthane en cuve interne ou externe à $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$ .....	47
2.3.5. Laser à $\text{CO}_2$ à $\lambda = 10,6 \mu\text{m}$ .....	49
2.3.6. Cuves à iode .....	49
2.4. Publications, conférences et voyages : section des longueurs .....	50
2.4.1. Publications extérieures .....	50
2.4.2. Rapport BIPM .....	50
2.4.3. Conférences et exposés .....	50
2.4.4. Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts) ....	51
2.5. Visiteurs de la section des longueurs .....	52
2.5.1. Stagiaires .....	52
2.5.2. Visiteurs .....	52
3. Masse et grandeurs apparentées .....	53
3.1. Troisième vérification périodique des prototypes nationaux du kilogramme .....	53
3.2. Nouvelle balance à suspensions flexibles FB-2 .....	55
3.3. Effets de surface sur les étalons de masse en platine iridié .....	55
3.4. Lames flexibles en monocristal de silicium .....	57
3.5. Nouvelle méthode pour mesurer des susceptibilités magnétiques ..	58
3.6. Gravimétrie .....	58
3.7. Publications, conférences et voyages : section des masses .....	59
3.7.1. Publications extérieures .....	59
3.7.2. Conférences et exposés .....	59
3.8. Visiteurs de la section des masses .....	59
3.8.1. Stagiaire .....	59
3.8.2. Visiteurs .....	59
4. Temps .....	60
4.1. Temps atomique international (TAI) et Temps universel coordonné (UTC) .....	60
4.2. Algorithmes pour les échelles de temps .....	60
4.3. Liaisons horaires .....	62
4.3.1. Global Positioning System (GPS) .....	62
4.3.2. Global Navigation Satellite System (GLONASS) .....	64
4.3.3. Comparaisons horaires par aller et retour .....	64
4.4. Définition des échelles de temps, relation avec l'astronomie .....	65
4.5. Pulsars .....	65
4.6. Autres activités .....	66
4.6.1. Installation d'un laboratoire de temps au BIPM .....	66
4.6.2. Interférométrie à très longue base .....	66
4.7. Publications, conférences et voyages : section du temps .....	66
4.7.1. Publications extérieures .....	66
4.7.2. Rapport BIPM .....	67
4.7.3. Conférences et exposés .....	67
4.7.4. Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts) ....	68

4.8. Activités en liaison avec des organismes extérieurs .....	69
4.9. Visiteurs de la section du temps .....	69
4.9.1. Stagiaires .....	69
4.9.2. Visiteurs .....	69
5. Électricité .....	70
5.1. Remarques générales .....	70
5.2. Potentiel électrique .....	71
5.2.1. Effet Josephson .....	71
5.2.2. Autres activités .....	72
5.3. Résistance électrique .....	72
5.3.1. Effet Hall quantique et mesures de résistance associées ....	72
5.3.2. La comparaison internationale d'étalons de 1 $\Omega$ et de 10 k $\Omega$ de 1990 .....	73
5.4. Étude des applications métrologiques des supraconducteurs à haute température .....	73
5.5. Étude de l'accroissement possible des perturbations magnétiques au BIPM .....	74
5.6. Comparaisons et étalonnages courants .....	75
5.7. Publications, conférences et voyages : section d'électricité .....	75
5.7.1. Publications extérieures .....	75
5.7.2. Conférences et exposés .....	76
5.7.3. Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts) ....	76
5.8. Activités en liaison avec des organismes extérieurs .....	77
5.9. Visiteurs de la section d'électricité .....	77
6. Radiométrie, photométrie, thermométrie et manométrie .....	77
6.1. Radiométrie .....	77
6.2. Photométrie .....	78
6.3. Thermométrie et manométrie .....	79
6.4. Travaux d'étalonnage .....	79
6.5. Publications, conférences et voyages : section de radiométrie, photo- métrie, thermométrie et manométrie .....	79
6.5.1. Publications extérieures .....	79
6.5.2. Conférences et exposés .....	80
6.5.3. Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts) ....	80
6.6. Activité en liaison avec des organismes extérieurs .....	80
6.7. Visiteurs de la section de radiométrie, photométrie, thermométrie et manométrie .....	80
7. Rayonnements ionisants .....	80
7.1. Dosimétrie .....	81
7.1.1. Rayons gamma et rayons X .....	81
7.1.2. Mesures neutroniques .....	84
7.2. Radionucléides .....	85
7.2.1. Mesures d'activité .....	85
7.2.2. Statistiques de comptage .....	88



