

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES



COMITÉ INTERNATIONAL  
DES  
POIDS ET MESURES

Procès-verbaux de la 85<sup>e</sup> session  
Report of the 85th Meeting  
1996

TOME 64

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

ISSN 0370-2596  
ISBN 92-822-2151-2

---

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
AIST	Agency of Industrial Science and Technology, Tokyo (Japon)
APMP	Asia/Pacific Metrology Programme
ASE/ESA	Agence spatiale européenne/European Space Agency
*BCM/CBNM	Bureau central de mesures nucléaires/Central Bureau for Nuclear Measurements, IMMR-CCE, Geel (Belgique), <i>voir</i> IMMR/IRMM
BEV	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Vienne (Autriche)
*BIH	Bureau international de l'heure
BIPM	Bureau international des poids et mesures
BIRM	Beijing Institute of Radio Metrology and Measurement, Beijing (Rép. pop. de Chine)
BNM	Bureau national de métrologie, Paris (France)
BNM-INM	Bureau national de métrologie, Institut national de métrologie, Paris (France)
BNM-LPRI	Bureau national de métrologie, Laboratoire primaire des rayonnements ionisants, Saclay (France)
BNM-LPTF	Bureau national de métrologie, Laboratoire primaire du temps et des fréquences, Paris (France)
*CBNM	<i>voir</i> IMMR/IRMM
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.

CCE/CEC	Commission des communautés européennes/Commission of the European Communities
CCEMRI	Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants
CCM	Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées
CCPR	Comité consultatif de photométrie et radiométrie
CCQM	Comité consultatif pour la quantité de matière
CCT	Comité consultatif de thermométrie
CCU	Comité consultatif des unités
CEC	<i>voir CCE/CEC</i>
CEI/IEC	Commission électrotechnique internationale/International Electrotechnical Commission
CEM	Centro Español de Metrología, Madrid (Espagne)
CENAM	Centro Nacional de Metrología, Mexico (Mexique)
CEN	Centre d'études nucléaires, Saclay (France)
CGPM	Conférence générale des poids et mesures
CGSIC	Civil GPS Service Interface Committee
CIAE	China Institute of Atomic Energy, Beijing (Rép. pop. de Chine)
CIE	Commission internationale de l'éclairage/International Commission on Illumination
CIEMAT	Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Madrid (Espagne)
CIML	Comité international de métrologie légale
CIPM	Comité international des poids et mesures
CIUS/ICSU	Conseil international des unions scientifiques/International Council of Scientific Unions
CLEO	Conference on Lasers and Electro-Optics
*CMI	Czech Institute of Metrology, Prague (Rép. tchèque), <i>voir COSMT</i>
CNAM	Conservatoire national des arts et métiers, Paris (France)
CNDP	Centre national de documentation pédagogique, Paris (France)
CNES	Centre national d'études spatiales, Toulouse (France)
CNM	Centro Nacional de Metrología, Querétaro (Mexique)
CNRS	Centre national de la recherche scientifique, Paris (France)
CODATA	Committee on Data for Science and Technology
COSMT	(ex CMI) Czech Office for Standards, Metrology and Testing, Prague (Rép. tchèque)
CPEM	Conference on Precision Electromagnetic Measurements

CRI	Cambridge Research & Instrumentations Inc., Cambridge (É.-U. d'Amérique)
CRL	Communications Research Laboratory, Tokyo (Japon)
CSIR	(ex NPRL) Council for Scientific and Industrial Research, Division of Production Technology, Pretoria (Afrique du Sud)
CSIRO-NML	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, National Measurement Laboratory, Lindfield (Australie)
*CSMU	<sup>v</sup> Československý Metrologický Ústav, Bratislava et Prague (Slovaquie et Rép. tchèque), <i>voir</i> CMI et SMU
DFM	Danish Institute of Fundamental Metrology, Lyngby (Danemark)
*DSIR	Department of Scientific and Industrial Research, Lower Hutt (Nouvelle-Zélande), <i>voir</i> MSL
DSS	Department of Science Service (Thaïlande)
EAL	European Collaboration for Accreditation of Laboratories
EFTF	Forum européen fréquence et temps/European Frequency and Time Forum
ENS	École normale supérieure, Paris (France)
*EOLAS	Irish Science and Technology Agency, Dublin (Irlande), <i>voir</i> FORBAIRT
EQEC	European Quantum Electronics Conference
ESA	<i>voir</i> ASE
ETCA	Établissement technique central de l'armement, Arcueil (France)
ETL	Electrotechnical Laboratory, Tsukuba (Japon)
EUROMET	European Collaboration in Measurement Standards
EUTELSAT	European Telecommunications Satellite Organization
EZU	Elektrotechnický Zkusební Ústav, Prague (Rép. tchèque)
FCS	Frequency Control Symposium
FORBAIRT-NML	(ex EOLAS) National Metrology Laboratory, Dublin (Irlande)
GREX	Groupe de recherche du CNRS : Gravitation et expériences (France)
GRGS	Groupe de recherches de géodésie spatiale
GT-RF	Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences/Working group on radiofrequency quantities
GUM	(ex PKNM) Główny Urząd Miar/Central Office of Measures, Varsovie (Pologne)
IAEA	<i>voir</i> AIEA
IAG	<i>voir</i> AIG
IAU	<i>voir</i> UAI

ICAG	International Conference of Absolute Gravimeters
ICRM	International Committee for Radionuclide Metrology
ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurements
ICSU	<i>voir</i> CIUS
IEC	<i>voir</i> CEI
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IEN	Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin (Italie)
*IER-EPFL	<i>voir</i> IRA
IERS	Service international de la rotation terrestre/International Earth Rotation Service
IFA/IFTAR	Institute for Atomic Physics, Bucarest (Roumanie)
IFIN	Institutul de Fizica si Inginerie Nucleara, Bucarest (Roumanie)
IIR	(ex UVVVR) Inspectorate for Ionizing Radiation, Prague (Rép. tchèque)
ILAC	International Laboratory Accreditation Conference
IMGC	Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin (Italie)
*IMM	<i>voir</i> VNIIM
IMMR/IRMM	(ex BCMN/CBNM) Institut des matériaux et mesures de référence/Institute for Reference Materials and Measurements, Geel (Belgique)
INM	Institut national de métrologie, Paris (France), <i>voir</i> BNM
INM	Institutul National de Metrologie, Bucarest (Roumanie)
INMARSAT	International Maritime Satellite Organization
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, Rio de Janeiro (Brésil)
INPL	National Physical Laboratory of Israel, Jérusalem (Israël)
INTELSAT	International Telecommunications Satellite Organization
ION	Institute of Navigation, Alexandria VA (É.-U. d'Amérique)
IOP	Institute of Physics, Londres (Royaume-Uni)
IPEN	Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo (Brésil)
IPG	Institut de physique du Globe, Saint-Mandé (France)
IPQ	Instituto Português da Qualidade, Lisbonne (Portugal)
IRA	(ex IER-EPFL) Institut de radiophysique appliquée, Lausanne (Suisse)
IRL	Industrial Research Limited, Lower Hutt (Nouvelle-Zélande)
IRMM	<i>voir</i> IMMR

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)
IUGG	<i>voir</i> UGGI
IUPAP	<i>voir</i> UIPPA
JILA	Joint Institute for Laboratory Astrophysics, Boulder (É.-U. d'Amérique)
KIM	Kharkov Institute of Metrology, Kharkov (Ukraine)
KRISS	(ex KSRI) Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon (Rép. de Corée)
*KSRI	Korea Standards Research Institute, Taejon (Rép. de Corée), <i>voir</i> KRISS
LHA	Laboratoire de l'horloge atomique, Orsay (France)
*LMRI	Laboratoire de métrologie des rayonnements ionisants, Saclay (France), <i>voir</i> LPRI
LNMRI	Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes, Rio de Janeiro (Brésil)
LPL	Laboratoire de physique des lasers, Villetaneuse (France)
LPRI	(ex LMRI) Laboratoire primaire des rayonnements ionisants, Saclay (France), <i>voir</i> BNM
LPTF	Laboratoire primaire du temps et des fréquences, Paris (France), <i>voir</i> BNM
MIT	Massachusetts Institute of Technology, Boston (É.-U. d'Amérique)
MSL-IRL	(ex DSIR) Measurement Standards Laboratory of New Zealand, Lower Hutt (Nouvelle-Zélande)
*NBS	National Bureau of Standards, Gaithersburg (É.-U. d'Amérique), <i>voir</i> NIST
NEWRAD	International Conference on New Developments and Applications in Optical Radiometry
NIM	Institut national de métrologie/National Institute of Metrology, Beijing (Rép. pop. de Chine)
NIS	National Institute for Standards, Le Caire (Égypte)
NIST	(ex NBS) National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg (É.-U. d'Amérique)
NMC-PSB	National Measurement Centre, Singapore Productivity and Standards Board (Singapour)
NMi	(ex VSL) Nederlands Meetinstituut, Delft (Pays-Bas)

*NML	National Measurement Laboratory, Lindfield (Australie), <i>voir</i> CSIRO
NML	<i>voir</i> FORBAIRT
NORAMET	North and Central American Metrology Cooperation
NPL	National Physical Laboratory, Teddington (Royaume-Uni)
NPLI	National Physical Laboratory of India, New Delhi (Inde)
*NPRL	National Physical Research Laboratory, Pretoria (Afrique du Sud), <i>voir</i> CSIR
NRC	Conseil national de recherches du Canada/National Research Council, Ottawa (Canada)
NRLM	National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba (Japon)
*NSIS	Norwegian Statens Institutt for Strålehygiene, Østerås (Norvège), <i>voir</i> SS
OFMET	Office fédéral de métrologie/Eidgenössisches Amt für Messwesen, Wabern (Suisse)
OIML	Organisation internationale de métrologie légale
OMH	Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest (Hongrie)
OMP	Observatoire Midi-Pyrénées, Toulouse (France)
ONERA	Office national d'études et de recherche aérospatiales, Châtillon (France)
OP	Observatoire de Paris (France)
*PKNM	Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakości, Varsovie (Pologne), <i>voir</i> GUM
PSB	Singapore Productivity and Standards Board (Singapour)
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig (Allemagne)
PTTI	Precise Time and Time Interval Applications and Planning Meeting
RC	Radioisotope Centre, Otwock (Pologne)
SISIR	Singapore Institute of Standards and Industrial Research (Singapour)
SMU	(ex CSMU) Slovenský Metrologický Ústav/Slovak Institute of Metrology, Bratislava (Slovaquie)
SP	Statens Provningsanstalt, Borås (Suède)
SPIE	Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers
SRPI	(ex NIRP/SSI) Swedish Radiation Protection Institute, Stockholm (Suède)
SS	Statens Strålevern, Østerås (Norvège)
SSDL	Secondary Standards Dosimetry Laboratories

*SSI	<i>voir</i> SRPI
UAI/IAU	Union astronomique internationale/International Astronomical Union
UGGI/IUGG	Union géodésique et géophysique internationale/International Union of Geodesy and Geophysics
UIPPA/IUPAP	Union internationale de physique pure et appliquée/International Union of Pure and Applied Physics
UME	Ulusai Metroloji Enstitüsü/National Metrology Institute, Marmara Research Centre, Gebze-Kocaeli (Turquie)
URSI	Union radioscientifique internationale/International Union of Radio Science
USNO	U.S. Naval Observatory, Washington DC (É.-U. d'Amérique)
*UVVVR	<i>voir</i> IIR
VNIIFTRI	Institut des mesures physico-techniques et radiotechniques/All-Russian Research Institute for Physical, Technical and Radio-Technical Measurements, Moscou (Féd. de Russie)
VNIIM	(ex IMM) Institut de métrologie D.I. Mendéléev/D.I. Mendeleev Institute for Metrology, Saint-Petersbourg (Féd. de Russie)
*VSL	Van Swinden Laboratorium, Delft (Pays-Bas), <i>voir</i> NMi

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

CCD	Dispositif à couplage de charge/Charge-coupled device
EAL	Échelle atomique libre/Free atomic time scale
EIT-90/ITS-90	Échelle internationale de température de 1990/International Temperature Scale of 1990
FTP	File Transfer Protocol
GLONASS	Global Navigation Satellite System
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
HVL	Couche de demi atténuation/Half-value layer
ICP-MS	Spectrométrie de masse d'un plasma induit par une source micro-onde/Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry
IDMS	Spectrométrie de masse avec dilution isotopique/Isotope Dilution Mass Spectrometry
IGS	International GPS Service for Geodynamics

ITRF	International Terrestrial Reference Frame
ITS-90	<i>voir</i> EIT-90
KTP	Potasse titanyle phosphate/Potassium titanyl phosphate
LASSO	Laser Synchronization from Satellite Orbit
MJD	Jour Julien modifié/Modified Julian Day
PHARAO	Projet d'horloge atomique à refroidissement d'atomes en orbite/ Project for a cooled-ion atomic clock in orbit
QHE	Effet Hall quantique/quantum Hall effect
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
STEP	Satellite Test of the Equivalence Principle
TAI	Temps atomique international/International Atomic Time
TIMS	Spectrométrie de masse avec thermo-ionisation/Thermal Ionization Mass Spectrometry
UTC	Temps universel coordonné/Coordinated Universal Time
VLBI	Radio-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 pour la mesure 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 mesures des constantes physiques fondamentales 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 rassemble 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 comprend 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. La principale mission du CIPM est d'assurer l'unification mondiale des unités de mesure, en agissant directement, ou en soumettant des propositions à la Conférence Générale.

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 et radiométriques (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 1996, quarante-huit 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), Singapour, Slovaque (Rép.), Suède, Suisse, Tchèque (Rép.), Thaïlande, Turquie, Uruguay, Venezuela.

Environ quarante-cinq 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. 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 en 1927, le Comité international a institué, 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 au CIPM des recommandations concernant les unités.

Les comités consultatifs ont un règlement commun (*BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 1963, 31, 97). Ils tiennent leurs sessions à des intervalles irréguliers. Le président de chaque comité consultatif est désigné par le Comité international ; il est généralement membre du Comité international. Les comités consultatifs ont pour membres des laboratoires de métrologie et des instituts spécialisés, dont la liste est établie en accord avec le Comité international, qui envoient des délégués de leur choix. Ils comportent aussi des membres nominativement désignés par le Comité international, et un représentant du Bureau international. Ces comités sont actuellement au nombre de neuf :

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 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 (CCEM-RI), 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 ;
9. Le Comité consultatif pour la quantité de matière (CCQM), créé en 1993.

Les travaux de la Conférence générale, du Comité international et des comités consultatifs sont publiés par les soins du Bureau international 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*.

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 par décision du Comité international, de même que le *Recueil de travaux du Bureau international des poids et mesures* (11 volumes publiés de 1966 à 1988).

Les travaux du Bureau international font l'objet de publications dans des journaux scientifiques ; une liste en est donnée chaque année dans les *Procès-verbaux des séances du Comité international*.

Depuis 1965 la revue internationale *Metrologia*, éditée sous les auspices du Comité international des poids et mesures, publie des articles sur la métrologie scientifique, sur l'amélioration des méthodes de mesure, les travaux sur les étalons et sur les unités, 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 24 septembre 1996

*Président*

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

*Secrétaire*

2. J. KOVALEVSKY, président du Bureau national de métrologie, Observatoire de la Côte d'Azur, avenue N. Copernic, 06130 Grasse, France.

*Membres*

3. W.R. BLEVIN, Division of Applied Physics, CSIRO, P.O. Box 218, Bradfield Road, Lindfield NSW 2070, Australie. *Vice-président.*
4. CHUNG Myung Sai, président du Korea Research Institute of Standards and Science, P.O. Box 102, Yusong, Taejon 305-600, Rép. de Corée.
5. GAO Jie, directeur du Joint Laboratory of High Technology Metrology and Measurement, conseiller au China State Bureau of Technical Supervision, BP 8010, Beijing 100088, Rép. pop. de Chine.
6. K.B. GEBBIE, directeur du Laboratoire de physique, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899-0001, É.-U. d'Amérique.
7. E.S.R. GOPAL, directeur du National Physical Laboratory of India, Dr K.S. Krishnan Road, New Delhi 110012, Inde.
8. K. IZUKA, c/o National Research Laboratory of Metrology, 1-1-4 Umezono, Tsukuba 305, Japon. *Vice-président.*
9. R. KAARLS, directeur au Nederlands Meetinstituut, P.O. Box 654, 2600-AR Delft, Pays-Bas.
10. O.V. LOUNASMAA, Low Temperature Laboratory, Helsinki University of Technology, Otakaari 3 A, SF-02150 Espoo, Finlande.
11. G. MOSCATI, Instituto de Física, Université de São Paulo, Caixa Postal 66318, 05389-970 São Paulo SP, Brésil.

12. P. PÂQUET, directeur de l'Observatoire royal de Belgique, 3 avenue Circulaire, B-1180 Bruxelles, Belgique.
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, Rép. slovaque.
15. R. STEINBERG, Département de physique et métrologie, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, 1101 Buenos Aires, Argentine.
16. Yu V. TARBÉEV, directeur général de l'Institut de métrologie D.I. Mendéléev, 19 Moskovsky Prosp., 198005 Saint-Pétersbourg, Féd. de Russie.
17. A.J. WALLARD, sous-directeur du National Physical Laboratory, Teddington TW11 0LW, Royaume-Uni.
18. ...

*Membres honoraires*

1. E. AMBLER, The Belvedere (No. 626), 1600 N. Oak Street, Arlington, VA 22209.
  2. J. DE BOER, Institut de physique, Université d'Amsterdam, Valckenierstraat 65, Amsterdam-C.
  3. L.M. BRANSCOMB, Box 309, Concord, Massachusetts 01742.
  4. J.V. DUNWORTH, Apt. 902, Kings Court, Ramsey, Isle of Man.
  5. M. KERSTEN, Am Hohen Tore 4A, 3300 Braunschweig.
  6. H. PRESTON-THOMAS, 1109 Blasdell Avenue, Ottawa K1K 0C1.
-

---

LISTE DU PERSONNEL  
DU  
BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES  
au 1<sup>er</sup> janvier 1997

Directeur : M. T.J. Quinn

*Longueurs* : M. J.-M. Chartier

M. R. Felder, Mme S. Picard, MM. L. Robertsson, L. Vitouchkine<sup>(1)</sup>,  
A. Zarka

Mme A. Chartier, M. J. Labot

*Masse et grandeurs apparentées* : M. R.S. Davis

M. A. Picard

Mme J. Coarasa, M. J. Hostache

M. J. Dias

*Échelles de temps* : Mme C. Thomas

MM. J. Azoubib, W. Lewandowski, G. Petit, P. Wolf<sup>(1)</sup>

Mlle H. Konaté, M. P. Moussay, Mme M. Thomas

*Électricité* : M. T.J. Witt

MM. F. Delahaye, J. Melcher<sup>(1)</sup>, D. Reymann

MM. D. Avrons, D. Bournaud

*Radiométrie et photométrie* : M. R. Köhler

MM. R. Goebel, M. Stock

MM. C. Garreau, F. Lesueur, R. Pello

*Rayonnements ionisants* : Mme M. Boutillon

Mmes P. Allisy-Roberts, M. D.T. Burns, Mlle C. Michotte, M. G. Ratel

MM. D. Carnet, C. Colas, M. Nonis, C. Veyradier

*Secrétariat* : Mlle J. Monprofit

Mmes L. Delfour, D. Le Coz, M. Petit

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

*Finances, administration* : Mme B. Perent  
Mmes M.-J. Martin, D. Saillard

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

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

*Jardiniers* : MM. C. Dias-Nunes, A. Zongo

*Atelier de mécanique* : M. J. Sanjaime

MM. P. Benoit, B. Bodson, M. de Carvalho, J.-B. Caucheteux, J.-P. Dewa,

A. Gama, A. Montbrun, D. Rotrou

MM. E. Dominguez<sup>(2)</sup>, C. Neves<sup>(2)</sup>

*Directeur honoraire* : M. P. Giacomo

*Métrologiste principal honoraire* : M. G. Leclerc

---

(1) Chercheur associé

(2) Également gardiens



## ORDRE DU JOUR

---

1. Ouverture de la session ; quorum ; ordre du jour.
  2. Rapport du secrétaire et activités du bureau du Comité (octobre 1995 – septembre 1996).
  3. Besoins à long terme de la métrologie.
  4. La Convention du Mètre et l'Organisation internationale de métrologie légale.
  5. Équivalence des étalons nationaux de mesure.
  6. Comités consultatifs
    - rapport du CCQM,
    - rapport du CCDS,
    - rapport du CCU,
    - rapport du CCM,
    - rapport du CCEMRI,
    - rapport du CCT,
    - réunions futures,
    - présidence des comités consultatifs.
  7. Travaux du BIPM : Rapport du directeur
    - travaux du BIPM,
    - dépôt des prototypes.
  8. Questions administratives et financières
    - « Rapport aux gouvernements » pour 1995,
    - quitus pour 1995,
    - exercice 1996 en cours,
    - allocations familiales,
    - *Metrologia*.
  8. Composition du CIPM.
  9. Questions diverses.
-

# COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

---

85<sup>e</sup> session  
(24-26 septembre 1996)

---

## PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

D. Kind, président

---

Le Comité international des poids et mesures (CIPM) s'est réuni pour sa 85<sup>e</sup> session les mardi 24, mercredi 25 et jeudi 26 septembre 1996 au Pavillon de Breteuil, à Sèvres. Il a tenu cinq séances en tout.