7.3. Publications, conférences et voyages : section des rayonnements ionisants .....	90
7.3.1. Publications extérieures .....	90
7.3.2. Rapports BIPM .....	90
7.3.3. Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts) ....	90
7.4. Activités en liaison avec des organismes extérieurs .....	91
7.5. Visiteurs de la section des rayonnements ionisants .....	91
7.5.1. Stagiaires .....	91
7.5.2. Visiteurs .....	92
IV. Publications du BIPM .....	92
1. Publications générales .....	92
2. Metrologia .....	93
V. Réunions et exposés au BIPM .....	94
1. Réunions .....	94
2. Exposés .....	94
VI. Certificats et notes d'étude .....	95
VII. Comptes .....	98
<b>Notices nécrologiques</b> .....	103
Jean Terrien, par <i>P. Giacomo</i> .....	103
Charles Volet, par <i>H. Moreau</i> .....	106

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
<b>Proceedings of the sessions, 29, 30 September and 1 October 1992</b> .....	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 .....	122
4. Financial situation of the BIPM for the years 1992-1996 .....	123
5. Comités Consultatifs .....	125
5.1. Comité Consultatif d'Électricité .....	125
5.2. Comité Consultatif pour la Définition du Mètre .....	126
5.3. Presidency of the Comités Consultatifs .....	128
5.4. Membership of the Comités Consultatifs .....	128

5.5. Future meetings of the Comités Consultatifs .....	128
6. Work of the BIPM : Report of the Director .....	129
Work of the BIPM .....	129
Dépôt des prototypes .....	129
Future orientation of the Ionizing Radiations work at the BIPM .....	129
7. Metrology in chemistry, Report of the CIPM Working Group .....	132
8. Discussion on a draft <i>Guide to the expression of uncertainty in measurement</i> .....	132
9. Administrative and financial affairs .....	133
10. Other business .....	136
10.1. Changes in membership of the CIPM .....	136
10.2. Honorary member .....	136
10.3. Working Group on the application of general relativity to metrology .....	136
10.4. Next CIPM meeting .....	137
<b>Recommendations adopted by the CIPM at its 81st Meeting .....</b>	<b>139</b>
1 (CI-1992): Worldwide recognition of the results of comparisons of measurement standards .....	139
2 (CI-1992): The need for long-term metrological research .....	140
3 (CI-1992): Revision of the mise en pratique of the definition of the metre .....	141
<b>Membership of Comités Consultatifs .....</b>	<b>145</b>
<b>Director's Report on the Activity and Management of the Bureau International des Poids et Mesures (October 1991 - September 1992) .....</b>	<b>151</b>
I. Staff. – Promotions and changes of grade (M. Petit, C. Dias-Nunes). Appointments (P. Moussay, R. Davis). Research Fellows (A. Michaud, Z. Yin). Departures (B. Guinot, J. Leroux, D. Müller). .....	151
II. Buildings .....	152
III. Scientific work .....	153
1. General introduction .....	153
1.1. Publications, lectures, travel not directly related to individual sections .....	157
1.1.1. External publications .....	157
1.1.2. Travel (committees, visits to laboratories and institutions) ..	157
1.2. Activities related to external organizations .....	157
2. Length .....	158
2.1. General remarks .....	158
2.2. Classical length measurement .....	158
2.3. Lasers .....	159
2.3.1. Iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda = 633$ nm using internal cells .....	159
2.3.2. Iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda = 612$ nm using internal and external cells .....	160