Étaient présents : MM. BLEVIN, CHUNG Myung Sai, GAO Jie, Mme GEBBIE, MM. GOPAL (absent le 24 septembre), IIZUKA, KAARLS, KIND, KOVALEVSKY, LOUNASMAA, MOSCATI, SKÁKALA, TARBÉEV, WALLARD et QUINN (directeur du BIPM).

Assistaient aussi à la session : M. GIACOMO (directeur honoraire du BIPM) ; M. MILLS (président du CCU, le 24 septembre), M. GUINOT (le 26 septembre) ; Mlle MONPROFIT, Mme LE COZ (secrétariat).

Excusés : MM. PÂQUET, SIEGBAHN et STEINBERG.

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

Le président ouvre la 85<sup>e</sup> session du CIPM et accueille les présents, en particulier MM. Chung et Wallard, récemment élus, M. Giacomo, ainsi que M. Mills, invité à présenter le rapport du Comité consultatif des unités (CCU).

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 Luigi Crovini, membre du CIPM depuis 1992 et président du Comité consultatif de thermométrie (CCT), qui est décédé subitement le 21 octobre 1995, peu après la réunion du CIPM. Une notice nécrologique a été publiée dans les *Procès-verbaux* l'an passé.

L'ordre du jour est adopté.

Le président invite le secrétaire du Comité à présenter son rapport.

## **2. Rapport du secrétaire et activités du bureau du Comité**

(octobre 1995 – septembre 1996)

M. Kovalevsky, secrétaire du CIPM, présente le rapport suivant dans lequel il informe le Comité des événements qui concernent les États membres de la Convention du Mètre, des changements dans la composition du Comité, résume la situation financière du BIPM et décrit brièvement l'activité du bureau du Comité, qui s'est réuni trois fois au Pavillon de Breteuil depuis octobre 1995.

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

Les États membres de la Convention du Mètre sont toujours au nombre de quarante-huit.

### *Composition du Comité international*

Le décès de Luigi Crovini, ainsi que la démission de M. Peter Clapham et celle de M. Jacques Vanier, ont porté à trois le nombre des sièges vacants au Comité international. Deux sièges ont été pourvus par l'élection de M. Chung Myung Sai, directeur du Korea Research Institute of Standards and Science (République de Corée) et de M. Andrew Wallard, directeur adjoint du National Physical Laboratory (Royaume-Uni).

### *Rapport sur les besoins à long terme de la métrologie*

À la demande du Comité, M. Blevin a préparé un rapport sur les besoins à long terme de la métrologie, en réponse à la Résolution 11 de la 20<sup>e</sup> Conférence générale. Le premier projet de rapport a été discuté par le bureau du Comité au mois de juin 1996 et un deuxième projet a été distribué aux membres du CIPM pour être discuté lors de la présente session.

### *L'Organisation internationale de métrologie légale et la Convention du Mètre*

Une réunion a eu lieu au Pavillon de Breteuil les 22 et 23 février 1996 entre les représentants de l'Organisation internationale de métrologie légale (OIML) et ceux de la Convention du Mètre, en réponse à la Résolution 10 de la 20<sup>e</sup> Conférence générale. Un bref rapport sur cette réunion a été distribué aux membres du CIPM peu après. La principale conclusion de cette réunion est qu'il faut d'abord mettre au point le rapport sur les besoins à long terme de la métrologie avant d'entamer des discussions plus approfondies sur une collaboration éventuelle entre l'OIML et la Convention du Mètre.

### *Équivalence des étalons nationaux de mesure*

À la demande du groupe de travail du CIPM sur l'équivalence des étalons nationaux de mesure, créé lors de la session de 1995 du CIPM, M. Quinn a pris contact avec l'organisme de coopération internationale pour l'accréditation des laboratoires (ILAC), l'organisme de coopération européenne pour l'accréditation des laboratoires (EAL), les comités consultatifs et de nombreux membres de laboratoires nationaux. Les propositions qui résultent de ces discussions sont présentées dans un document distribué aux membres du CIPM et aux laboratoires nationaux, document intitulé « International equivalence of national measurement standards ». Ce document, présenté par M. Quinn, a soulevé un vif intérêt.

### *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	1993	1994	1995	1996
I. — Fonds ordinaires .....	12 113 526,07	18 931 178,64	20 025 335,94	17 897 217,00
II. — Caisse de retraite .....	16 395 611,25	17 555 532,69	18 264 877,72	23 364 621,76
III. — Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique ....	171 995,64	0,00	114 348,53	111 382,41
IV. — Caisse de prêts sociaux ....	358 173,05	398 083,17	443 208,69	482 970,09
V. — Fonds de réserve pour les bâtiments .....	0,00	0,00	0,00	0,00
VI. — <i>Metrologia</i> .....	0,00	0,00	0,00	0,00
VII. — Fonds de réserve pour l'assurance maladie ..	728 727,58	1 165 671,44	1 591 701,63	1 668 467,95
Total .....	29 768 033,59	38 050 465,94	40 439 472,51	43 524 659,21

### *Questions diverses*

Le bureau du Comité a discuté de questions diverses : un avant-projet relatif à la construction d'un nouveau bâtiment destiné à l'atelier de mécanique, une salle de conférence et des bureaux à l'emplacement du bâtiment dit « des Neutrons » ; la nomination d'un responsable de la section des rayonnements ionisants pour remplacer M. Müller qui a pris sa retraite ; la possibilité d'entreprendre un travail pratique de laboratoire dans le domaine de la métrologie en chimie ; la correspondance avec le secrétaire général de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) sur l'avenir de l'ISO/TAG 4, le groupe de travail chargé de la mise au point du *Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie* et du *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure*.

### 3. Besoins à long terme de la métrologie

M. Blevin est invité à présenter brièvement le projet de rapport sur les besoins nationaux et internationaux relatifs à la métrologie, les collaborations internationales qu'ils impliquent et le rôle du BIPM, rapport que le CIPM lui avait demandé de préparer en 1995, en réponse à la Résolution 11 adoptée par la 20<sup>e</sup> Conférence générale.

Lors de la présentation de son rapport, M. Blevin précise qu'il résulte de discussions avec des directeurs de laboratoires nationaux de métrologie, des représentants des organisations régionales de métrologie et d'organisations internationales telles que la Commission électrotechnique internationale (CEI), l'ILAC, l'ISO et avec des personnalités bien informées, ainsi que de discussions avec le directeur du BIPM et le bureau du Comité. Il souligne qu'il est important de prendre conscience que les acteurs de la métrologie internationale sont plus nombreux qu'il y a trente ans.

Les principales propositions concernent :

- une plus grande importance accordée aux comparaisons clés de mesures, en vue de vérifier l'équivalence des étalons nationaux de mesure, et à la publication de leurs résultats, afin de rendre compte du degré d'équivalence ;
- une plus grande collaboration du BIPM avec les organisations internationales de métrologie ;
- l'élargissement de la mission des comités consultatifs ;
- le commencement d'un travail pratique de laboratoire au BIPM dans le domaine de la métrologie en chimie ;
- une collaboration plus active du BIPM avec des organismes extérieurs, en particulier avec l'ILAC, mais aussi avec l'OIML, l'ISO et la CEI.

Quelques recommandations spécifiques sont faites au sujet du rôle à venir du BIPM et des travaux qu'il convient d'entreprendre.

Le président remercie M. Blevin pour son rapport et demande s'il y a des commentaires.

Une large discussion s'engage, d'où ressortent deux points en particulier : il faut prendre en compte les besoins et la compétence des pays qui ne sont pas au plus haut niveau en métrologie et les effets des nouvelles technologies sur les activités des laboratoires nationaux de métrologie et du BIPM.

M. Wallard dit que ce document est extrêmement important, mais que les propositions relatives aux relations futures entre le BIPM et les organisations régionales méritent d'être considérées avec soin. Il souhaite que le BIPM joue un rôle prééminent au niveau international. M. Blevin répond que le BIPM doit maintenir des liens étroits avec les organisations régionales ; il est surpris de constater, par exemple, que M. Quinn n'ait été contacté que très récemment par

NORAMET. M. Quinn explique que les contacts avec EUROMET et l'Asia/Pacific Metrology Programme (APMP) ont été plus nombreux tout simplement parce que ces organisations sont plus actives et ont plus progressé. M. Kaarls ajoute que le BIPM, les laboratoires nationaux et les organisations régionales de métrologie ont longuement discuté des relations qu'ils pourraient entretenir. La situation évolue rapidement ; les nouvelles technologies ont des répercussions importantes sur les laboratoires nationaux de métrologie et le BIPM : par exemple, les vérifications précises sont maintenant faites à l'aide d'instruments transportables.

Mme Gebbie note que le rapport de M. Blevin, excellent pour les trois ou quatre prochaines années, devra être reconsidéré à la lumière des nouvelles technologies qui sont appelées à voir le jour d'ici l'an 2010. Elle demande de réfléchir plus profondément aux implications que cela pourrait avoir pour le BIPM.

M. Mills est heureux que l'on reconnaisse l'importance de la métrologie en chimie et souhaite que les relations avec les chimistes soient renforcées. Il est impatient de voir le BIPM entreprendre un travail pratique dans ce domaine. Le président répond que le BIPM n'est pas dans une position favorable car ses moyens financiers sont limités. M. Kaarls souligne qu'il faudra travailler pendant plusieurs décennies avant d'établir des fondements solides dans le domaine de la métrologie en chimie.

MM. Lounasmaa et Moscati observent que les plus petits pays apprécient d'être reliés directement au BIPM : il ne faut en aucun cas que les organisations régionales fassent obstacle entre le BIPM et les États membres. Cette question avait déjà été évoquée lors de la 20<sup>e</sup> Conférence générale. Il est en effet important que les plus petits pays se sentent impliqués, qu'ils se sentent les représentants de la Convention du Mètre dans leur région. M. Kovalevsky fait remarquer que neuf pays ont cessé de payer leurs contributions, peut-être parce qu'ils trouvent celle-ci trop élevée ou que le service rendu ne répond pas à leur attente : il ne sera possible d'attirer de nouveaux pays que s'ils ont le sentiment que nous leur sommes utiles et que leurs contributions sont un bon investissement. M. Moscati souligne que les plus petits pays veulent accroître leur visibilité et recevoir des informations.

#### *Les laboratoires nationaux de métrologie*

Le CIPM constate que plusieurs laboratoires nationaux de métrologie ont récemment changé de statut. Ils ont été plus ou moins privatisés et se trouvent ainsi soumis à certaines pressions d'ordre commercial. Il est suggéré que cela pourrait entraîner à l'avenir des problèmes dans le domaine de la coopération internationale. Une discussion générale a lieu. Bien que rien dans la politique des gouvernements et des laboratoires ne prouve que ce sentiment soit fondé à l'heure actuelle, le CIPM recommande d'étudier sérieusement la question. Les laboratoires en question devraient exposer clairement et ouvertement leur politique vis à vis des autres pays dans le domaine commercial.

### *Les comités consultatifs*

Une autre question posée dans le rapport de M. Blevin concerne la composition et la mission des comités consultatifs. En vue du rôle élargi que les comités consultatifs pourraient se voir confier, il est nécessaire de définir clairement quels sont les critères pour en désigner les membres. Après discussion, les critères suivants sont adoptés.

La composition des comités consultatifs est décidée par le CIPM, en consultation avec les présidents des comités consultatifs et le directeur du BIPM.

Les laboratoires invités à être membres d'un comité consultatif doivent être reconnus comme étant les plus compétents au niveau international dans le domaine couvert par ce comité. Cela implique normalement :

- que ce soient des laboratoires nationaux chargés d'établir les étalons nationaux dans ce domaine ;
- qu'ils soient actifs dans le domaine de la recherche et aient publié dans les journaux de recherche de réputation internationale ;
- que leur compétence ait été démontrée par leur participation à des comparaisons internationales organisées par le comité consultatif, le BIPM ou une organisation régionale de métrologie.

En plus des laboratoires membres, les comités consultatifs peuvent avoir pour membres :

- des personnes nominativement désignées dont les connaissances et la compétence dans le domaine sont tels qu'elles peuvent apporter une aide précieuse au comité consultatif, même si elles viennent d'un laboratoire qui ne répond pas aux critères pour être membre du comité ;
- des unions internationales ou d'autres organisations internationales dont l'avis ou les compétences peuvent être utiles au comité consultatif.

Les présidents des comités consultatifs peuvent de temps à autre inviter des observateurs à assister aux réunions, y compris des représentants des laboratoires qui pourraient répondre aux critères mais qui ne sont pas encore membres.

En général, le laboratoire national de métrologie de chaque État membre de la Convention du Mètre qui le souhaite peut être membre ou observateur d'au moins un comité consultatif.

### *Groupe de travail sur l'acoustique, les ultrasons et les vibrations*

Dans le cadre de l'extension du domaine d'activité couvert par les comités consultatifs, M. Blevin suggère d'étudier les besoins en acoustique, ultrasons et vibrations. Il dit qu'il existe un groupe actif dans ces domaines au CSIRO et que celui-ci collabore activement avec certains laboratoires européens, mais qu'il lui est difficile d'établir une coopération plus large au niveau international. Le président suggère qu'un groupe de travail du CIPM soit établi pour étudier cette question et examiner s'il est nécessaire ou non de créer un nouveau comité consultatif ou de trouver une place pour ces activités dans l'un des comités existants.

tants. M. Wallard est chargé de rédiger un projet définissant les missions de ce groupe.

Le CIPM décide d'établir un groupe de travail *ad hoc* chargé d'étudier la nécessité d'uniformiser, au niveau mondial, les mesures dans le domaine de l'acoustique, des ultrasons et des vibrations. Les missions de ce groupe de travail sont les suivantes :

- établir quels sont les besoins spécifiques d'uniformité au niveau mondial dans les domaines de l'acoustique, des ultrasons et des vibrations ;
- voir à quel point ces besoins sont satisfaits par les moyens existants, en dehors de la Convention du Mètre ;
- étudier s'il est souhaitable ou non pour le CIPM d'établir un programme d'activités dans ce domaine, y compris des comparaisons clés de mesures, dans le cadre d'un nouveau comité consultatif ou d'un comité existant ;
- présenter un rapport au CIPM lors de sa session de 1997.

Il est décidé que ce groupe sera composé de M. A. Wallard (président) et de représentants du BIPM, du CSIRO, du DFM, du NIST, du NPL, du NRLM et de la PTB, le président étant habilité à nommer un ou deux membres supplémentaires s'il le juge nécessaire.

Il est finalement décidé de convoquer une réunion des directeurs de laboratoires nationaux de métrologie de tous les États membres de la Convention du Mètre les 17 et 18 février 1997, en vue de connaître leur opinion sur les besoins futurs de la métrologie et discuter de propositions relatives à l'équivalence internationale des étalons nationaux de mesure.

#### **4. La Convention du Mètre et l'Organisation internationale de métrologie légale**

Le président rappelle que, en réponse à la Résolution 10 de la 20<sup>e</sup> Conférence générale en 1995, un groupe de travail commun à la Convention du Mètre et à l'Organisation internationale de métrologie légale (OIML), comprenant le bureau du Comité et son équivalent au sein du Comité international de métrologie légale (CIML), s'est réuni le 22 février 1996 pour discuter des relations à venir entre la Convention du Mètre et l'OIML, dans le contexte des besoins futurs de la métrologie. Une deuxième réunion doit avoir lieu le 27 septembre 1996, juste après la session du CIPM, et une troisième réunion est prévue pour février 1997.

Suite à une discussion assez ouverte, certains membres du CIPM ont exprimé un manque d'enthousiasme pour une fusion entre les deux organisations ; l'étude de M. Blevin laisse à penser que les perspectives d'avenir de la métrologie légale ne font pas de l'OIML le partenaire le plus adapté à nos activités. La conclusion à laquelle le bureau du Comité est parvenue est de maintenir de

bonnes relations et continuer la collaboration avec l'OIML, mais de ne pas encourager à une fusion.

Après discussion, le CIPM a fait la déclaration suivante :

Le CIPM, ayant examiné le projet de rapport de M. Blevin sur les besoins nationaux et internationaux en métrologie, a conclu que la différence fondamentale entre le domaine d'action et les objectifs du BIPM, agissant dans le cadre de la Convention du Mètre, et ceux de l'OIML, est telle qu'il n'y a quasiment pas de recouvrement significatif dans leurs activités.

Par conséquent, le CIPM considère qu'aucun gain en efficacité ou économie significative pour les États membres ne résulterait d'une fusion entre les deux organisations. Aussi, bien qu'il existe déjà nombre de liens de coopération entre le BIPM et l'OIML que l'on pourrait renforcer, il serait préférable pour les États membres que les deux organisations continuent à fonctionner en deux entités séparées.

Le CIPM encourage donc ses représentants au groupe de travail commun de la Convention du Mètre et de l'OIML à travailler en vue de relations plus étroites et d'une meilleure collaboration avec l'OIML, sans avoir pour objectif une fusion des deux organisations.

D'un autre côté, il est nécessaire que le BIPM collabore avec d'autres organisations internationales et en particulier le bureau du Comité est encouragé à promouvoir une liaison étroite avec l'organisme de coopération internationale pour l'accréditation des laboratoires (ILAC).

## 5. Équivalence des étalons nationaux de mesure

M. Quinn présente sa note du 12 juillet 1996 sur l'équivalence internationale des étalons nationaux de mesure. Il rappelle que l'une des tâches du BIPM est l'organisation de comparaisons internationales des étalons nationaux de mesure des États membres de la Convention du Mètre, soit directement, soit par l'intermédiaire de ses comités consultatifs. Des résumés des résultats de ces comparaisons, avec les incertitudes associées, sont maintenant publiés dans *Metrologia* à la rubrique « International reports ». Le besoin de documents permettant de rendre compte de l'équivalence des étalons nationaux de mesure s'est beaucoup développé au cours des dernières années, en réponse à la demande des organismes d'accréditation et en raison de la nécessité de réduire les barrières techniques au commerce international. Les réponses à la note de M. Quinn montrent qu'il n'y a pas pour le moment de consensus sur la manière dont les comités consultatifs et le BIPM doivent interpréter les résultats des comparaisons clés. La proposition originelle dite « des deux bandes » est ressentie comme conduisant à un classement et à une discrimination entre les laboratoires, engendrant une compétition pour apparaître au meilleur niveau. Tout en reconnaissant que cette conséquence est inévitable, le CIPM pense qu'il est indispensable de don-

ner des informations simples et claires aux organismes d'accréditation, tels que l'ILAC.

Après une longue discussion, la proposition suivante est approuvée :

- Après chaque comparaison clé, la valeur moyenne pondérée des résultats, avec l'incertitude associée, sera déterminée pour produire une valeur moyenne de référence agréée. Les résultats des laboratoires participant à ces comparaisons, ou à des comparaisons qui leur sont liées, seront donc reliés à cette valeur moyenne agréée. Le moment venu, des critères « d'équivalence générale » seront approuvés, après discussion avec les directeurs des laboratoires nationaux de métrologie et les comités consultatifs.
- Le CIPM fera une déclaration, s'appliquant à toutes les comparaisons clés, expliquant clairement et simplement ce que recouvre cette notion d'équivalence lorsque les résultats d'un laboratoire sont comparés à une valeur de référence agréée.