2.3.3. Iodine-stabilized argon lasers at $\lambda = 515$ nm using an external cell .....	162
2.3.4. Methane-stabilized He-Ne lasers at $\lambda = 3,39$ $\mu\text{m}$ using internal and external cells .....	163
2.3.5. CO <sub>2</sub> laser at $\lambda = 10,6$ $\mu\text{m}$ .....	164
2.3.6. Iodine cells .....	165
2.4. Publications, lectures, travel: Length section .....	165
2.4.1. External publications .....	165
2.4.2. BIPM report .....	166
2.4.3. Lectures and presentations .....	166
2.4.4. Travel (committees, visits to laboratories and institutions) ..	166
2.5. Visitors to the Length section .....	167
2.5.1. Guest workers .....	167
2.5.2. Visitors .....	167
3. Mass and related quantities .....	168
3.1. Third periodic verification of national prototypes of the kilogram .	169
3.2. The new flexure-strip balance, FB-2 .....	170
3.3. Surface effects on Pt-Ir mass standards .....	171
3.4. Single-crystal silicon flexures .....	172
3.5. New method for measuring magnetic susceptibility .....	173
3.6. Gravimetry .....	173
3.7. Publications, lectures, travel: Mass section .....	174
3.7.1. External publications .....	174
3.7.2. Lectures and presentations .....	174
3.8. Visitors to the Mass section .....	174
3.8.1. Guest worker .....	174
3.8.2. Visitors .....	174
4. Time .....	175
4.1. International Atomic Time (TAI) and Coordinated Universal Time (UTC) .....	175
4.2. Algorithms for time scales .....	175
4.3. Time links .....	176
4.3.1. Global Positioning System (GPS) .....	177
4.3.2. Global Navigation Satellite System (GLONASS) .....	178
4.3.3. Two-way time transfer .....	179
4.4. Definition of time scales, relation with astronomy .....	179
4.5. Pulsars .....	179
4.6. Other activities .....	180
4.6.1. Time laboratory .....	180
4.6.2. Very Long Baseline Interferometry .....	180
4.7. Publications, lectures, travel: Time section .....	181
4.7.1. External publications .....	181
4.7.2. BIPM report .....	182

4.7.3. Lectures and presentations .....	182
4.7.4. Travel (committees, visits to laboratories and institutions) ..	182
4.8. Activities related to external organizations .....	183
4.9. Visitors to the Time section .....	183
4.9.1. Guest workers .....	183
4.9.2. Visitors .....	184
5. Electricity .....	184
5.1. General remarks .....	184
5.2. Electrical potential .....	185
5.2.1. Josephson effect .....	185
5.2.2. Other activities .....	186
5.3. Electrical resistance .....	186
5.3.1. Quantum Hall effect and associated resistance measurements	186
5.3.2. The 1990 international comparison of 1 $\Omega$ and 10 k $\Omega$ standards	187
5.4. Studies of applications of high- $T_c$ superconductors in metrology ...	187
5.5. Study of possible increase in magnetic disturbance at the BIPM ..	188
5.6. Comparisons and routine calibrations .....	189
5.7. Publications, lectures, travel: Electricity section .....	189
5.7.1. External publications .....	189
5.7.2. Lectures and presentations .....	189
5.7.3. Travel (committees, visits to laboratories and institutions) ..	190
5.8. Activities related to external organizations .....	190
5.9. Visitors to the Electricity section .....	190
6. Radiometry, photometry, thermometry and pressure .....	191
6.1. Radiometry .....	191
6.2. Photometry .....	192
6.3. Thermometry and pressure .....	192
6.4. Calibration work .....	192
6.5. Publications, lectures, travel: Radiometry, photometry, thermometry and pressure section .....	193
6.5.1. External publications .....	193
6.5.2. Conferences and lectures .....	193
6.5.3. Travel (committees, visits to laboratories and institutions) ..	193
6.6. Activities related to external organizations .....	193
6.7. Visitors to the Radiometry, photometry, thermometry and pressure section .....	194
7. Ionizing Radiations .....	194
7.1. Dosimetry .....	194
7.1.1. Gamma rays and X rays .....	194
7.1.2. Neutron measurements .....	197
7.2. Radionuclides .....	198
7.2.1. Activity measurements .....	198
7.2.2. Counting statistics .....	201

7.3. Publications, lectures, travel: Ionizing Radiations section .....	203
7.3.1. External publications .....	203
7.3.2. BIPM reports .....	203
7.3.3. Travel (committees, visits to laboratories and institutions) ..	204
7.4. Activities related to external organizations .....	204
7.5. Visitors to the Ionizing Radiations section .....	204
7.5.1. Guest workers .....	204
7.5.2. Visitors .....	205
IV. Publications of the BIPM .....	205
1. General publications .....	205
2. Metrologia .....	206
V. Meetings and lectures at the BIPM .....	206
1. Meetings .....	206
2. Lectures .....	207
VI. Certificates and Notes of Study .....	207
VII. Accounts .....	207
<b>Obituaries</b> .....	209
Jean Terrien, by <i>P. Giacomo</i> .....	209
Charles Volet, by <i>H. Moreau</i> .....	212

---

**IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS**

**PARIS 18<sup>e</sup>**

---

**Dépôt légal : Imprimeur, 1993, n° 3981**  
**ISBN 92-822-2126-1**  
**ISSN 0370-2596**

**ACHEVÉ D'IMPRIMER : AOÛT 1993**

**Imprimé en France**