## 6. Comités consultatifs

Depuis octobre 1995, les comités consultatifs suivants se sont réunis : le CCQM en février 1996, le CCDS en mars 1996, le CCU en avril 1996, le CCM en mai 1996, le CCEMRI en juin 1996 et le CCT en septembre 1996. La réunion du CCDS était précédée de celle de son Groupe de travail sur le TAI, celles du CCM et du CCT étaient aussi précédées des réunions de leurs groupes de travail respectifs.

### 6.1 Comité consultatif pour la quantité de matière

M. Kaarls, président du Comité consultatif pour la quantité de matière (CCQM), présente le rapport sur la 2<sup>e</sup> session que ce comité a tenue les 14 et 15 février 1996, au Pavillon de Breteuil.

La réunion a commencé par une longue discussion sur ce que signifie réellement la traçabilité à la mole. Il est clair que plusieurs membres du CCQM éprouvent des difficultés à comprendre ce que signifie, en général, le concept de traçabilité, et, en particulier, dans le domaine de la métrologie en chimie. En conséquence, des définitions provisoires ont été formulées en ce qui concerne :

- la traçabilité au SI des mesures en chimie ;
- les méthodes primaires de mesures ;
- les matériaux de référence primaires.

La traçabilité au SI peut être réalisée en appliquant une méthode primaire, mais elle peut aussi être réalisée de manière indirecte :

- au moyen d'autres méthodes, accompagnées d'une évaluation de l'incertitude ;

- à l'aide de matériaux de référence, pour lesquels la valeur de la grandeur associée est déterminée et accompagnée d'une évaluation de l'incertitude ;
- à l'aide de facteurs de conversion, comme par exemple les masses molaires, la constante de Faraday ou la constante d'Avogadro, dont l'incertitude fait l'objet d'une évaluation bien établie.

La deuxième partie de la réunion a été consacrée à une discussion des rapports préliminaires des groupes de travail, décrivant les méthodes primaires les plus appropriées, telles que :

- la spectrométrie de masse avec dilution isotopique (IDMS), accompagnée de protocoles pour la spectrométrie de masse d'un plasma induit par une source micro-onde (ICP-MS) ou la spectrométrie de masse par thermo-ionisation (TIMS) ;
- la coulométrie ;
- la gravimétrie ;
- le titrage ;
- la détermination de la dépression du point de congélation.

Les rapports finaux seront discutés lors de la 3<sup>e</sup> session du CCQM, au mois de février 1997.

La troisième partie de la réunion a été consacrée aux comparaisons internationales. La comparaison de mélanges de gaz progresse bien et la majorité des résultats est satisfaisante. Le NMi enverra le dernier groupe de mélanges de gaz (gaz naturel) au cours du second semestre de 1996. Le CCQM a décidé d'organiser une comparaison de mesures de la teneur en plomb de l'eau. Le CCQM a aussi décidé d'organiser une comparaison de mesures d'un composé organique : le pp'-DDE a été choisi comme substance à analyser (c'est l'un des principaux métabolites du DDT, un pesticide organochloré).

Le CCQM a ensuite décidé de rédiger un projet de document d'orientation fondé sur l'idée que la chaîne de traçabilité doit reposer sur :

- un nombre limité de matériaux de référence clés ;
- une série de méthodes robustes, dont l'évaluation est bien établie, qui s'applique aussi à des composés plus complexes ;
- des comparaisons clés.

Le CCQM est toutefois conscient que, dans certains domaines de mesure en chimie, il sera très difficile, sinon impossible, de réaliser la traçabilité au SI. Des problèmes spécifiques peuvent aussi se poser quant à l'échantillonnage et à la préparation des échantillons.

En conclusion, le CCQM est d'avis que le BIPM devrait commencer un travail pratique de laboratoire en chimie choisi avec soin, afin d'acquérir des connaissances, de l'expérience et une certaine position, de manière à ce que le BIPM soit perçu comme une autorité en matière de traçabilité capable de servir de guide à la communauté des chimistes. M. Quinn dit que le BIPM fera une pro-

position au CCQM lors de sa 3<sup>e</sup> session en 1997, après consultation de spécialistes dans les laboratoires nationaux.

La composition du CCQM a été renforcée ; le CCQM comprend maintenant les représentants des principaux organismes ayant de l'influence dans le domaine de la chimie. De plus, le CCQM ne travaille pas uniquement au plus haut niveau, mais prend aussi en compte les besoins de base.

La 3<sup>e</sup> session du CCQM se tiendra à Sèvres les 20 et 21 février 1997.

M. Kaarls termine son rapport en faisant part de la parution prochaine d'un numéro spécial sur la quantité de matière dans *Metrologia* (1997, 34, n° 1).

## 6.2 Comité consultatif pour la définition de la seconde

M. Kovalevsky présente le rapport sur la 13<sup>e</sup> session du Comité consultatif pour la définition de la seconde (CCDS) qui s'est tenue au Pavillon de Breteuil les 12 et 13 mars 1996. Cette session était précédée par une réunion d'un jour des laboratoires qui contribuent au TAI, et, quelques semaines auparavant, par la réunion du Groupe de travail sur les comparaisons d'horloges par aller et retour sur satellite.

Le premier point important était une présentation des progrès faits sur les étalons et les horloges atomiques. Ces trois dernières années ont vu une percée remarquable avec la mise en œuvre de nouveaux étalons primaires :

- La fontaine de césium du BNM-LPTF est actuellement l'étalon ayant l'incertitude la plus faible ( $3 \times 10^{-15}$ ) et un second prototype est en construction en vue de sa mise sur orbite (PHARAO). D'autres laboratoires construisent des fontaines : le NIST, le NPL, le NRLM, la PTB et le NRC.
- L'étalon primaire à pompage optique et à jet de césium du NIST présente une incertitude de  $5 \times 10^{-15}$ , et les mesures de fréquence qu'il délivre sont en accord avec celle de la fontaine du BNM-LPTF. D'autres étalons de ce type sont en construction au BNM-LPTF, au LHA, au Politecnico di Torino, au KRISS et au CRL.
- Des travaux de remise en état sont en cours sur les étalons à jet de césium classiques au NRC, à la PTB et au VNIIFTRI.
- Des masers à hydrogène transportables de grande stabilité sont en cours d'étude au VNIIFTRI.
- Des travaux sur des étalons fondés sur des ions piégés sont en cours au CSIRO, au NIST, au NRC et à l'Université de Provence (Marseille, France).
- Des travaux sur des chaînes à haute fréquence sont en cours à la PTB et au BNM-LPTF, avec une stabilité de  $6 \times 10^{-15}$ .

Dans sa Recommandation S 1 (1996), sur les étalons primaires de fréquence, le CCDS demande aux laboratoires nationaux de métrologie de fournir les moyens en personnel et en matériel nécessaires pour permettre le bon fonction-

nement des nouveaux étalons sur lesquels l'exactitude du TAI et de l'UTC est fondée.

Un groupe de travail a été formé, dont M. Douglas du NRC est le président, pour étudier comment exprimer l'exactitude des étalons primaires en conformité avec le guide de l'ISO.

Le CCDS a approuvé la décision du Groupe de travail du CCDS sur le TAI d'appliquer une correction pour le décalage de fréquence des étalons primaires dû au rayonnement du corps noir, et a adopté la Recommandation S 2 (1996) sur ce sujet. L'application de cette correction entraîne une modification de la marche relative du TAI de  $-1,9 \times 10^{-14}$  qu'il faut compenser par des sauts d'une amplitude relative de  $1 \times 10^{-15}$  tous les deux mois.

Le CCDS a écouté le rapport de la section du temps du BIPM et les rapports de ses groupes de travail, et il a félicité la section du temps du BIPM pour son travail. Le BIPM a publié un premier programme de vues simultanées pour le GLONASS.

Le CCDS s'est ému des problèmes de corrélation entre des horloges fonctionnant dans un même laboratoire et a adopté la Recommandation S 3 (1996) pour encourager les laboratoires à étudier les corrélations entre les horloges qui contribuent au TAI.

M. Klepczynski est le nouveau président du Groupe de travail du CCDS sur les comparaisons d'horloges par aller et retour. Cette technique semble équivalente au GPS en ce qui concerne la stabilité, mais il subsiste des problèmes d'étalement.

Dans sa Recommandation S 4 (1996), le CCDS recommande la coordination des deux systèmes qui diffusent le temps par satellite, le GPS et le GLONASS.

Le CIPM approuve les Recommandations S 1, S 2 et S 3 du CCDS, et décide d'adopter la Recommandation S 4 sur la coordination des systèmes satellitaires qui diffusent le temps comme Recommandation 1 (CI-1996) (voir p. 29).

#### *Groupe de travail du CCDS sur l'application de la relativité générale à la métrologie*

M. Kovalevsky poursuit en disant que le CCDS a longuement discuté du rapport du Groupe de travail du CCDS sur l'application de la relativité générale à la métrologie et invite M. Guinot à présenter celui-ci au CIPM.

M. Guinot présente tout d'abord la composition du groupe de travail et ses activités. Il souligne que la nécessité de prendre en compte la courbure spatio-temporelle en physique macroscopique est apparue avec le développement des étalons atomiques de temps. Avec les progrès constants de ces étalons, à la fois dans les laboratoires de recherche et dans l'industrie, ce besoin s'est étendu à un nombre croissant de personnes. On peut citer en exemple l'orbitographie précise des satellites artificiels en géodésie spatiale, avec ses nombreuses applications aux sciences de la Terre.

Le modèle spatio-temporel d'après lequel les unités du SI sont définies n'est pas spécifié, mais la forme de leur définition suggère qu'il s'agit du modèle newtonien. Bien que seule l'interprétation relativiste de la définition des unités de temps et de longueur soit réellement nécessaire, le groupe de travail a trouvé utile d'étendre la discussion à toutes les unités de base du SI.

La relativité générale a été adoptée comme modèle relativiste parce que c'est le modèle le plus simple et aussi parce que, jusqu'à maintenant, les observations ne l'ont jamais remise en question.

Les clés pour comprendre la métrologie dans ce contexte sont le principe d'équivalence d'Einstein en physique au niveau local et la distinction entre les grandeurs propres et les grandeurs coordonnées dans des domaines spatiaux étendus. Selon le principe d'équivalence d'Einstein, les lois de la physique au niveau local prennent la même forme, partout et n'importe quand, quand les mesures se réfèrent à des étalons locaux et sont traitées dans le cadre de la relativité spéciale. À proprement parler, cela n'est vrai que dans un laboratoire en chute libre et de dimensions infinitésimales, mais nous pouvons accepter l'approximation d'un laboratoire de dimensions restreintes, qui subit une accélération, tels que les laboratoires à la surface de la Terre. Dans ce cas, les forces d'inertie doivent être traitées comme d'autres forces, par exemple, les forces électrostatiques.

Définir ce qui est assez petit dépend de l'exactitude des mesures requise ; par exemple, les dimensions d'une salle telle que cette salle de réunion sont à peine assez petites pour les meilleures mesures de temps. Il est certainement troublant que la métrologie classique ne puisse plus s'appliquer quand on a besoin de se référer à un espace plus étendu, mais nous devons accepter ces limites.

La conséquence importante du principe d'équivalence d'Einstein est que les unités doivent être considérées comme définies sur la ligne d'univers de l'étalon qui les représente. Ce sont des grandeurs propres à ces étalons. Par extension, on peut les considérer comme des grandeurs propres à un laboratoire, si ce dernier est suffisamment petit, lorsqu'elles sont fournies par des étalons fixes de ce laboratoire.

Une autre conséquence, rarement mentionnée, est que les constantes physiques sont des grandeurs propres, définies à partir d'expériences locales, mesurées en unités propres. C'est, par exemple, le cas de  $c$  et de  $G$ .

M. Guinot dit ensuite que les unités du SI sont définies à partir d'expériences locales et qu'elles correspondent donc à des unités propres, dans le cadre de la relativité générale. Lorsque nous utilisons ces unités dans un domaine spatial étendu, il faut s'assurer que les effets de la courbure spatio-temporelle restent négligeables. (Il peut arriver, dans un avenir proche, que le mètre soit considéré comme trop long pour être une unité locale, mais ce n'est pas ici un problème de définition, car sa définition peut être considérée comme s'appliquant à un espace plat tangentiel).

Ces déclarations semblent simples, mais elles sont souvent mal comprises, comme lorsque l'on considère que l'existence d'un champ gravitationnel est une perturbation qui doit être traitée comme l'est, par exemple, l'existence d'un champ magnétique. C'est totalement faux en physique au niveau local : si on applique, par exemple, une correction gravitationnelle pour obtenir la seconde au niveau local, les fondements mêmes de la physique s'effondrent.

Nous avons tous l'habitude du système spatio-temporel newtonien où il est possible de choisir de bonnes coordonnées qui puissent être mesurées directement à l'aide d'étalons transportables, tels que des étalons matériels de longueur ou des horloges. C'est aussi possible, avec certaines restrictions, en relativité spéciale, mais dans ce cas les coordonnées doivent être considérées comme des étiquettes attachées à des événements, dépourvues de toute signification physique immédiate. Les coordonnées sont des outils, utilisés dans un modèle mathématique appliqué à des expériences physiques, et doivent être transformées en grandeurs propres à un utilisateur. Une question embarrassante est celle de la dimension et de l'unité des coordonnées. Selon les règles des grandeurs quantifiables ce sont des grandeurs bien définies, avec les dimensions habituelles de temps et de longueur, dont les unités de mesure sont la seconde et le mètre. Toutefois, la plupart des membres des groupes de travail du CCDS, les théoriciens comme les métrologistes, préfèrent considérer que les coordonnées ont leur propre système d'unités de « graduation ». Dans ce rapport, M. Guinot précise qu'il a introduit la notion « d'unité d'échelle » de coordonnées pour éviter toute confusion, en conformité avec la terminologie du TAI définie par le CCDS.

Une grande partie de ce rapport est consacrée à la métrologie du temps, et donne les définitions et les conventions qui ont été adoptées. Le rapport est en accord avec les recommandations de l'UAI et de l'UGGI, fondées sur les travaux de MM. Kovalevsky et Mueller. Les formules pour les comparaisons de temps et de fréquence d'horloges distantes et d'étalons de fréquence y sont décrites en détail, et des articles spécialisés de MM. Petit et Wolf y sont reproduits en annexe. La section du temps du BIPM a participé activement à la rédaction de ce rapport qui sera soumis pour publication à *Metrologia*.

À la fin de ce rapport, les membres du CIPM félicitent M. Guinot pour le travail accompli.

### 6.3 Comité consultatif des unités

Lors de la 84<sup>e</sup> session du CIPM en 1995, il avait été demandé à M. Mills de présider le Comité consultatif des unités (CCU) pour une période de cinq ans à dater du 1<sup>er</sup> janvier 1996. M. Mills présente donc le rapport de la 12<sup>e</sup> session du CCU qui s'est tenue au Pavillon de Breteuil les 16 et 17 avril 1996.

M. Mills dit que cette session a été principalement consacrée à des discussions sur la 7<sup>e</sup> édition de la brochure sur le SI (dont un projet a été distribué aux

membres du CIPM), ainsi qu'à la présentation et à la discussion des rapports des groupes de travail créés lors de la 11<sup>e</sup> session du CCU en 1995.

Le CCU reconnaît que l'utilisation des préfixes kilo, mega et giga en informatique pour dénoter des puissances de deux, c'est-à-dire  $2^{10}$ ,  $2^{20}$  et  $2^{30}$ , continue de créer des confusions. Il recommande dans sa Recommandation U 1 (1996) que le CIPM appuie les efforts de la CEI pour trouver des noms appropriés et des symboles pour les préfixes des puissances de deux utilisées en informatique. Le CCU n'a pas souhaité faire référence à ce problème dans la brochure sur le SI. Cette recommandation est adoptée par le CIPM comme Recommandation 2 (CI-1996) (*voir* p. 30).

Le Groupe de travail 1 a présenté son rapport sur le neper et le bel, des unités qui ne figurent pas dans la 6<sup>e</sup> édition de la brochure sur le SI (1991). Le CCU recommande maintenant que ces unités figurent dans la nouvelle édition de la brochure, au tableau 6 « Unités en usage avec le Système international », le neper étant un nom spécial pour l'unité sans dimension 1 et le bel étant une unité en dehors du SI. Le CCU recommande que le CIPM soumette à la Conférence générale la proposition de transférer le neper au tableau 3 « Unités SI dérivées ayant des noms et des symboles spéciaux ».

Le Groupe de travail 2 a présenté son rapport sur le gon, une unité d'angle plan. Après discussion, le CCU a décidé de ne pas introduire le gon dans la brochure sur le SI.

Le Groupe de travail 3 a présenté son rapport sur la possibilité d'ajouter des préfixes SI supplémentaires pour dénoter, par pas de 1000, les puissances de 10 jusqu'à  $10^{48}$  et  $10^{-48}$ . Cette proposition n'a pas fait l'objet d'un consensus et le CCU a décidé d'étudier cette question plus en détail.

Le Groupe de travail 4 a présenté un projet de nouveau chapitre à ajouter à la brochure sur le SI consacré aux règles d'écriture des grandeurs en unités SI intitulé « Écriture des noms d'unités SI et de leurs symboles, et des valeurs de ces grandeurs ». Le texte est en accord avec les éditions les plus récentes des normes ISO 31 et ISO 1000.

Revenant à la brochure sur le SI, M. Mills note que le chapitre 1 « Introduction » a été révisé pour tenir compte de la contribution de M. Giorgi à la métrologie, et qu'un paragraphe a été ajouté sur les implications des effets relativistes sur les unités du SI. Le chapitre 4, sur les unités en dehors du SI, a fait l'objet d'une longue discussion, à l'issue de laquelle il a été modifié. Quelques mots d'introduction ont été ajoutés au chapitre 4 pour indiquer les avantages qui résultent de l'utilisation des unités du SI.

Le CIPM approuve les grandes lignes des changements présentés par M. Mills.

M. Quinn ajoute que le CCU a proposé que le CIPM lui donne l'autorité, ainsi qu'à M. Mills et à M. Blackburn, de procéder à la publication de cette brochure. Le CIPM approuve cette proposition.

M. Moscati suggère que la partie de l'annexe 2 de la brochure sur le SI consacrée à la constante de Josephson et à l'effet Hall quantique soit modifiée pour tenir compte de l'ajustement des constantes fondamentales que CODATA doit approuver en 1997. M. Kovalevsky répond que le choix des constantes fondamentales est arbitraire et ne concerne pas le SI. M. Quinn ajoute que même si les valeurs les plus récentes des constantes fondamentales de  $e$  et de  $h$  venaient à changer, les valeurs conventionnelles de  $K_J$  et de  $R_K$  ne changeront pas pour autant. M. Mills n'est pas favorable à la proposition de M. Moscati, car la brochure sur le SI n'est pas destinée aux spécialistes ni aux universitaires.

#### **6.4 Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées**

Le Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées (CCM) a tenu sa 6<sup>e</sup> session du 29 au 31 mai 1996, au Pavillon de Breteuil. Son président, M. Iizuka, présente les principaux points discutés lors de cette réunion.

Avant la réunion, le président avait demandé à chaque groupe de travail du CCM d'identifier les comparaisons clés, en se référant au document préparé par M. Quinn sur l'équivalence des étalons nationaux de mesure. Les discussions ont eu lieu lors des réunions des groupes de travail, avant la session du CCM. Les conclusions auxquelles sont parvenus les groupes de travail sur les masses et les pressions ont été approuvées par le CCM.

L'activité du CCM repose principalement sur sept groupes de travail, composés de spécialistes de chacun des domaines couverts. Les principales conclusions de cette session sont les suivantes :

##### *Masses et Club balances*

La comparaison internationale d'étalons de 1 kg en acier inoxydable est en cours ; on fait circuler deux séries, chacune de deux étalons de masse, parmi deux groupes de laboratoires. On a étudié la contamination et la méthode de nettoyage des étalons en acier inoxydable et des prototypes en platine iridié. L'évaluation de la correction pour la poussée de l'air et une nouvelle méthode pour la mesure du volume des étalons de masse ont aussi fait l'objet d'un rapport. Comme comparaisons clés, le CCM a approuvé la mesure d'étalons de masse en acier inoxydable comportant des masses de 100 mg, 1 g, 100 g, (1 kg) et 10 kg et il a décidé de répéter les comparaisons tous les cinq ou six ans. Le laboratoire pilote est la PTB, sauf pour les comparaisons d'étalons de 1 kg, dont le laboratoire pilote est le BIPM. La proposition d'ajouter un étalon de 50 kg à ces comparaisons sera étudiée.

##### *Masse volumique*

Le Groupe de travail sur la masse volumique a présenté un rapport sur les améliorations récentes apportées aux mesures du diamètre de sphères en silicium au CSIRO-NML. On a recensé les résultats disponibles pour la masse volumique

de l'eau pure. Le groupe a accepté de rédiger une nouvelle table pour la masse volumique de l'eau, après consultation d'experts qui ne font pas partie de ce groupe.

En ce qui concerne la masse volumique de l'air, la PTB a présenté un rapport sur la comparaison de mesures de masse volumique organisée sous les auspices d'EUROMET avec trois types de corps.

Le BIPM a présenté un rapport sur le gradient d'humidité à l'intérieur de l'enceinte d'une balance et ses effets sur la mesure de la masse volumique de l'air. La discussion a aussi porté sur un étalon primaire pour étalonner les hygromètres et sur une possible re-détermination de la masse volumique du mercure.

### *Forces*

Le groupe de travail sur les forces a discuté des paramètres entrant dans l'estimation de l'incertitude des machines de mesure de force étalons et de l'amélioration du système à pyramide de capteurs pour les étalons de force au-dessus de 500 kN. Le groupe continue à rassembler des données de comparaisons bi- et multilatérales d'étalons de force et il est bien préparé à organiser des comparaisons clés dans le domaine de 2 kN à 20 kN, 100 kN à 1 MN et de 1 MN à 10 MN.

### *Pressions*

La comparaison de la pression d'un liquide jusqu'à 500 MPa, organisée par le Groupe de travail sur les hautes pressions, se poursuit dans la région Asie-Amérique du Nord avec le NRLM comme laboratoire pilote. Une nouvelle comparaison en milieu gazeux et en mode relatif de 0,05 MPa à 1 MPa (avec une extension possible jusqu'à 7 MPa) est en préparation.

Le Groupe de travail sur les moyennes pressions a étudié le rapport présenté par le NPL sur les comparaisons dans le domaine de 10 kPa à 140 kPa, et il a été décidé de les répéter avec un étalon de transfert plus stable. Le choix de jauges à piston à air pour ces futures comparaisons a fait l'objet d'une longue discussion.

Le Groupe de travail sur les basses pressions a passé en revue les résultats d'une comparaison préliminaire de pressions d'un vide poussé de  $10^{-9}$  Pa à  $10^{-3}$  Pa qui ont été présentés par la PTB. Deux types d'étalons de transfert ont été essayés pour la comparaison dans le domaine de 1 Pa à 1000 Pa, mais leur stabilité était insuffisante et il a été décidé d'étudier de nouveau la stabilité et le mode de transport des jauges. Le NPL a présenté les résultats d'une comparaison de mesures de pression différentielle jusqu'à 1000 Pa faite sous les auspices d'EUROMET.

Au cours d'une réunion commune, les trois groupes de travail sur les pressions ont décidé de recommander une liste de comparaisons clés couvrant le domaine de  $10^{-6}$  Pa (en mode absolu) à 1 GPa (en mode relatif).

### Constante d'Avogadro

Les laboratoires membres ont essayé de trouver une explication aux différences constatées entre la masse molaire de sphères en silicium de différentes provenances, mais ils ne sont parvenus à aucune conclusion. Ils ont décidé d'évaluer les effets des défauts des monocristaux de silicium, de la distortion de la surface des sphères en silicium, de la composition isotopique, des améliorations apportées aux mesures de l'espacement entre plans réticulaires etc, en identifiant la provenance des monocristaux de silicium utilisés pour ces expériences. En raison de la mission à long terme de ce groupe de travail, il a été décidé de le renommer Groupe de travail sur la constante d'Avogadro au lieu de Groupe de travail *ad hoc*.

Après la présentation des rapports des différents groupes de travail, leur composition a été confirmée et certains changements approuvés, puis M. Gläser de la PTB a présenté brièvement les études récentes en vue d'une possible redéfinition du kilogramme.

M. Tilford du NIST (Gaithersburg) a constaté que beaucoup d'unités utilisées couramment en manométrie sont des unités en dehors du SI, et qu'elles sont accompagnées de facteurs de conversion d'une précision illusoire. Il propose, par une déclaration, d'attirer l'attention des spécialistes des pressions sur la question. Le comité appuie cette proposition et la déclaration suivante est adoptée à l'unanimité :

Le Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées (CCM) note que de multiples unités de pression, mal définies, mal utilisées et étrangères au SI, posent manifestement un problème pour la métrologie des pressions. Ce problème est particulièrement sérieux en ce qui concerne les unités dites « manométriques », unités qui permettent d'exprimer une pression en fonction de la hauteur d'une colonne de liquide. Certaines publications donnent des facteurs de conversion pour ces unités avec une précision qui excède largement les possibilités de réalisation pratique de ces unités.

Les textes et tables de conversion relatifs aux unités de pression devraient souligner que ces unités manométriques impliquent une valeur admise pour la masse volumique du liquide et pour l'accélération due à la pesanteur. La précision des facteurs de conversion devrait être limitée aux besoins de la technique actuelle et aux incertitudes fondamentales sur la masse volumique du liquide :  $1 \times 10^{-5}$ , ou six chiffres significatifs, pour les millimètres ou les *inches* de mercure (à 0 °C et avec  $g = g_n = 9,806\ 65\ \text{m/s}^2$ ), et  $1 \times 10^{-4}$ , ou cinq chiffres significatifs, pour toutes les autres unités de ce genre. Les unités archaïques admises par convention devraient être exclues des tables de conversion.

Le CCM considère que l'utilisation des unités du SI doit être fortement recommandée.

Il est décidé que le CCM tiendra sa prochaine session en mai 1999.

## 6.5 Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants

M. Moscati présente un bref rapport sur la 14<sup>e</sup> session du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI) qui s'est tenue au Pavillon de Breteuil, les 27 et 28 juin 1996. Un rapport est présenté par chacune des sections.

La Section I (Rayons  $x$  et  $\gamma$ , électrons) a présenté les comparaisons d'étalons de kerma dans l'air et de dose absorbée dans l'eau, et a discuté des travaux effectués sur les étalons en radioprotection et en radiothérapie. Les membres de la Section I considèrent que le BIPM devrait jouer un rôle dans les comparaisons et les étalonnages dans le domaine de photons et d'électrons de haute énergie, même s'il ne possède pas d'accélérateur linéaire. Une recommandation a été adoptée en faveur du maintien au BIPM d'un système fondé sur une série de chambres d'ionisation. Les membres ont demandé de reconsidérer les incertitudes associées à différentes grandeurs physiques utilisées pour les étalons de kerma dans l'air. Un groupe de travail restreint a été créé pour rassembler les résultats des comparaisons faites dans le passé au BIPM ou sous les auspices d'EUROMET, en vue de leur publication dans *Metrologia*.

La Section II (Mesure des radionucléides) a passé en revue les comparaisons de mesures d'activité de radionucléides et les progrès du Système international de référence (SIR), qui a maintenant une vingtaine d'années. Un groupe de travail a été créé pour examiner quelles sont les implications de l'équivalence et de la traçabilité pour les étalons de radioactivité et il a rédigé des directives pour assurer l'équivalence entre laboratoires. Il a été fait mention de problèmes dans les commandes groupées de radionucléides. Le Groupe de travail sur la préparation de sources a été dissous et ses travaux ont été repris par le Groupe de travail sur le SIR étendu. Le Groupe de travail sur les principes de la méthode des coïncidences cessera probablement ses activités après le départ à la retraite de M. Müller.

La Section III (Mesures neutroniques) a présenté les progrès des comparaisons de mesures de neutrons rapides et de neutrons thermiques. Reconnaisant le besoin d'assurance de qualité des étalons de mesure, la Section III considère qu'il est nécessaire de réviser les bases des étalons de mesures neutroniques et leurs incertitudes, en vue de démontrer leur traçabilité aux étalons primaires et de clarifier les besoins en matière de comparaisons futures. La décision de cesser les activités dans le domaine des mesures neutroniques au BIPM a causé quelques problèmes à la Section III, mais la cohérence mondiale des mesures neutroniques devrait être maintenue au moyen des comparaisons entre les laboratoires membres.

Le personnel de la section des rayonnements ionisants du BIPM a présenté ses travaux récents et à venir. L'équivalence des étalons nationaux de mesure et la traçabilité ont été discutés. La composition des trois Sections a été discutée et les dates de leurs prochaines réunions ont été décidées. La prochaine session du CCEMRI se tiendra les 7 et 8 juillet 1997.

## 6.6 Comité consultatif de thermométrie

La 19<sup>e</sup> session du Comité consultatif de thermométrie (CCT) a eu lieu au Pavillon de Breteuil du 18 au 20 septembre 1996 sous la présidence de M. Quinn. La réunion a débuté par une brève évocation de la vie et de l'oeuvre de Luigi Crovini par M. Quinn, qui a ensuite présenté le numéro spécial de *Metrologia* (1996, 33, n° 4) sur la thermométrie dédié à la mémoire de Luigi Crovini et a remercié les nombreux membres du CCT qui y ont contribué.

La première partie de la réunion a été consacrée à une étude générale sur la mise en pratique de l'EIT-90 : ses points fixes, les instruments d'interpolation, les nouvelles informations sur la différence  $T - T_{90}$  et sur la non-unicité de l'échelle dans ses différents domaines.

Ensuite, les rapports des quatre groupes de travail du CCT ont été présentés et discutés. Ces groupes sont responsables des domaines suivants :

- les points fixes de définition et les instruments d'interpolation de l'EIT-90 et la mise à jour du document du CCT intitulé *Supplementary Information for the ITS-90* (Groupe de travail 1) ;
- les points fixes secondaires, les techniques d'approximation de l'EIT-90 et la mise à jour du document du CCT correspondant (Groupe de travail 2) ;
- la traçabilité internationale, la publication des résultats de comparaisons, les procédés pour estimer l'incertitude (Groupe de travail 3) ;
- la détermination de la température thermodynamique et l'extension de l'EIT-90 à des températures plus basses (Groupe de travail 4).

Le CCT propose au CIPM, dans sa Recommandation T 1 (1996), l'extension de l'EIT-90 à des températures plus basses.

En outre, les rapports sur les réunions de deux autres groupes de travail ont été présentés, le Groupe de travail du CCT sur les mesures d'humidité, qui a été créé depuis la 18<sup>e</sup> session du CCT, et le Groupe de travail commun CCT/CCPR sur la mesure des températures thermodynamiques à haute température.

M. Quinn rend compte des diverses comparaisons en cours et, en particulier, des travaux visant à améliorer la présentation des incertitudes dans les mesures d'humidité. Il résume ensuite au CIPM le rapport sur la réunion du Groupe de travail commun CCT/CCPR, ainsi qu'une recommandation issue de ce rapport, que le CCT a décidé de présenter au CIPM.

Les missions, la présidence et la composition des groupes de travail ont été examinés. Tous les présidents ont été reconduits dans leurs fonctions, plusieurs changements dans la composition des groupes ont été approuvés. La mission des groupes de travail 1, 2 et 4 ne change pas, mais celle du groupe de travail 3 est modifiée comme suit :

- rassembler de la documentation sur les comparaisons et résumer les résultats ;

- revoir la liste des comparaisons clés approuvées par le CCT et en proposer d'autres si nécessaire ;
- conseiller des méthodes pour l'estimation des incertitudes.

La composition de ce groupe de travail a été élargie pour assurer une large couverture géographique : il comprend maintenant des représentants de laboratoires appartenant à toutes les organisations régionales de métrologie actuellement actives. Il a été décidé que M. Quinn écrirait aux coordonnateurs des organisations régionales de métrologie pour leur demander que les groupes chargés de la thermométrie dans ces organisations informent le président du groupe de travail 3 des comparaisons régionales faites en thermométrie.

Une longue discussion a eu lieu sur les comparaisons clés en thermométrie, leur rôle dans l'établissement de l'équivalence internationale des étalons nationaux de température et l'interprétation des résultats. La discussion était fondée sur le document rédigé par M. Quinn et sur le rapport du Groupe de travail 3. Les membres ont reconnu la nécessité d'identifier et d'effectuer des comparaisons clés en thermométrie. Cinq comparaisons ont été choisies et des laboratoires pilotes ont été désignés ; ces comparaisons portent sur :

- des thermomètres rhodium-fer de 0,65 K au point triple du néon, à environ 27 K (laboratoire pilote : NPL) ;
- des thermomètres du type capsule à résistance de platine de 13,8 K (point triple de e-H<sub>2</sub>) au point triple de l'eau (laboratoire pilote : NRC) ;
- des points fixes dans le domaine de température allant du point triple de l'argon au point de congélation du zinc (laboratoire pilote : NIST) ;
- les points de l'aluminium et de l'argent ainsi que le point triple de l'eau (laboratoire pilote : IMGC) ;
- des lampes à filament de tungstène dans le vide dans le domaine de 960 °C à 1700 °C (laboratoire pilote : NMI).

Les membres du CCT souhaitant prendre part à ces comparaisons se sont fait connaître. Il a été décidé, à titre préliminaire, que les laboratoires pilotes, en collaboration avec le Groupe de travail 3, se mettront d'accord sur l'établissement d'une liste comportant les principales composantes de l'incertitude associée à chaque type de comparaison et sur la procédure à suivre pour ces comparaisons, après consultation des laboratoires participants, avant le mois de mars 1997. Les comparaisons commenceront peu après et on espère qu'elles seront terminées avant la fin de 1998, afin que les résultats puissent être examinés lors de la 20<sup>e</sup> session du CCT, qui devrait avoir lieu en mai ou juin 1999.

Cette session du CCT a été très productive : de nombreux travaux ont été mis en route et il est clair que les membres pensent que le CCT a un rôle important à jouer dans la thermométrie de pointe et dans l'établissement de l'équivalence internationale des étalons de mesure dans ce domaine. La discussion sur les résultats des comparaisons clés et sur la meilleure façon de les présenter aux uti-

lisateurs seront les principaux points à l'ordre du jour de la prochaine session du CCT.

Les décisions concernant la manière d'interpréter les résultats des comparaisons clés seront, dans leurs grandes lignes, prises par le CIPM après consultation avec les organismes d'accréditation, mais la discussion sur les résultats spécifiques se fera, bien sûr, au sein des comités consultatifs.

M. Quinn donne lecture de la Recommandation T 1 (1996) sur l'échelle de température au-dessous de 1 K, et de la Recommandation T 2 (1996) sur la température des sources à corps noir au-dessus de 2500 K. La Recommandation T 1 (1996) est adoptée par le CIPM comme Recommandation 3 (CI-1996) (*voir* p. 31) et la Recommandation T 2 est approuvée.

### 6.7 Réunions futures des comités consultatifs

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

CCDM	16 au 18 septembre 1997
CCDS	1999
CCE	24 au 26 juin 1997 précédé de la réunion du GT-RF le 23 juin 1997
CCEMRI	7 et 8 juillet 1997 Section I : 14 au 16 avril 1997 Section II : 23 au 25 avril 1997 Section III : 21 et 22 avril 1997
CCM	1999
CCPR	10 et 11 juin 1997
CCQM	20 et 21 février 1997
CCT	1999
CCU	aucune date n'est fixée

### 6.8 Présidence des comités consultatifs

Le président du CIPM propose que M. Chung Myung Sai succède à M. Clapham comme président du CCDM, ce dernier ayant démissionné ; cette proposition est approuvée. M. Kind informe ensuite ses collègues qu'il quittera la présidence du CCE en même temps que celle du CIPM. Il propose que M. Göbel, président de la PTB, assure la présidence du CCE ; cette proposition est approuvée. M. Blevin annonce son intention de quitter la présidence du CCPR, et propose M. Wallard pour lui succéder ; cette proposition est approuvée.

vée. Le CCT ayant perdu son président en la personne de M. Crovini, M. Quinn accepte de le présider pour le moment.

## **7. Travaux du BIPM : rapport du directeur**

### **7.1 Travaux du BIPM**

Le président ouvre la séance et souhaite la bienvenue au personnel scientifique du BIPM, disant que c'est un devoir mais aussi un plaisir pour les membres du CIPM d'avoir l'occasion d'écouter la présentation des travaux par le personnel.

M. Quinn explique que les exposés suivent l'ordre d'apparition dans le *Rapport du Directeur* et ajoute qu'une visite des laboratoires aura lieu l'après-midi. Suit la présentation des travaux par les membres du personnel du BIPM (pour le texte intégral, se référer au *Rapport du Directeur*).

M. Quinn conclut en disant que ces présentations illustrent le rôle important du BIPM dans les comparaisons internationales et l'équivalence des étalons nationaux de mesure. Le président remercie le directeur et les membres du personnel du BIPM pour leur excellente présentation.

### **7.2 Dépôt des prototypes**

La visite officielle au caveau où sont conservés les prototypes métriques a eu lieu le mercredi 25 septembre 1996 ; elle a donné lieu au rapport suivant :

#### **Visite du dépôt des prototypes métriques**

##### PROCÈS-VERBAL

Le 25 septembre 1996, à 17 h 30, en présence du Président du Comité international des poids et mesures, du Directeur du Bureau international des poids et mesures et du représentant du Conservateur des Archives de France, il a été procédé à la visite du dépôt des prototypes métriques internationaux du Pavillon de Breteuil.

On avait réuni les trois clés qui ouvrent le dépôt : celle qui est confiée au Directeur du Bureau international, celle qui est déposée aux Archives nationales, à Paris, et que Madame L. Favier avait apportée, celle enfin dont le Président du Comité international a la garde.

Les deux portes de fer du caveau ayant été ouvertes ainsi que le coffre-fort, on a constaté dans ce dernier la présence des prototypes et de leurs témoins.

On a relevé les indications suivantes sur les instruments de mesure placés dans le coffre-fort :

température actuelle : 24,0 °C  
température maximale\* : 24,5 °C  
température minimale\* : 20,5 °C  
état hygrométrique : 61 %

On a alors refermé le coffre-fort ainsi que les portes du caveau.

Le Directeur  
du BIPM,  
T.J. QUINN

Pour le Conservateur  
des Archives de France,  
L. FAVIER

Le Président  
du CIPM,  
D. KIND

Le directeur a informé le CIPM d'un problème sérieux et soudain d'infiltration d'eau au niveau du caveau inférieur. Il propose que les prototypes internationaux soient déplacés au caveau supérieur jusqu'à ce que le problème soit résolu. Le CIPM approuve sa proposition ; il autorise le transfert des prototypes et demande à Mme Favier de laisser sa clé au directeur jusqu'à plus ample information, ce qu'elle accepte.

## 8. Questions administratives et financières

### 8.1 Questions administratives et financières

Le président accueille Mme Perent, 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 1995*, ainsi que le rapport de l'expert comptable pour 1995. Il fait remarquer que, en réponse aux commentaires faits par le ministère de l'Économie allemand de ne pas faire appel pendant trop longtemps aux services de la même société d'expertise comptable, le BIPM a changé d'expert comptable. Le rapport annuel et le rapport de l'expert comptable sont approuvés à l'unanimité et quitus est donné au directeur et à l'administrateur du BIPM pour l'exercice 1995.

L'état d'avancement du budget pour l'exercice 1996 est présenté et approuvé.

Un projet de budget pour 1997 est présenté et approuvé.

Le dernier document soumis au CIPM est le *Tableau de répartition de la dotation pour 1997* extrait de la *Notification des parts contributives*.

L'entretien des bâtiments et un avant-projet relatif à la construction d'un nouveau bâtiment destiné à l'atelier de mécanique, des bureaux et une salle de réunion à l'emplacement du bâtiment « des Neutrons » sont discutés. Différents projets sont envisagés, pour un coût global variant entre 6 millions de francs-or et 11 millions de francs-or. Un projet définitif sera présenté au CIPM lors de sa session de 1997.

---

\* Depuis la dernière visite.

BUDGET POUR 1997

RECETTES

	francs-or
<i>Recettes budgétaires :</i>	
1. Contributions des États .....	27 144 000
2. Intérêts des fonds .....	1 285 000
3. Taxes de vérification et recettes diverses .....	195 000
Total .....	<u>28 624 000</u>

DÉPENSES

A. *Dépenses de personnel :*

1. Traitements .....	11 889 000	}	18 092 000
2. Allocations familiales et sociales .....	2 408 000		
3. Assurance maladie .....	1 148 000		
4. Assurance accidents .....	47 000		
5. Caisse de retraite .....	2 600 000		

B. *Dépenses de fonctionnement :*

1. Laboratoires et atelier .....	1 436 000	}	4 376 000
2. Chauffage, eau, énergie électrique .....	494 000		
3. Assurances .....	82 000		
4. Publications .....	290 000		
5. Frais de bureau .....	615 000		
6. Voyages et transports de matériel .....	625 000		
7. Entretien courant .....	448 000		
8. Bibliothèque .....	338 000		
9. Bureau du Comité .....	48 000		

C. *Dépenses d'investissement* .....

4 039 000

D. *Bâtiments* .....

1 274 000

E. *Frais divers et imprévus* .....

843 000

Total .....

28 624 000

## 8.2 Allocations familiales

M. Quinn propose d'augmenter les allocations familiales versées par le BIPM de 3,5 % à compter du 1<sup>er</sup> janvier 1997, pour qu'elles soient au même niveau que celles en vigueur dans les Organisations coordonnées. Le secrétaire appuie cette proposition, qui est approuvée par le Comité.

## 8.3 Metrologia

M. Blackburn, son rédacteur, est invité à assister à la réunion du CIPM pour discuter de *Metrologia*. Il est heureux de pouvoir annoncer que, bien que l'année ait été très chargée, avec environ 1000 pages publiées, *Metrologia* est actuellement à jour. Il mentionne les problèmes posés par le numéro spécial consacré à NEWRAD'94 (1996, 32, n° 6) : trop d'articles de niveau médiocre ont été acceptés ; il remarque qu'il est indispensable qu'à l'avenir, pour les numéros spéciaux de ce type, les rédacteurs « associés » qui en sont responsables soient plus sélectifs. Le nombre d'abonnés reste stable, il a été fait un peu de publicité. Toutefois, une publicité à grande échelle coûte très cher, et compte tenu du caractère spécialisé de ce journal, elle ne serait probablement pas rentable. La possibilité de donner accès à *Metrologia* sur Internet pour augmenter sa visibilité est à l'étude. Cette suggestion est approuvée par le CIPM.

Bien que les abonnements à *Metrologia* ne suffisent pas tout à fait à couvrir ses coûts, les membres du CIPM sont d'avis que *Metrologia* n'est pas un journal à vocation commerciale et qu'un faible déficit est acceptable. La publication des résultats des comparaisons internationales est utile aux organismes d'accréditation et elle est susceptible d'augmenter le nombre des abonnés. Le président remercie M. Blackburn pour son travail.

## 9. Composition du CIPM

### 9.1 Composition du CIPM

Le président rappelle aux membres du CIPM qu'il a pris sa retraite de la PTB et qu'il a l'intention de quitter le CIPM le 31 décembre 1996. M. Skákala, qui a démissionné de ses fonctions de vice-président à la fin de la session de 1995 du CIPM, annonce aussi son intention de quitter le CIPM le 31 décembre 1996. Avec le décès de Luigi Crovini, il y a maintenant trois sièges vacants au CIPM.

### 9.2 Élection du bureau du CIPM

Le président dit que sa démission imminente et le décès de Luigi Crovini impliquent un certain nombre de changements au sein du bureau du Comité. Il propose alors que M. Kovalevsky soit élu président du CIPM et M. Blevin secré-

taire. M. Blevin avait l'intention de quitter le CIPM mais, dans les circonstances présentes, il accepte d'en être le secrétaire jusqu'à la prochaine Conférence générale. Le bureau propose que le poste de vice-président qui se trouve ainsi libéré soit attribué à Mme Gebbie.

En l'absence des trois candidats, le CIPM discute ces propositions et, à leur retour, procède au vote, à bulletin secret. En conséquence, le bureau du Comité sera composé, à dater du 1<sup>er</sup> janvier 1997, de la manière suivante :

*Président* : J. Kovalevsky

*Vice-présidents* : K. Gebbie

K. Iizuka\*

*Secrétaire* : W.R. Blevin

M. Kovalevsky remercie ses collègues de l'honneur qui lui est fait et dit qu'il est heureux d'être le premier français à succéder à André Danjon comme président du CIPM. Il ajoute qu'André Danjon a été son chef à l'Observatoire de Paris après avoir été son professeur d'astronomie ; il fut un président du CIPM très distingué. Il s'efforcera de l'égaliser. Mais, dans l'immédiat, c'est un véritable défi de succéder à M. Kind qui, en qualité de président du CIPM, a vécu une période très brillante de l'histoire du BIPM pendant laquelle ont eu lieu le transfert du TAI du BIH à la section du temps du BIPM, l'adoption de recommandations sur les représentations du volt et de l'ohm fondés sur l'effet Josephson et l'effet Hall quantique, de l'Échelle internationale de température de 1990 et la création du CCQM. Avec les directeurs successifs du BIPM, M. Kind a lutté pour la reconnaissance de l'importance de la coopération internationale en métrologie et a été la personnalité la plus respectée dans ce domaine. Sa connaissance universelle de la métrologie et sa gentillesse vont nous manquer. Il remercie M. Kind pour tout ce qu'il a fait et, pour terminer, il lui souhaite une retraite active et heureuse.

M. Kind remercie M. Kovalevsky, et dit qu'il a passé vingt ans dans cette salle en qualité de membre, vice-président et président du CIPM, et qu'il a toujours essayé de faire de son mieux. Il remet ensuite les clés du dépôt des prototypes métriques au nouveau président. Il remercie M. Skákala pour sa contribution au CIPM, dont il a été membre pendant seize ans, et vice-président depuis 1985.

Mme Gebbie remercie ses collègues de la confiance qu'ils ont placée en elle et dit qu'elle s'efforcera de travailler très dur pour remplir ses devoirs de vice-président.

M. Blevin dit qu'il avait l'intention de quitter le CIPM après la fin de la présente session, mais qu'il lui a été demandé de rester et d'assumer les fonctions de secrétaire. Il accepte avec enthousiasme cette fonction, et bénéficie de tout l'appui du CSIRO.

---

\* K. Iizuka a été élu Vice-président du CIPM lors de la 84<sup>e</sup> session du CIPM en 1995.

## **10. Questions diverses : prochaine session du CIPM**

Le CIPM décide que la prochaine session du CIPM se tiendra du :

23 au 25 septembre 1997.

Avant de partir, le président dit un dernier mot à Mlle Monprofit qui prendra sa retraite avant la prochaine session du CIPM. Il lui est difficile d'imaginer le travail au BIPM sans Mlle Monprofit qui a toujours été très serviable, qui a mis toutes ses compétences au service de son travail et a su donner au monde entier une excellente image du BIPM et du CIPM. M. Quinn rappelle qu'elle a été engagée au BIPM en 1963 et a participé depuis lors à toutes les sessions du CIPM. Il la remercie pour tout ce qu'elle a fait.

Le président clôt la 85<sup>e</sup> session du CIPM et remercie tous ceux qui ont contribué par leur présence au succès de cette réunion.

**Recommandations  
adoptées  
par le Comité international des poids et mesures  
à sa 85<sup>e</sup> session**

---

Coordination des systèmes satellitaires qui diffusent le temps

RECOMMANDATION 1 (CI-1996)

Le Comité international des poids et mesures,

*considérant* :

— l'intérêt sur le plan international du fonctionnement simultané du Global Positioning System (GPS) et du Global Navigation Satellite System (GLONASS) avec une configuration complexe de 48 satellites,

— la possibilité d'utiliser l'un ou l'autre ou les deux systèmes à discrétion,

— les différences actuellement significatives qui existent entre les deux systèmes,

— les différences significatives dans les systèmes de coordonnées de référence utilisés pour l'un et l'autre,

— les autres systèmes satellitaires destinés à diffuser le temps actuellement en cours de mise au point,

*recommande*

— que les temps de référence (modulo 1 seconde) des systèmes satellitaires de navigation à couverture globale\* soient synchronisés aussi étroitement que possible avec l'UTC,

— que leur système de référence soit conforme au système de référence terrestre (ITRF) déterminé par le Service international de la rotation terrestre,

— que l'on utilise indifféremment les récepteurs du GPS et du GLONASS dans les laboratoires du temps.

---

\* Tels que Global Positioning System (GPS), Global Navigation Satellite System (GLONASS), International Maritime Satellite Organization (INMARSAT), Global Navigation Satellite System 1 (GNSS1), Global Navigation Satellite System 2 (GNSS2).

Multiples de deux pour les unités utilisées dans les techniques informatiques

RECOMMANDATION 2 (CI-1996)

Le Comité international des poids et mesures,

*considérant*

— que la Conférence générale des poids et mesures a adopté un ensemble de préfixes à utiliser pour former les multiples et les sous-multiples décimaux des unités du SI,

— que les techniques informatiques ont un besoin grandissant d'exprimer les multiples de deux pour les unités telles que le bit et l'octet,

— que l'utilisation des préfixes du SI dans les techniques informatiques pour exprimer les multiples de deux pour de telles unités entraîne des risques de confusion,

*rappelant* que les préfixes du SI représentent strictement des puissances de dix,

*prenant acte* du travail en cours, en particulier au sein de la Commission électrotechnique internationale (CEI) mais aussi dans d'autres organisations, pour trouver d'autres moyens d'exprimer les puissances de deux,

*soutient* les efforts de la CEI pour parvenir à un accord international sur les noms et les symboles des préfixes destinés à former les puissances de deux pour les techniques informatiques.

## Échelle de température au-dessous de 1 K

### RECOMMANDATION 3 (CI-1996)

Le Comité international des poids et mesures,

*considérant*

— que de multiples activités de recherche sont en cours à des températures thermodynamiques inférieures à 1 K,

— que ces recherches ont besoin d'une échelle de température admise par convention qui représenterait avec une bonne approximation les températures thermodynamiques,

— que l'EIT-90, avec la pression de vapeur de  $^3\text{He}$ , semble s'écarter de la température thermodynamique entre 1 K et sa limite inférieure de 0,65 K,

*notant* que plusieurs échelles de température propres à divers laboratoires ont été étudiées au-dessous de 0,65 K et que ces échelles ne concordent pas,

*recommande*

— que les écarts entre les valeurs de la température données dans l'EIT-90 par la pression de vapeur de  $^3\text{He}$  et la valeur correspondante de la température thermodynamique, au-dessous de 1 K, soient étudiées plus avant,

— que des recherches soient entreprises pour expliquer les discordances entre les échelles existantes utilisant la pression de fusion de  $^3\text{He}$ ,

— que les laboratoires nationaux se concertent pour mettre au point une relation entre la pression de fusion de  $^3\text{He}$  et la température qui puisse servir de base à une extension de l'EIT-90 vers les basses températures jusque vers 1 mK.

---



---

RAPPORT DU DIRECTEUR  
SUR L'ACTIVITÉ ET LA GESTION  
DU BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES  
(octobre 1995 — septembre 1996)

---

I. — PERSONNEL

*Promotions et changements de grade*

Mireille BOUTILLON, *physicien chercheur principal*, a été nommée responsable de la section des rayonnements ionisants à dater du 1<sup>er</sup> mai 1996.

Roland GOEBEL, *assistant*, a été promu au grade de *physicien* à dater du 1<sup>er</sup> janvier 1996.

Lennart ROBERTSSON, *physicien*, a été promu au grade de *physicien principal* à dater du 1<sup>er</sup> janvier 1996.

François DELAHAYE, *physicien principal*, a été promu au grade de *physicien chercheur principal* à dater du 1<sup>er</sup> janvier 1996.

Richard DAVIS, *physicien principal*, a été promu au grade de *physicien chercheur principal* à dater du 1<sup>er</sup> janvier 1996.

Ces trois derniers changements résultent d'une décision prise par le CIPM lors de sa session d'octobre 1995.

*Engagements*

Carine MICHOTTE, née le 11 juillet 1968 à Uccle (Belgique), précédemment assistante à l'unité de physique nucléaire de l'Université catholique de Louvain (Belgique), a été engagée en qualité de *physicien* dans la section des rayonnements ionisants à dater du 1<sup>er</sup> février 1996.

David Thomas BURNS, né le 30 septembre 1959 à Bellshill (Royaume-Uni), précédemment responsable de la section de l'accélérateur linéaire et de la dosimétrie des électrons au National Physical Laboratory (Royaume-Uni), a été engagé en qualité de *physicien* à la section des rayonnements ionisants à dater du 18 mars 1996.

*Chercheur associé*

Leonid VITOUCHKINE, chercheur associé dans la section des longueurs depuis août 1993, a été prolongé dans ses fonctions jusqu'au mois de février 1998.

### *Étudiante en doctorat*

Bénédicte ROUGEAUX, née le 20 décembre 1972 à Saint-Dizier (Haute-Marne), a commencé un stage d'étudiante en doctorat, d'une durée de trois ans, dans la section du temps, le 1<sup>er</sup> janvier 1996. Ce stage est financé en partie par le Centre national d'études spatiales (France).

### *Départs*

Akihiko SAKUMA, *physicien principal*, a pris sa retraite le 31 mars 1996 après 36 années de services dévoués et éminents, qui ont grandement contribué à la réputation du BIPM dans le domaine de la gravimétrie.

Georg MÜLLER, *physicien chercheur principal*, responsable de la section des rayonnements ionisants, a pris sa retraite le 30 avril 1996 après 29 années de services dévoués et éminents consacrées aux mesures de radioactivité. En plus de ses nombreuses publications dans ce domaine, il a aussi apporté une importante contribution au *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure*.

Louis LAFAYE, *technicien principal*, a pris sa retraite le 31 juillet 1996 après 34 années de services dévoués et efficaces.

## II. — BÂTIMENTS

### *Observatoire*

Rénovation du laboratoire de radiométrie.

Peinture de l'extérieur et du couloir.

Réparation du toit du Nouvel Observatoire.

### *Bâtiment des lasers*

Extension de l'atelier de soufflage du verre.

### *Bâtiment des neutrons*

Étude de la reconversion du bâtiment en atelier de mécanique.

### *Extérieurs et parc*

Réparation d'une partie de la clôture.

Réfection du revêtement en asphalte de la cour.

Remplacement de lampadaires extérieurs.

## III. — TRAVAUX SCIENTIFIQUES

### 1. Remarques générales

Les Comités consultatifs et le BIPM ont le sentiment très net d'une incitation à accroître le nombre des comparaisons internationales et à étendre les domaines

qu'elles couvrent. Dans le domaine des longueurs, par exemple, six comparaisons groupées auxquelles ont participé vingt-et-un laboratoires nationaux ont été achevées, et leurs résultats ont été soumis pour publication à *Metrologia*. Des résumés de ces comparaisons paraîtront dans le deuxième article de la rubrique « International reports » de *Metrologia* (1996, 33, 271-287) qui donne une liste des résultats des comparaisons organisées par le BIPM. Dans cet article figurent aussi des résumés des comparaisons d'étalons à effet Josephson et à effet Hall quantique et de sensibilité spectrale de photodiodes au silicium, ainsi que des comparaisons effectuées dans le domaine des rayonnements ionisants, et enfin les différences entre les échelles de temps nationales et l'UTC.

Dans la section des longueurs, deux lasers à argon asservis, en faisant appel l'un à la technique de la bande latérale en modulation de fréquence et l'autre à la technique du troisième harmonique, ont été comparés. La différence de fréquence mesurée était inférieure à l'incertitude de mesure. Ce résultat est important, car il montre que le fait d'utiliser une technique d'asservissement différente n'entraîne pas de décalage de fréquence significatif. Les premiers essais sur la radiation d'un laser à Nd:YAG doublé à  $\lambda \approx 532$  nm confirment que celle-ci pourrait figurer à l'avenir dans la liste des radiations recommandées, et justifient la priorité donnée à ce travail cette année. La technique de transfert de modulation a été essayée avec succès sur les lasers à He-Ne à  $\lambda \approx 543$  nm ; ces lasers seront aussi comparés à d'autres lasers asservis à  $\lambda \approx 543$  nm qui font appel à la technique habituelle du troisième harmonique. La collaboration continue avec l'ENS, le BNM-LPTF et le BNM-INM (France) : une détermination absolue de la fréquence des transitions 5S-5D à deux photons dans le rubidium à  $\lambda \approx 778$  nm a été effectuée au mois de janvier 1996 avec une incertitude-type composée de 2 kHz (soit, en valeur relative,  $5 \times 10^{-12}$ ). La priorité accordée à l'étude de lasers à YAG doublés a conduit le BIPM à réduire son activité dans le domaine des lasers à CO<sub>2</sub> à  $\lambda \approx 10,6$   $\mu$ m. L'accélération de la pesanteur a été mesurée aux diverses stations qui ont servi au BIPM lors des comparaisons internationales de gravimètres absolus, à l'aide du gravimètre absolu FG5 du BIPM ; les résultats concordent mieux entre eux que ceux qui avaient été obtenus avec des gravimètres relatifs lors de la dernière comparaison internationale.

La comparaison internationale d'étalons de 1 kg en acier inoxydable, qui a été entreprise à l'initiative du CCM, se poursuit ; elle devrait se terminer au début de 1997. La stabilité des étalons de transfert semble avoir été correcte au cours de la première année de comparaison. En même temps, la section des Masses a poursuivi des recherches approfondies pour identifier d'éventuelles erreurs dues à la balance utilisée. Les études que nous poursuivons sur l'anélasticité des métaux sont maintenant centrées sur les suspensions flexibles. Un phénomène qui pourrait être mis à profit pour mesurer la constante gravitationnelle a été redécouvert. Un appareil d'essai spécialement conçu pour vérifier la possibilité de tirer parti de ce phénomène a été construit et les résultats sont prometteurs.

Les échelles de temps de référence TAI et UTC ont été régulièrement établies et publiées chaque mois dans la Circulaire T. Depuis janvier 1996, conformé-

ment à une décision du CCDS, le TAI et l'UTC sont calculés tous les cinq jours au lieu de dix jours précédemment, ce qui permet de les prédire plus efficacement pour les besoins en temps réel. L'exactitude des données que nous recevons des étalons primaires de fréquence s'est considérablement améliorée, et il devient plus que jamais nécessaire d'améliorer toutes les étapes du calcul du TAI, depuis la comparaison des horloges jusqu'au traitement détaillé des données au BIPM.

Deux comparaisons d'étalons de tension de 1 V fondés sur l'effet Josephson ont été effectuées à l'aide de l'appareil transportable du BIPM, au NIM (Rép. pop. de Chine) et au SP (Suède). L'appareillage qui fournit un étalon de résistance à effet Hall quantique transportable, y compris le cryostat, l'aimant et le pont de résistance, a été transporté à la PTB (Allemagne) où a eu lieu la troisième comparaison sur place d'étalons à effet Hall. Les résultats montrent que les mesures effectuées avec les deux systèmes s'accordent à quelques  $10^{-9}$  près, avec une incertitude-type composée relative totale d'une valeur à peu près équivalente. Les deux installations transportables, à effet Josephson et à effet Hall quantique, permettent d'assurer la traçabilité entre les laboratoires avec une incertitude inférieure, d'un ordre de grandeur ou plus, à celle que fournissent les étalons voyageurs traditionnels. Le programme de comparaisons bilatérales d'étalons électriques se développe considérablement en ce moment. Des étalons de transfert de  $1 \Omega$ , fabriqués par le CSIRO-NML (Australie), et des étalons de tension à diodes de Zener ont été achetés à cet effet. Ils seront envoyés par le BIPM aux laboratoires participant à des comparaisons bilatérales. L'assemblage d'un pont d'impédance, destiné à contrôler la valeur des étalons de capacité de référence du BIPM en fonction de la résistance de Hall quantifiée, a beaucoup progressé.

Suite aux décisions prises par le CCPR lors de sa session de 1994, le BIPM joue le rôle de laboratoire pilote pour deux comparaisons internationales en radiométrie et en photométrie. L'une porte sur des radiomètres cryogéniques, l'autre sur la sensibilité lumineuse de photomètres. Pour la comparaison de radiomètres cryogéniques, qui sera une comparaison indirecte, quatorze récepteurs à piège du type « tunnel » sont en cours de construction au BIPM pour servir d'instruments de transfert pour la comparaison, en même temps que les récepteurs à piège déjà en service. Le BIPM participera aussi à une comparaison de flux lumineux et d'intensité lumineuse organisée par le CCPR. Le radiomètre cryogénique du BIPM a été transporté, pour la première fois, dans un autre laboratoire, la PTB, où il a été comparé avec succès à un radiomètre cryogénique de fabrication différente. Nous avons entrepris au BIPM une réalisation radiométrique de la candela fondée sur le radiomètre cryogénique. Dans le domaine de la thermométrie, la comparaison internationale de cellules à point triple de l'eau est achevée ; les résultats ont été présentés au CCT en septembre 1996. Bien que les résultats de la plupart des laboratoires se situent dans les limites des incertitudes-types, en général de l'ordre de 0,1 mK, on a observé quelques différences plus grandes et la stabilité des cellules était moins bonne que prévu. Suite à la

décision du CCM de commencer une comparaison internationale d'étalons de pression dans le domaine de la pression atmosphérique, à laquelle le BIPM prendra part, le BIPM a fait l'acquisition d'une balance de pressions à piston en céramique pour cette comparaison.

Le travail de la section des rayonnements ionisants continue à être dominé par les comparaisons internationales de dosimétrie des rayons x et  $\gamma$  et les comparaisons de mesures de radioactivité, ainsi que par des étalonnages périodiques d'étalons secondaires pour des pays qui ne possèdent pas d'étalons primaires. Dans le domaine de la dosimétrie, des travaux de recherche ont été entrepris pour améliorer la détermination du facteur de correction qui compense la perte d'électrons et la diffusion des photons dans les chambres à paroi d'air, afin de déterminer le coefficient de recombinaison des ions dans les diverses chambres d'ionisation. Six comparaisons de kerma dans l'air ont été effectuées, l'une pour les faisceaux de rayons x mous, deux pour le rayonnement du  $^{137}\text{Cs}$  et trois pour celui du  $^{60}\text{Co}$ . Les dernières mesures pour la comparaison internationale de mesures de fluence neutronique à l'aide de sphères de Bonner comme instruments de transfert sont en cours au Japon. Cette comparaison devrait s'achever à la fin de 1997. Dans le domaine de la radioactivité, la comparaison préliminaire, entre six laboratoires, de mesures du  $^{204}\text{Tl}$ , est terminée, et la comparaison internationale devrait commencer avant la fin de 1996. Les résultats de la comparaison préliminaire de mesures d'activité de  $^{192}\text{Ir}$  sont à l'étude. Le BIPM a participé à une comparaison EUROMET de mesures d'activité de solutions de  $^{63}\text{Ni}$  et de  $^{55}\text{Fe}$ . Au cours de cette année, neuf laboratoires ont envoyé des ampoules pour étalonnage par le SIR. Une nouvelle étude a été entreprise pour identifier et comptabiliser les radionucléides susceptibles de contaminer les ampoules utilisées dans les comparaisons internationales d'activité de radionucléides. En raison du départ à la retraite de J.W. Müller, la longue série d'études faites au BIPM sur les statistiques de comptage s'est achevée par une brève note sur la détermination des nombres premiers.

Les publications du BIPM assurent un lien essentiel entre le BIPM, le CIPM, les Comités consultatifs et la communauté des métrologistes. Elles sont destinées aux laboratoires nationaux de métrologie, aux organismes de normalisation et d'accréditation et à tous ceux qui sont intéressés par l'exactitude des mesures et les progrès du SI. Certaines publications du BIPM sont directement destinées aux Gouvernements des États membres de la Convention du Mètre. La publication dans *Metrologia* de résumés des comparaisons internationales d'étalons de mesure organisées par le BIPM, ses Comités consultatifs et les organisations régionales de métrologie a été bien accueillie. La publication de ces résultats constitue un maillon essentiel du programme en cours au BIPM pour établir une documentation, accessible à tous, sur la traçabilité ou l'équivalence des étalons nationaux de mesure au niveau international. Un projet de page d'accueil dont l'étude est bien avancée vise à faire paraître sur le réseau informatique mondial une page d'introduction sur le BIPM ; l'objectif est de mettre à la disposition d'un public encore plus large ces informations, ainsi que d'autres relatives aux

activités du BIPM. À un niveau moins officiel, le premier numéro d'une série régulière de lettres d'information spécifiques à chaque section du BIPM a été distribué en juin 1996 à la CPEM : il s'agit de la lettre d'information de la section des longueurs et des lasers. Elle a été envoyée à un grand nombre de correspondants dans les laboratoires nationaux qui sont en relation suivie avec cette section.

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

### **1.1.1 Publications extérieures**

1. QUINN T.J., News from the BIPM, *Metrologia*, 1996, **33**, 81-89.
2. QUINN T.J., Results of recent international comparisons of national measurement standards carried out by the BIPM, 1996, *Metrologia*, 1996, **33**, 271-287.
3. QUINN T.J., HIMBERT M., Mesurer : unités et incertitudes, *La Mesure : Actes des 7<sup>e</sup> entretiens de la Villette*, Paris : CNDP/Cité des Sciences et de l'Industrie, 1996, 107-114.

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

T.J. Quinn s'est rendu à :

- Tokyo (Japon), du 15 au 19 octobre 1995, pour participer à une réunion de l'APMP au NRLM ;
- Ottawa (Canada), du 30 octobre au 1<sup>er</sup> novembre 1995, pour participer à une réunion du Standards Advisory Board de l'Institut des étalons nationaux de mesure du NRC ;
- Londres (Royaume-Uni), le 3 novembre 1995, pour une réunion du Comité de rédaction de *Report on Progress in Physics* de l'Institute of Physics ;
- Athènes (Grèce), du 12 au 14 novembre 1995, pour une réunion sur la métrologie en Grèce organisée par les Communautés européennes ;
- Halmstad (Suède), le 20 novembre 1995, pour la 17<sup>e</sup> Nordic Conference on Metrology Calibration ;
- Genève (Suisse), les 29 et 30 novembre 1995, pour participer à une réunion de l'ISO/TAG 4 ;
- au Royaume-Uni, les 12 et 13 décembre 1995, pour visiter les universités de Birmingham, Warwick et Cambridge ;
- Paris (France), les 17 et 18 janvier 1996, pour une réunion du Fundamental Physics Advisory Group de l'Agence spatiale européenne ;
- Londres (Royaume-Uni), le 29 janvier 1996, pour une réunion du comité du Royal Society Paul Fund ;

- Braunschweig (Allemagne), du 8 au 11 février 1996, pour visiter la PTB ;
- Teddington (Royaume-Uni), les 25 et 26 mars 1996, pour participer à une réunion du Groupe de travail commun au CCT et au CCPR sur la détermination des températures thermodynamiques pour les corps noirs à haute température, réunion qui s'est tenue au NPL ;
- Paris (France), le 29 mars 1996, à la Cité des Sciences, pour faire une conférence intitulée « Mesurer : unités et incertitudes » ;
- Sofia (Bulgarie), du 9 au 12 avril 1996, pour participer à une réunion de COOMET ;
- Paris (France), le 25 avril 1996, pour une réunion du Fundamental Physics Advisory Group de l'Agence spatiale européenne ;
- Londres (Royaume-Uni), le 26 avril 1996, pour une réunion sur la métrologie en chimie qui a eu lieu au Laboratory of the Government Chemist ;
- Copenhague (Danemark), du 5 au 7 mai 1996, pour participer à une étude des travaux des laboratoires du DFM et faire une conférence intitulée « Recent advances in fundamental metrology » ;
- Londres (Royaume-Uni), le 10 mai 1996, pour une réunion du Comité de rédaction de l'Institute of Physics ;
- Londres (Royaume-Uni), du 22 au 25 mai 1996, pour assister à une réunion du Comité d'EUROMET qui s'est tenu au NPL ;
- Genève (Suisse), le 3 juin 1996, pour des discussions à l'ISO et à la CEI sur le projet de rapport préparé par W.R. Blevin ;
- Amsterdam (Pays-Bas), le 6 juin 1996, pour des discussions avec l'OIML sur le projet de rapport préparé par W.R. Blevin ;
- Delft (Pays-Bas), le 7 juin 1996, pour faire une conférence à l'occasion du 250<sup>e</sup> anniversaire de la naissance de Van Swinden intitulée « The importance of metrology two centuries after Van Swinden » ;
- Londres (Royaume-Uni), le 10 juin 1996, pour une réunion du Comité du Royal Society Paul Fund ;
- Gaithersburg (É.-U. d'Amérique), du 11 au 13 juin 1996, pour des discussions au NIST sur le projet de rapport préparé par W.R. Blevin ;
- Ottawa (Canada), les 13 et 14 juin 1996, pour des discussions au NRC sur le projet de rapport préparé par W.R. Blevin ;
- Braunschweig (Allemagne), du 16 au 23 juin 1996, pour participer à la CPEM et y présenter une conférence intitulée « A novel torsion balance for the measurement of the Newtonian gravitational constant » ;
- Amsterdam (Pays-Bas), le 9 septembre 1996, pour une réunion de l'ILAC ;
- Turin (Italie), du 10 au 12 septembre 1996, pour participer à la Conférence Tempmeko qui s'est tenue à l'IMGC.

## 1.2 Activités en liaison avec des organismes extérieurs

T.J. Quinn assiste régulièrement aux réunions du Conseil scientifique de l'IMGC ; il est membre du CODATA Task Group on Fundamental Constants, Vice-président de la Commission SUN-AMCO de l'UIPPA, membre de l'Interdivisional Committee on Nomenclature and Symbols de l'UICPA et du Comité scientifique du Laboratoire de l'horloge atomique (France). Il est membre du Comité de rédaction du journal *Reports on Progress in Physics* de l'Institute of Physics et représentant de la Royal Society au Paul Instrument Fund. Il représente le BIPM à l'ISO/TAG 4 et préside par intérim le Joint Committee for Guides in Metrology qui lui a succédé.

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

### 2.1 Remarques générales

Deux lasers asservis à argon du BIPM, l'un faisant appel à la technique de la bande latérale en modulation de fréquence et l'autre à la technique du troisième harmonique, ont été comparés. La différence de fréquence mesurée est inférieure à 1 kHz, valeur inférieure à l'incertitude de mesure, ce qui montre que la différence de technique employée pour asservir les lasers ne semble pas entraîner de décalage de fréquence significatif. Les premiers essais sur la radiation d'un laser à Nd:YAG doublé à  $\lambda \approx 532$  nm confirment que celle-ci pourrait figurer à l'avenir dans la liste des radiations recommandées ; cela justifie la priorité donnée à ce travail au cours de cette année. La technique de transfert de modulation a été essayée avec succès sur les lasers à He-Ne à  $\lambda \approx 543$  nm ; les lasers de ce type asservis de cette façon seront aussi comparés à ceux qui font appel à la technique habituelle du troisième harmonique.

Les calculs des résultats des six comparaisons groupées de lasers à He-Ne à  $\lambda \approx 633$  nm, auxquelles ont participé vingt-et-un laboratoires en tout, ont été achevés et interprétés en liaison avec les laboratoires concernés. Un laser à diode à cavité étendue avec cuve à iode interne a été asservi à  $\lambda \approx 633$  nm : on a obtenu une stabilité relative de la fréquence de quelques  $10^{-11}$  pour une durée d'intégration de 80 s.

La collaboration se poursuit en France avec l'ENS, le BNM-LPTF et le BNM-INM : une détermination absolue de la fréquence des transitions 5S-5D à deux photons dans le rubidium à  $\lambda \approx 778$  nm a été effectuée au mois de janvier 1996 avec une incertitude-type composée de 2 kHz (incertitude-type relative de  $5 \times 10^{-12}$ ). La priorité donnée aux lasers à YAG doublés nous a amenés à ralentir nos travaux sur les lasers à CO<sub>2</sub> à  $\lambda \approx 10,6$   $\mu$ m.

Cette année à nouveau, plus de trente cuves à iode ont été remplies et vérifiées. La collaboration avec le BNM-INM pour le calcul des constantes hyperfines de l'iode se poursuit.

## 2.2 Mesures de longueur : nanométrie (L.F. Vitouchkine)

### i) *Diffractomètre interférométrique à laser* (avec A.L. Vitouchkine et A. Zarka)

Les premières mesures sur un réseau de diffraction avec un pas d'environ 0,278  $\mu\text{m}$  ont été effectuées par la méthode des trois longueurs d'onde. La caméra CCD et le système de capture d'image pour l'enregistrement numérique des figures d'interférence ont été achetés et les premiers essais effectués.

### ii) *Interféromètres à laser pour les mesures de grande exactitude des déplacements de l'ordre du nanomètre ou inférieurs* (avec A.L. Vitouchkine)

*Cuve optique à passages multiples* : Une nouvelle configuration de cuve optique à passages multiples (ligne à retard) a été proposée pour accroître la résolution et l'exactitude des mesures de déplacement. Elle est fondée sur l'emploi de trièdres rétro réfléchissants avec axe optique décalé et prismes à angle droit et permet d'avoir de vingt à quarante trajets optiques doubles avec des paramètres de montage raisonnables.

*Interféromètre combiné* : Les caractéristiques principales d'un interféromètre combiné, comprenant deux interféromètres de Perot-Fabry incorporés dans les bras d'un interféromètre de Michelson, spécialement conçu pour la mesure des déplacements de l'ordre du nanomètre ou moins, ont été précisées. La spécification des miroirs pour ces interféromètres de Perot-Fabry a été déterminée pour une longueur d'onde de 514,5 nm.

## 2.3 Lasers

### 2.3.1 Lasers à argon asservis sur l'iode à $\lambda \approx 515$ nm en cuve externe (L. Robertsson, S. Picard, L.F. Vitouchkine)

Les techniques courantes pour asservir des systèmes de laser utilisent la modulation de la longueur d'onde à basse fréquence et la détection du troisième harmonique de la fréquence de modulation. Au cours des dernières années, une autre méthode, appelée spectroscopie de modulation de fréquence, a été mise au point pour des systèmes avec cuve à iode externe. Il est important de vérifier qu'aucun décalage systématique de fréquence n'apparaît lorsque l'on passe d'une technique d'asservissement à l'autre. Deux lasers à argon ionisé du BIPM, chacun asservi selon une technique différente, ont été récemment comparés et des déterminations de la stabilité de la fréquence au moyen de mesures de la variance d'Allan ont été effectuées. Nous avons étudié l'influence de l'indice de modulation, de la pression de l'iode et de la puissance de chaque laser sur la fréquence. Les différences de fréquence de la composante  $a_3$  P(13)43-0 ont été suivies durant une période de douze jours en mesurant deux fois par jour la fréquence de battement entre les deux lasers. Avec les paramètres de fonctionnement utilisés, on a trouvé une différence de fréquence de 0,1 kHz avec une incertitude-type ( $1 \sigma$ ) de 0,9 kHz.

**2.3.2 Laser à Nd:YAG doublé à  $\lambda \approx 532$  nm** (L. Robertsson, S. Picard, L.F. Vitouchkine, E. Jaatinen\* )

Les progrès de la technique des lasers à l'état solide et l'efficacité accrue du pompage à l'aide de lasers à diode ont fourni de nouvelles sources lumineuses pour la métrologie. Le laser à Nd:YAG à fréquence doublée s'est révélé tout particulièrement intéressant ; il a des caractéristiques métrologiques supérieures à celles d'autres lasers utilisés pour réaliser certaines des radiations recommandées. Il est probable que la radiation à  $\lambda \approx 532$  nm deviendra l'une des plus importantes en métrologie pratique des longueurs et il faut s'attendre à une forte activité de comparaison à cette longueur d'onde par la méthode des battements de fréquence dans les prochaines années. Dans cette perspective, le BIPM a entrepris un programme en vue de rendre ce type de système accessible aux laboratoires intéressés en copiant simplement le modèle existant. La stratégie suivie consiste à utiliser dans la mesure du possible des appareils que l'on trouve dans le commerce et à construire ainsi un système asservi en fréquence. Dans une première étape différents montages spectroscopiques ont été essayés. Ils font appel aussi bien à la technique de modulation de fréquence qu'à celle du transfert de modulation.

Dans le cadre d'un programme de coopération avec le BIPM, un laser à Nd:YAG à  $\lambda \approx 532$  nm, avec doublement de la fréquence dans un cristal de KTP, a été construit et est soumis à des essais préliminaires à l'Institut de physique des lasers (Féd. de Russie).

**2.3.3 Lasers à He-Ne asservis sur l'iode à  $\lambda \approx 543,5$  nm en cuve externe** (E. Jaatinen, J.-M. Chartier)

Des recherches ont commencé sur la mise au point d'un laser à He-Ne dans le vert asservi sur les transitions d'absorption saturée de l'iode au moyen de la spectroscopie à modulation de fréquence. La spectroscopie par transfert de modulation a été choisie parmi les diverses techniques en cuve externe utilisées habituellement, parce qu'elle est insensible à l'absorption du fond et parce qu'il n'y a pas besoin d'appliquer directement au laser la modulation optique nécessaire. L'insensibilité au fond constitue une qualité particulièrement intéressante car cela simplifie la détection du signal, en supprimant la détection du troisième harmonique et la modulation d'amplitude du faisceau saturant nécessaires avec les autres techniques.

L'absorption saturée (Fig. 2.1) est un phénomène qui dépend de l'intensité du faisceau de telle sorte que la faible puissance des lasers à He-Ne à 543 nm, soit environ 100  $\mu$ W par mode, rend difficile la détection du signal. Il est donc essentiel que le bruit électronique provenant des systèmes de photoréception et démodulation soit aussi faible que possible. Avec le photorécepteur qui a été mis au point au BIPM, il est possible de détecter le niveau du bruit dans le laser avec

---

\* Stagiaire

une puissance optique de  $10 \mu\text{W}$  seulement. À l'aide de ce récepteur un rapport signal/bruit d'environ 50 a été observé dans le transfert de modulation avec une constante de temps de 50 ms, ce rapport étant limité par le bruit d'amplitude du laser et le courant d'obscurité de la photodiode.

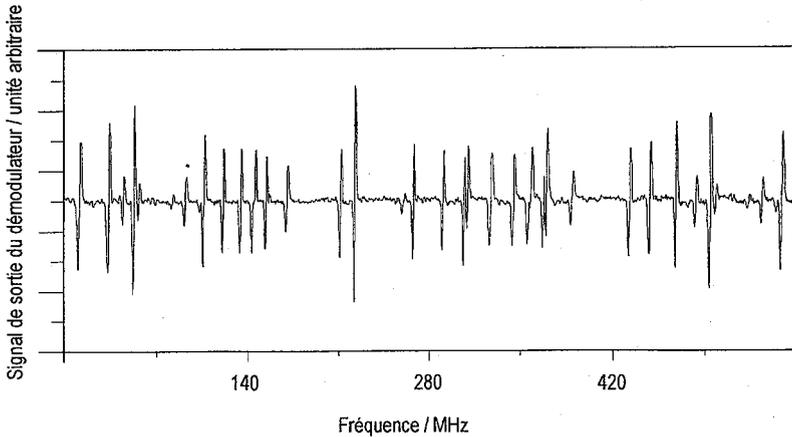


Fig. 2.1. — Composantes de l'absorption saturée des transitions R(12) 26-0 et R(106) 28-0 de  $^{127}\text{I}_2$  obtenues avec un laser à He-Ne à 543 nm qui fonctionnait simultanément sur deux modes longitudinaux.

Le fonctionnement de ce système sera évalué en comparant sa fréquence avec le système actuel à He-Ne asservi à 543 nm. Nous nous attacherons tout particulièrement à observer les écarts de leur fréquence, pour vérifier la théorie du BIPM selon laquelle la technique par transfert de modulation peut entraîner des décalages de fréquence. Cette opinion est fondée sur le fait que, en traversant un milieu non-linéaire, le faisceau saturé modulé en phase devient modulé en amplitude à cause de l'absorption linéaire de fond.

#### 2.3.4 Lasers à He-Ne asservis sur l'iode à $\lambda \approx 612$ nm en cuve interne et externe (L. Robertsson)

Les quatre lasers de référence du BIPM à  $\lambda \approx 612$  nm ont des tubes à He-Ne âgés de dix à quinze ans. Malheureusement, les tubes de lasers à He-Ne pour la métrologie ne sont pas disponibles directement chez les fournisseurs. Toutefois, six nouveaux tubes spécialement conçus pour nos lasers ont pu être achetés et sont actuellement en cours d'étude. De nouveaux systèmes mécaniques ont aussi été construits pour faciliter leur évaluation.

#### 2.3.5 Lasers à He-Ne asservis sur l'iode à $\lambda \approx 633$ nm en cuve interne (J.-M. Chartier, A. Chartier)

##### i) Comparaisons entre lasers du BIPM

La différence moyenne de fréquence entre le laser de référence BIPM4 et le laser BIPMP3, mesurée en octobre 1995 et en décembre 1995, est de 2,9 kHz et

la différence entre chaque différence de fréquence mesurée entre les deux lasers est inférieure à 1 kHz.

Les deux lasers asservis utilisés dans les gravimètres absolus Jaeger/Thomson/BIPM et FG5 ont été étalonnés par rapport à un laser de référence. Les différences de fréquence entre les valeurs obtenues dans ces étalonnages et celles obtenues précédemment sont inférieures à 5 kHz (différence relative de  $1 \times 10^{-11}$ ).

### ii) *Comparaisons internationales*

Aucune nouvelle comparaison internationale n'a été effectuée depuis le mois de septembre 1995, mais beaucoup de temps a été consacré à faire les évaluations des comparaisons et préparer les rapports à soumettre aux vingt-et-un laboratoires qui ont participé à la comparaison qui a eu lieu dans le courant de l'année 1995.

### iii) *Divers*

Le laser asservi à He-Ne de la société Winters, dont est équipé le gravimètre FG5 qui appartient au Proudman Oceanographic Laboratory (Royaume-Uni), a été étalonné au BIPM après les mesures de  $g$ .

On peut maintenant se procurer dans le commerce trois types de tubes laser à He-Ne pour des utilisations métrologiques à  $\lambda \approx 633 \text{ nm}$  ; ils sont fabriqués par NEC et Neo-Ark (Japon) et Melles Griot (É.-U. d'Amérique). Le BIPM a apporté une contribution importante à leur conception.

**2.3.6 Lasers à diode à cavité externe à  $\lambda \approx 633 \text{ nm}$**  (A. Zarka, J.-M. Chartier, E. Jaatinen, J. Åman\*)

Le laser à diode à cavité externe qui a été conçu l'an dernier est maintenant utilisé dans la configuration de la spectroscopie intra-cavité. Il convient de noter quatre points cette année :

#### i) *Nouvelle conception mécanique*

En utilisant la méthode des éléments finis avec le système informatisé CADSAP (CADLM, France) nous avons entrepris le calcul des structures. Nous avons d'abord validé le modèle utilisé dans notre premier prototype appelé BIREL1. Sa structure longitudinale est constituée de trois barres en invar. Les résonances mécaniques, les contraintes et la dilatation thermique ont ensuite été étudiées pour confirmer la conception mécanique existante. Nous avons pu constater que l'emploi d'une combinaison d'invar et de duralumin occasionne un déplacement longitudinal presque cinq fois plus important que si l'on utilise seulement de l'invar.

Nous avons donc conçu un deuxième prototype appelé BIREL2 avec l'idée d'optimiser l'épaisseur et la taille du bâti pour la nouvelle structure longitudinale. Le calcul pour la partie statique est maintenant terminé mais il faut encore déterminer les résonances mécaniques. Il faudra aussi calculer les effets thermiques sur

---

\* Stagiaire

ce modèle. BIREL2 utilise une conception optique semblable à celle qui a été mise au point pour BIREL1, mais ses dimensions, environ 280 mm × 75 mm × 53 mm, sont beaucoup plus petites, ce qui le rend facile à transporter. Ce nouveau prototype est actuellement soumis à des essais préliminaires.

ii) *Résultats en spectroscopie*

La cuve à iode de 10 cm de longueur utilisée dans le laser à cavité étendue BIREL1 nous a permis d'observer plusieurs transitions de  $^{127}\text{I}_2$  dans un domaine de longueurs d'onde d'environ 8 nm en accordant la longueur de la cavité du laser.

Nous avons d'abord étudié la transition P(33) 6-3 car elle se situe à l'intérieur de la largeur de bande de notre système de battement de fréquences pour lequel la fréquence de référence est donnée par un laser asservi à He-Ne. La Figure 2.2 montre les dérivées première et troisième des composantes de la transition P(33) 6-3 obtenues avec une largeur de modulation de crête à creux d'environ 6 MHz.

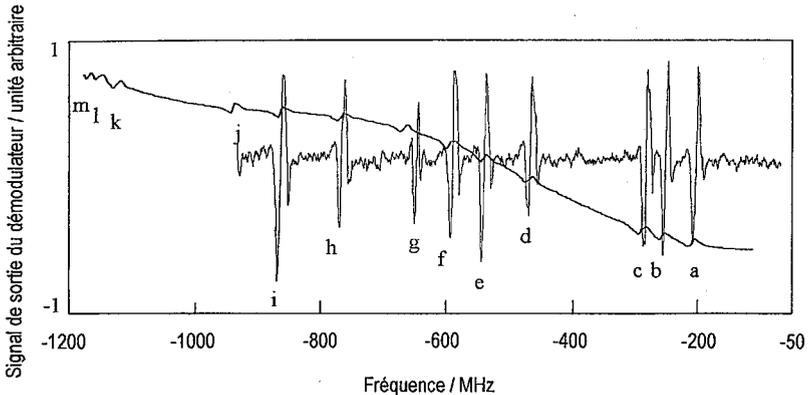


Fig. 2.2 — Composantes hyperfines de la transition P(33) 6-3 de  $^{127}\text{I}_2$  obtenues par absorption saturée avec un laser à diode à 633 nm et une cuve d'absorption située à l'intérieur de la cavité étendue (premier et troisième harmoniques). Les lettres a, b, c, ..., m désignent les différentes composantes hyperfines.

Des transitions plus intenses que P(33) 6-3, comme R(60) 8-4, P(54) 8-4 et R(125) 9-4, ont aussi été enregistrées ; elles devraient permettre d'améliorer la stabilité de la fréquence à court terme.

iii) *Stabilité de la fréquence de BIREL1*

La stabilité de fréquence de BIREL1 non asservi est d'environ  $5 \times 10^{-10}$  en valeur relative pour une durée d'intégration inférieure à 1 s, valeur à laquelle on peut s'attendre pour une conception mécanique de ce type. Au début de l'année nous avons pu asservir ce laser sur la composante d de la transition P(33) 6-3. Des mesures de battements de fréquences faites entre BIREL1 et un laser à

He-Ne asservi sur l'absorption saturée de  $^{127}\text{I}_2$  ont donné une stabilité de la fréquence de  $3 \times 10^{-11}$  en valeur relative pour une durée d'intégration de 80 s.

iv) *Accord et système de mesure de battement de fréquences sur une large bande*

Il paraît maintenant évident que la possibilité de faire tourner le réseau de notre système de mesure de battement de fréquence avec une grande précision est essentielle pour trouver une longueur d'onde particulière. On obtient actuellement un réglage fin en contrôlant la température de la diode du laser, en déplaçant très légèrement le réseau, ou par réglage du courant. Notre  $\lambda$ damètre Jaeger avec lequel nous pouvons obtenir une précision relative de  $1 \times 10^{-6}$  est utile, mais pour accorder la fréquence à 2 GHz près, il faut un ordre de grandeur supplémentaire.

Un système de mesure de battements à des fréquences élevées est en construction ; il est déjà équipé d'un fréquencesmètre et d'un analyseur de spectre dont le domaine de fréquence est d'environ 20 GHz. Cela permet de mesurer la fréquence de quelques transitions fortes de l'iode.

**2.3.7 Lasers à diode asservis sur le rubidium à  $\lambda \approx 778$  nm en utilisant les composantes hyperfines des transitions 5S-5D à deux photons (R. Felder)**

i) *Dispositifs du BIPM*

L'étude et la construction de la cavité pour les cuves à rubidium se poursuivent. Des efforts considérables ont été consacrés à la conception d'un appareil réellement transportable. Pour ce travail les cuves à rubidium ont été aimablement fournies par F. Biraben et P. Flory (Laboratoire Kastler-Brossel de l'ENS) et par M. Têtu (Université Laval, Canada).

ii) *Collaboration avec d'autres laboratoires*

Au cours du deuxième semestre de 1995 s'est déroulée, au BNM-LPTF, une comparaison approfondie par battements de deux dispositifs qui avaient été mis au point dans ce laboratoire avec un dispositif semblable qui fonctionne au Laboratoire Kastler-Brossel. Il est important de noter que celui-ci était relié à l'installation du BNM-LPTF par fibre optique. L'analyse de ces mesures est encore en cours, mais les résultats préliminaires confirment ceux qui avaient été obtenus précédemment.

Une détermination absolue de la fréquence des transitions 5S-5D à deux photons a été faite au mois de janvier 1996. La fréquence de la transition  $^{85}\text{Rb}$  5S $_{1/2}$  (Fg = 3)-5D $_{5/2}$  (Fe = 5) a été trouvée égale à 385 285 142.378,3 kHz avec une incertitude-type composée de 2 kHz. La moitié de la valeur de cette incertitude est due au laser à CO $_2$ /OsO $_4$  utilisé comme référence dans la chaîne de fréquences. Ce résultat confirme celui qui avait été obtenu en 1993 au Laboratoire Kastler-Brossel lorsque les fréquences absolues de ces transitions avaient été déterminées par rapport à la différence de fréquence entre le laser à (He-Ne)/I $_2$  à  $\lambda \approx 633$  nm et le laser à (He-Ne)/CH $_4$  à  $\lambda \approx 3,39$   $\mu\text{m}$ . Cette nou-

velle détermination de fréquence du BNM-LPTF confirme aussi *a posteriori* celle du laser à (He-Ne)/I<sub>2</sub> à  $\lambda \approx 633$  nm effectuée en 1992 par le même laboratoire, détermination dont la valeur a été retenue par le CCDM comme valeur recommandée.

### **2.3.8 Lasers à He-Ne asservis sur le méthane à $\lambda \approx 3,39$ $\mu\text{m}$ en cuve interne et externe (R. Felder)**

#### *i) Activités générales*

La construction et l'étude des tubes de laser à He-Ne et des cuves de méthane se poursuivent. Une nouvelle série d'embouts spéciaux nous a été gracieusement fournie par M. C. Bernard (Service d'aéronomie du CNRS, France).

#### *ii) Installation de mesure du BIPM*

L'installation générale pour les comparaisons de lasers par la méthode de battement de fréquences a été refaite. Les têtes des lasers ont été nettoyées et réalignées et les getters des tubes à décharge ont été réactivés. Les asservissements ont été vérifiés et les circuits électroniques ont été ajustés.

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

Une détermination absolue de la fréquence d'un laser transportable appartenant à l'Institut Lebedev (Féd. de Russie) doit être effectuée au mois de novembre 1996 au BNM-LPTF. Comme les fois précédentes, le BIPM a été invité à y participer. Ces mesures présentent un grand intérêt car elles permettent aussi de déterminer la fréquence des étalons de référence du BIPM.

### **2.3.9 Lasers à CO<sub>2</sub> à $\lambda \approx 10,6$ $\mu\text{m}$ avec une cuve externe contenant du SF<sub>6</sub> (S. Picard)**

Le faisceau de notre laser à CO<sub>2</sub>, BC1, a été adapté pour être utilisé avec un interféromètre de Perot-Fabry et la cavité a été purgée. Un deuxième laser, BC2, a été soumis à des essais.

Depuis le commencement de cette année, ce travail est passé au second plan car priorité a été donnée au laser à Nd:YAG doublé en fréquence.

### **2.3.10 Chaîne de synthèse de fréquences pour mesurer la fréquence absolue des lasers à He-Ne asservis sur l'iode à $\lambda \approx 633$ nm (R. Felder)**

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

Le dispositif nécessaire pour mesurer la fréquence absolue d'un laser à (He-Ne)/I<sub>2</sub> à  $\lambda \approx 633$  nm par rapport à la somme des fréquences d'un laser à (He-Ne)/CH<sub>4</sub> à  $\lambda \approx 3,39$   $\mu\text{m}$  et d'un laser à diode asservi sur le rubidium à  $\lambda \approx 778$  nm est en partie achevée au Laboratoire Kastler-Brossel. Pour confirmer le résultat de la précédente détermination de la constante de Rydberg, effectuée en 1993, il a été décidé de mesurer, au moyen de cette installation, la fréquence du laser à (He-Ne)/I<sub>2</sub> à  $\lambda \approx 633$  nm appartenant à ce laboratoire. Cette

expérience est programmée pour l'été 1996. Elle fera appel au laser de référence VB du BIPM, à (He-Ne)/CH<sub>4</sub>, à  $\lambda \approx 3,39 \mu\text{m}$ , et au laser à diode asservi sur le rubidium à  $\lambda \approx 778 \text{ nm}$  mis au point à l'ENS et dont la fréquence a été récemment mesurée par le BNM-LPTF.

### 2.3.11 Cuves à iode

i) *Remplissage et contrôle de la fréquence des cuves* (J.-M. Chartier, A. Chartier, J. Labot)

L'activité de remplissage et de contrôle de la fréquence des cuves s'est encore accrue cette année puisque quinze cuves saturées et dix-sept cuves non saturées ont été remplies. Des contrôles de fréquence ont été faits sur vingt-et-une cuves saturées et sur quatorze cuves non-saturées.

ii) *Fluorescence induite par laser* (S. Picard)

Quinze cuves ont été vérifiées pour la fluorescence induite par laser, dix pour le CMI (Rép. tchèque), deux pour le KIM (Ukraine), une pour le NRLM (Japon) et deux pour le NMi (Pays-Bas). L'installation a aussi été utilisée pour vérifier un certain nombre de cuves remplies au BIPM, et pour vérifier la qualité de six cuves de 50 cm de longueur utilisées dans la comparaison interne de lasers à argon asservis.

iii) *Nouveau type de cuves à iode* (L.F. Vitouchkine, J.-M. Chartier)

Une nouvelle cuve à iode, dont le principe est fondé sur l'emploi de verre poreux rempli d'iode, a été conçue en collaboration avec J.L. Hall (JILA, É.-U. d'Amérique).

### 2.3.12 Structure hyperfine (S. Picard)

Un tableau donnant la liste des constantes hyperfines dans le système B-X de <sup>127</sup>I<sub>2</sub> a été publié. De nouveaux calculs sur la structure hyperfine et les constantes hyperfines de cinq transitions ro-vibrationnelles dans le système B-X de <sup>129</sup>I<sub>2</sub> complète ce tableau. De nouvelles formules empiriques ont été proposées pour calculer les constantes hyperfines. L'une de ces formules donne la constante quadrupolaire électrique  $\Delta eQq$  avec une précision supérieure, d'un ordre de grandeur, à celle des formules précédentes. Les constantes hyperfines de la transition R(39) 7-4 dans l'iode ont été calculées en collaboration avec le NPL (Royaume-Uni) et le BNM-INM. Pour cette transition la comparaison des valeurs calculées aux valeurs obtenues par prédiction empirique, à l'aide de la formule mentionnée ci-dessus, montre qu'il y a concordance dans les limites de l'incertitude-type.

### 2.3.13 Systèmes pilotés par ordinateur (A. Zarka)

Un nouveau logiciel destiné à accorder et piloter le laser à diode du BIPM est en cours de mise au point ; il est écrit en Visual Basic et permet les opérations suivantes :

- lecture du lambdamètre ;
- acquisition des données de l'analyseur de spectre ;
- courant d'injection et contrôle de la température du laser à diode ;
- enregistrement de la fréquence et calcul de la variance d'Allan ;
- lecture rapide du signal d'entrée permettant d'améliorer l'asservissement du système intégrateur numérique ;
- sélection de la composante (la sélection des transitions viendra ensuite).

## 2.4 Publications, conférences et voyages : section de longueurs

### 2.4.1 Publications extérieures

1. ERIN M., MALINOVSKY I., TITOV A., CHARTIER A., CHARTIER J.-M., Comparison between the He-Ne laser wavelength standards at 633 nm from the UME and the BIPM, *Metrologia*, 1996, **32**, 363-365.
2. PRIETO E., MAR PEREZ M., GONZALEZ D.M., SARAIVA F., CHARTIER A., CHARTIER J.-M., International comparison of stabilized He-Ne lasers by the saturated absorption of  $^{127}\text{I}_2$  at  $\lambda \approx 633$  nm involving the CEM (Spain), the IPQ (Portugal) and the BIPM, *Metrologia*, 1996, **32**, 379-384.
3. POPESCU G., CHARTIER J.-M., CHARTIER A., ZARKA A., Intercomparison of  $^{127}\text{I}_2$  stabilized He-Ne at 633 nm wavelength of the IFA-IFTAR and the BIPM, *SPIE*, 1995, **2461**, 529-533.
4. MARSON I., FALLER J.E., CERUTTI G., DEMARIA P., CHARTIER J.-M., ROBERTSSON L., VITUSHKIN L.F., FRIEDERICH J., KRAUTERBLUTH K., STIZZA D., LIARD J., GAGNON C., LOTHHAMMER A., WILMES H., MAKINEN J., MURAKAMI M., REHREN F., SCHNULL M., RUESS D., SASAGAWA G.S., Fourth international comparison of absolute gravimeters, *Metrologia*, 1995, **32**, 137-144.
5. ÅMAN J., CHARTIER J.-M., ZARKA A., TALVITIE H., PENDRILL L.R., HAMMERSBERG M., External Cavity Diode Laser at 633 nm: A Possible Future Optical Frequency Standard, *Laser Spectroscopy*, XII International Conference, 1995, 222-223.
6. ÅMAN J., HAMMERSBERG M., PENDRILL L.R., TALVITIE H., ZARKA A., CHARTIER J.-M., Laser spectroscopy of molecular iodine with a tuneable semiconductor laser around 633 nm, *Proc. 5th Symposium on Frequency Standards and Metrology* (1995), World Scientific, 1996, 437-440.
7. HOWICK E., BROWN N., CHARTIER J.-M., International comparison of iodine cells for laser length standards, *Metrologia*, 1996, **33**, 173-175.
8. POPESCU G., NECSOIU M., CHARTIER J.-M., PICARD S., CHARTIER A., A study on the spectral characteristics of the iodine cells from IFA-IFTAR used in He-Ne/ $^{127}\text{I}_2$  lasers, *Rom. J. Phys.*, 1996, **40**, 491-495.

9. ZONDY J.-J., TOUAHRI D., ACEF O., CLAIRON A., FELDER R., NEZ F., HILICO L., Toward the frequency measurement of a laser diode locked to 5S–5D rubidium two-photon transition ( $2 \times 385$  THz), *Proc. 5th Symposium on Frequency Standards and Metrology* (1995), World Scientific, 1996, 310-315.
10. RAZET A., PICARD S., A tabulation of calculations of the hyperfine structure in  $^{127}\text{I}_2$ , *Metrologia*, 1996, **33**, 19-27.
11. RAZET A., PICARD S., Calculs de constantes hyperfines de quelques transitions de la molécule d'iode  $^{129}\text{I}_2$ , *Annal. Phys.*, 1995, **20**, 633-634.
12. RAZET A., PICARD S., Nouvelles formules d'interpolation concernant les constantes hyperfines de l'iode  $^{127}\text{I}_2$ , *Annal. Phys.*, 1995, **20**, 583-584.
13. VITUSHKIN L.F., NIEBAUER T.M., VITUSHKIN A.L., Ballistic gradiometer for the measurement of the vertical gravity gradient: a proposal, *Proc. IAG Symposium on Airborne Gravity Field Determination*, Calgary, August 1995, 47-51.
14. KOROTKOV V.I., PULKIN S.A., VITUSHKIN A.L., VITUSHKIN L.F., Laser interferometric diffractometry for spacing measurements of diffraction gratings, *Appl. Opt.*, 1996, **35**, 4782-4786.
15. NIEBAUER T.M., VITUSHKIN A.L., VITUSHKIN L.F., Least-squares solution for the vertical gravity gradient in the ballistic gravity gradiometer, *Annal. Geoph.*, 1996, Suppl. **14**, C243.

#### 2.4.2 Rapport BIPM

16. PICARD S., RAZET A., Short Tabulation of Hyperfine Structure in  $^{129}\text{I}_2$ , *Rapport BIPM-95/13*, 1995, 7 p.

#### 2.4.3 Conférences et exposés

J.-M. Chartier et A. Chartier ont présenté à la CPEM'96 un poster intitulé « International comparisons of He-Ne lasers stabilized with  $^{127}\text{I}_2$  at  $\lambda \approx 633$  nm », voir aussi *CPEM Digest*, 1996, 80-81.

J.-M. Chartier, A. Zarka, J. Åman et E. Jaatinen ont présenté à la CPEM'96 un poster intitulé « Intracavity iodine cell spectroscopy with an extended-cavity diode laser near 633 nm », voir aussi *CPEM Digest*, 1996, 96-97.

J.-M. Chartier a assisté à la XXV<sup>e</sup> Assemblée générale de l'URSI (28 août 1996 - 5 septembre 1996) ; il y a fait une conférence intitulée « Definition of the metre: present status ».

R. Felder, D. Touahri, O. Acef, F. Nez, L. Hilico, A. Clairon et J.-J. Zondy ont fait, au Fifth Symposium on Frequency Standards and Metrology, un exposé intitulé « Absolute frequency measurement of a diode laser locked to a two-photon hyperfine transition of rubidium at 778 nm: A new optical standard at the  $10^{-12}$  accuracy level ».

S. Picard a présenté à la CPEM'96 un poster intitulé « Studies of hyperfine structure in molecular iodine » en collaboration avec A. Razet (BNM-INM), voir aussi *CPEM Digest*, 1996, 98-99.

L. Robertsson, R. Goebel, S. Picard et L. Vitouchkine ont fait, lors de la conférence EQEC'96, un exposé intitulé « Comparison of wavelength reference laser systems at  $\lambda \approx 515$  nm stabilized by different methods », Hambourg, 8-13 septembre 1996.

T.M. Niebauer, A.L. Vitouchkine et L.F. Vitouchkine ont présenté, à la XXI<sup>e</sup> Assemblée générale de l'European Geophysical Society, un poster intitulé « Least-squares solution for the vertical gravity gradient in the ballistic gravity gradiometer ».

L.F. Vitouchkine, A.L. Vitouchkine, L. Robertsson et J.-M. Chartier ont présenté, à la XXI<sup>e</sup> Assemblée générale de l'European Geophysical Society, un poster intitulé « *g*-value measurements in the BIPM micronetwork », La Haye, 6-10 mai 1996.

V.I. Korotkov, S.A. Pulkin, A.L. Vitouchkine et L.F. Vitouchkine ont présenté, à la conférence CLEO-Europe'96, un poster intitulé « High-accuracy measurements of the spacing of diffraction gratings in the range 0,28  $\mu\text{m}$ –0,50  $\mu\text{m}$  using laser interferometric diffractometry », Hambourg, 8-13 septembre 1996.

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

J.-M. Chartier s'est rendu à :

- Saint-Maur (France), le 17 avril 1996, pour parler de la collaboration entre l'IPG et le BIPM dans le domaine de la gravimétrie ;
- Paris et Villeteuse (France), les 6 et 7 mai 1996, avec S. Picard et L. Robertsson, pour participer à un atelier d'EUROMET sur les étalons de longueur d'onde et pour visiter le BNM-INM (Paris) et le LPL (Villeteuse) ;
- Trieste (Italie), les 28 et 29 juin 1996, pour participer à un atelier sur les mesures absolues d'accélération due à la pesanteur.

R. Felder s'est rendu à Paris (France), d'octobre 1995 à janvier 1996, pour participer au BNM-LPTF à une détermination absolue de la fréquence des transitions 5S–5D à deux photons dans le rubidium.

S. Picard s'est rendue à :

- Geel (Belgique), le 21 septembre 1995, pour parler de la collaboration avec l'IMMR en vue de l'étude des impuretés dans les cuves à iode au moyen de la spectroscopie de masse ;
- Copenhague (Danemark), les 23 et 24 octobre 1995, pour participer au DFM à une réunion d'EUROMET sur la métrologie des longueurs.

L. Robertsson s'est rendu à :

- Woods Hole (Massachusetts, É.-U. d'Amérique), du 15 au 19 octobre 1995, pour assister au symposium « Frequency Standards and Metrology » ;
- Boston (Massachusetts, É.-U. d'Amérique), le 19 octobre 1995, pour visiter le MIT ;
- Göteborg (Suède), les 24 et 25 juin 1996, pour participer au symposium « Modern Trends in Atomic Physics » ;
- Trieste (Italie), les 28 et 29 juin 1996, pour participer à un atelier sur les mesures absolues d'accélération due à la pesanteur.

L.F. Vitouchkine s'est rendu à :

- La Haye (Pays-Bas), du 6 au 10 mai 1996, pour assister à la XXI<sup>e</sup> Assemblée générale de l'European Geophysical Society ;
- Lyon (France), le 14 mai 1996, pour participer à un atelier sur les « Récents développements de la microscopie à champ proche » ;
- Saint-Petersbourg (Féd. de Russie), les 5 et 16 juillet 1996, pour discuter d'un programme de coopération avec le Laboratoire des étalons primaires des unités de longueur et d'angle du VNIIM ;
- Saint-Petersbourg (Féd. de Russie), les 9 et 18 juillet 1996, pour discuter de la conception d'un nouveau type de cuve à iode à l'Institut de mécanique et d'optique de précision ;
- Moscou (Féd. de Russie), le 10 juillet 1996, pour parler de la collaboration avec l'Institut de physique générale de l'Académie des sciences de Russie à propos des petits étalons à traits ;
- Moscou (Féd. de Russie), le 11 juillet 1996, pour parler de la collaboration avec l'Institut de physique P.N. Lebedev de l'Académie des sciences de Russie en vue de la conception d'un étalon de fréquence optique ;
- Moscou (Féd. de Russie), le 12 juillet 1996, pour parler des résonances super-étroites dans un mode double du laser à He-Ne/CH<sub>4</sub> à l'Institut de physique de l'ingénieur ;
- Saint-Petersbourg (Féd. de Russie), le 17 et du 22 au 26 juillet 1996, pour parler de la conception d'un laser Nd:YAG/KTP à l'Institut de physique des lasers ;
- Hambourg (Allemagne), du 8 au 13 septembre 1996, pour participer à la conférence CLEO-Europe/EQEC'96.

A. Zarka s'est rendu :

- à Gif-sur-Yvette (France), chez CADLM, du 15 au 18 janvier 1996, pour calculer sur ordinateur un dessin mécanique ;
- aux Ulis (France), le 24 mai 1996, pour participer au séminaire sur le VXI organisé par Tektronix et National Instrument ;

- à l'Observatoire de Meudon (Meudon, France), le 3 juin 1996, pour participer à une discussion sur les sujets à étudier dans le domaine de la durée de vie des lasers à diode et de la technique des radiofréquences.

## 2.5 Visiteurs de la section des longueurs

### 2.5.1 Stagiaires

- MM. J. Ishikawa (NRLM, Tsukuba, Japon) et Lee Yong Chol (NEO-ARK, Tokyo, Japon), sont venus au BIPM, les 25 et 26 octobre 1995, pour une comparaison de lasers à  $\lambda \approx 633$  nm entre un laser prototype portable et un laser du BIPM.
- M. R. Hipkin (Department of Geology and Geophysics, University of Edinburgh, Édimbourg, Royaume-Uni) est resté au BIPM, du 27 novembre 1995 au 1<sup>er</sup> mars 1996, afin de travailler sur le traitement mathématique des résultats de mesures de  $g$  et sur le logiciel utilisé dans l'ordinateur du gravimètre absolu FG5.
- M. J. Åman (Chalmers University of Technology, Göteborg, Suède) a séjourné au BIPM, entre le 29 janvier et le 11 février 1996, pour travailler sur les lasers à diode asservis sur l'iode à  $\lambda \approx 633$  nm.
- M. A.L. Vitouchkine (VNIIM, Saint-Petersbourg, Féd. de Russie) est resté au BIPM, du 3 mars au 2 mai 1996, afin de participer aux mesures d'accélération en chute libre dans le micro-réseau gravimétrique du BIPM.
- M. E. Jaatinen (CSIRO, Lindfield, Australie) est resté au BIPM, du 18 mars au 22 juillet 1996, pour travailler sur les lasers à He-Ne asservis sur l'iode à  $\lambda \approx 543$  nm au moyen de la technique de transfert de modulation.
- MM. H. Hopewell et G. Jeffries (Proudman Oceanographic Laboratory, Merseyside, Royaume-Uni) sont restés au BIPM, du 13 au 21 mai 1996, afin de vérifier le fonctionnement de leur gravimètre absolu FG5 en faisant des mesures de  $g$  sur les sites de référence du BIPM ; ils sont revenus les 10 et 11 juillet 1996 pour changer le tube à He-Ne du laser de leur gravimètre FG5.

### 2.5.2 Visiteurs

- M. T. Kurosawa (NRLM, Tsukuba, Japon), le 30 octobre 1995.
- MM. Louis et Bayer (Université de Montpellier, France), le 20 novembre 1995.
- M. J. Blabla (CMI, Prague, Rép. tchèque), le 22 novembre 1995.
- M. P. Balling (CMI, Prague, Rép. tchèque), le 22 novembre et le 4 décembre 1995.
- M. S. Iwasaki (NRLM, Tsukuba, Japon), le 22 janvier 1996.
- M. S. Ljungström (Kompetenscentrum Katalys, Chalmers University of Technology, Göteborg, Suède), le 3 mars 1996.

- M. Sompote Boonsanit (DSS, Bangkok, Thaïlande), les 14 et 15 mars 1996.
- M. A. Onae (NRLM, Tsukuba, Japon), MM. T. Kubayashi et H. Yashiro (AIST, Tokyo, Japon), le 15 mars 1996.
- M. X. Thomas (Groupe de spectroscopie moléculaire et atmosphérique, Université de Reims, France), le 25 mars 1996.
- M. J.L. Hall (JILA, Boulder, Colorado, É.-U. d'Amérique), le 27 mars 1996.
- M. P. Gain (ALCORD, Paris, France), le 1<sup>er</sup> avril 1996.
- M. L. Pendrill (SP, Borås, Suède), le 6 mai 1996.
- M. J.G. Meilhac (Lycée polyvalent privé Jules Richard, Paris, France), le 9 mai 1996.
- M. P. Bourdon (ETCA, Arcueil, France), le 28 mai 1996.
- M. P. Millan (ONERA, Toulouse, France), le 6 juin 1996.
- M. E. Howick (MSL-IRL, Lower Hutt, Nouvelle-Zélande), le 10 juin 1996.
- M. Jen Ye (JILA, Boulder, Colorado, É.-U. d'Amérique), le 11 juin 1996.
- M. Y. Dancheva (Institut d'électronique, Académie des sciences de Bulgarie, Sofia, Bulgarie), les 11 et 12 juillet 1996.

### **3. Masse et grandeurs apparentées (R.S. Davis)**

#### **3.1 Introduction**

La comparaison internationale d'étalons de 1 kg en acier inoxydable entreprise à l'initiative du CCM se poursuit ; il est prévu qu'elle s'achève au début de l'année 1997. La stabilité des étalons de transfert semble avoir été correcte au cours de la première année de comparaison. Dans le même temps nous avons poursuivi diverses recherches pour trouver les éventuelles erreurs systématiques dues à la balance utilisée. Les études que nous poursuivons sur l'anélasticité dans les métaux sont maintenant centrées sur les suspensions flexibles. Nous avons redécouvert un phénomène qui pourrait servir pour des mesures de la constante gravitationnelle.

#### **3.2 Étalons en acier inoxydable (R.S. Davis)**

Lors de sa réunion en 1993, le CCM a demandé au BIPM d'effectuer une comparaison internationale d'étalons de 1 kg en acier inoxydable. Il était prévu d'envoyer des paires d'étalons de 1 kg aux laboratoires participants ; ils y seraient étalonnés en fonction des étalons de référence en acier inoxydable desdits laboratoires, lesquels auraient eux-mêmes été étalonnés par rapport au prototype national en Pt-Ir. Les paires d'étalons voyageurs ont été fournies par le

NMi (Pays-Bas), le SMU (Rép. slovaque) et le BIPM. Jusqu'à maintenant, une paire est passée au NMi, au NPL (Royaume-Uni), au VNIIM (Féd. de Russie) et à la PTB (Allemagne). Ces étalons sont revenus au BIPM avant et après les mesures faites au VNIIM. Ils sont maintenant au SMU, vont revenir à nouveau au BIPM et iront ensuite au BNM-INM (France). Le KRIS (Rép. de Corée), qui vient de se joindre à la comparaison, les recevra ensuite. Avec leur retour au BIPM s'achèveront les mesures faites sur la première paire d'étalons. En parallèle, la deuxième paire est allée au NIST (É.-U. d'Amérique), au NRC (Canada), au NRLM (Japon), au BIPM, au CSIRO-NML (Australie) et de nouveau au BIPM. Cette paire est maintenant au NIM (Rép. pop. de Chine) et doit aller à l'IMGC (Italie) en passant par le BIPM. Il est prévu que cette comparaison se termine au premier trimestre de 1997.

Nous avons mesuré à nouveau chaque paire d'étalons voyageurs et, après un an d'utilisation, les variations que nous avons observées sont inférieures à 10  $\mu\text{g}$ , donc tout à fait satisfaisantes.

Un étalonnage de la masse et de la masse volumique a été effectué sur un étalon de 1 kg en acier inoxydable, qui ne comportait pas de marque d'identification, pour le CENAM (Mexique).

### 3.3 Poursuite des recherches sur la balance HK 1000

Dans le rapport de l'année dernière nous avons dit que les résultats obtenus avec la balance HK 1000 dépendaient un peu de la position occupée par l'étalon sur le transporteur de masses. Nous pensons que cela s'explique par un défaut de planéité du transporteur. De toute façon, le phénomène est reproductible sur des durées qui sont bien supérieures à celle qui est nécessaire pour éliminer l'erreur systématique en faisant des mesures complémentaires. L'erreur systématique est éliminée en modifiant les positions respectives des quatre étalons à comparer sur le transporteur. Si l'on n'opère pas de cette façon cela peut entraîner des erreurs allant jusqu'à 5  $\mu\text{g}$ . Il convient de signaler que nous avons modifié le transporteur d'origine fourni par le fabricant de telle sorte que nous ne savons pas s'il s'agit d'un phénomène général commun à toutes les balances de ce type.

Nous avons aussi cherché à savoir s'il y a un lien entre la charge asservie et la sensibilité de la balance dans la gamme des 100 mg. Un phénomène de ce type pourrait exister par suite d'un lien entre la charge et la puissance dissipée dans le transducteur électromécanique. Nous n'avons décelé aucun effet significatif.

### 3.4 Nouvelle balance à suspensions flexibles (A. Picard, T.J. Quinn)

L'installation finale de la nouvelle balance à suspensions flexibles a été reportée jusqu'au retour de A. Picard (*voir* ci-après section 3.8.3). Nous espé-

rons maintenant que cette balance pourra entrer en fonction au début de l'année 1997.

### 3.5 Anélasticité dans les rubans de torsion (T.J. Quinn, R.S. Davis)

Depuis quelque temps nous étudions l'anélasticité de l'alliage cuivre-béryllium (Cu-Be) parce que c'est le matériau que nous utilisons pour les suspensions flexibles de notre balance. Afin de déterminer s'il y a une relation entre l'anélasticité et les contraintes, comme le prédisent certaines théories, nous avons commencé à étudier des rubans de torsion chargés. La raison en est que l'on peut appliquer une forte contrainte dans des systèmes de ce genre sans compliquer l'appareil ou l'analyse des résultats. La constante de torsion  $c$  pour un ruban de largeur  $b$ , d'épaisseur  $t$  et de longueur  $L$  est donnée approximativement par l'expression dite de Saint Venant :

$$c = Gbt^3/(3L),$$

où  $G$  est le module de torsion. Cette équation laisse à penser qu'en augmentant le rapport  $b/t$  tout en maintenant  $bt$  constant,  $c$  peut être nettement réduit alors que la charge maximale que l'on peut supporter demeure constante. En analysant les résultats de mesure avec des rubans pour lesquels on avait  $b/t \geq 100$ , nous avons rapidement redécouvert que la théorie prévoit un terme qui s'ajoute à celui de Saint Venant :

$$mgb^2/(12L),$$

où  $m$  est la masse suspendue au ruban de torsion et  $g$  est l'accélération due à la pesanteur. Il est donc inexact de supposer que  $c$  peut être réduit par la méthode indiquée ci-dessus, car le terme additionnel devient prépondérant. Toutefois, ce deuxième terme est intéressant. Comme il dépend seulement de la géométrie du ruban, il devrait être exempt de pertes.

En fait, nous avons confirmé que l'amortissement dû à l'anélasticité dans les rubans larges est beaucoup moins grand que prévu en supposant que  $c$  est strictement proportionnel à  $G$ . La forte augmentation du facteur de qualité  $Q$  pour les rubans pour lesquels le deuxième terme domine suggère de nouvelles géométries efficaces pour les expériences de mesure de la constante gravitationnelle. Un prototype d'une expérience de ce genre est en cours de construction.

### 3.6 Prototypes en platine iridié

Deux nouveaux prototypes ont été livrés. Le premier, n° 79, a été attribué aux États-Unis d'Amérique et le deuxième, n° 80, à la Thaïlande.

Le prototype n° 52, appartenant à l'Allemagne, a été étalonné au mois de mai 1996. À la demande de la PTB, ce prototype n'a été ni lavé ni nettoyé par le BIPM. Sa masse a été déterminée en fonction des étalons de travail n<sup>os</sup> 9 et 31 du BIPM et le résultat est :

masse du n° 52 = 1 kg + 0,246 mg.

Nous avons extrapolé l'augmentation de la masse des étalons n<sup>os</sup> 9 et 31 en fonction du temps depuis la troisième vérification périodique des prototypes nationaux. Le coefficient que nous avons déterminé pour l'augmentation moyenne de la masse des n<sup>os</sup> 9 et 31 est :

$$0,55 \text{ } \mu\text{g/a avec } u_c = 0,30 \text{ } \mu\text{g/a,}$$

où  $u_c$  est l'incertitude-type composée. Il est fondé sur l'augmentation de la masse de ces étalons mesurée entre 1983 et 1992.

### 3.7 Gravimétrie (A. Sakuma, L. Robertsson, L. Vitouchkine)

Depuis un certain nombre d'années la section des longueurs au BIPM travaille dans le domaine de la gravimétrie. L'un des facteurs qui limitent ce type de mesures est la stabilité de la fréquence des lasers utilisés pour la détermination par interférométrie du mouvement du corps en chute libre. En conséquence, en 1991, le BIPM a mis au point spécialement pour cet usage un laser asservi sur l'iode. Une deuxième génération de ce laser se trouve maintenant dans le commerce soit seule, soit incluse comme source laser dans le gravimètre commercial de type FG5.

Une série de comparaisons internationales, organisées par la Commission internationale de gravimétrie, s'est déroulée au BIPM depuis 1988. L'un des objectifs principaux de ces comparaisons est d'identifier les erreurs systématiques dans ces mesures. Quelques-uns de ces problèmes sont étudiés en liaison avec l'Université d'Édimbourg, en particulier la question des éléments non aléatoires qui subsistent dans les résidus après avoir opéré toutes les procédures de lissage des résultats.

Le réseau des points de référence gravimétrique du BIPM a été soigneusement mesuré à l'aide de notre gravimètre absolu FG5-108. Une bonne connaissance de la valeur de l'accélération due à la pesanteur en ces points est importante pour le programme des comparaisons internationales. Les mesures ont été effectuées aux points A, A<sub>0</sub>, A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub> et A<sub>8</sub> dans l'Observatoire et aux points L<sub>3</sub> et L<sub>4</sub> dans le bâtiment des lasers au cours de la période allant du 18 mars au 30 avril 1996. Le point A<sub>3</sub> a été choisi comme point de référence pour démontrer la répétabilité des mesures (Tableau 3.1). Les résultats de quatre mesures répétées au point A<sub>3</sub> diffèrent de moins de  $1 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$  (1  $\mu\text{Gal}$ ). L'incertitude-type des résultats de ces mesures est inférieure à 1,8  $\mu\text{Gal}$  et les résultats sont en bon accord avec ceux des mesures relatives effectuées pendant la comparaison internationale de gravimètres absolus de 1994 (ICAG-94) pour les liaisons entre les points A<sub>3</sub>-L<sub>4</sub>, A<sub>2</sub>-A<sub>3</sub> et L<sub>3</sub>-L<sub>4</sub>. Bien que ces mesures soient aussi en bon accord avec les mesures absolues faites en 1994 lors de la comparaison, il est nécessaire de poursuivre encore les études et les mesures dans le cadre du micro-réseau du BIPM.

TABLEAU 3.1  
*Résultats des mesures de g dans le micro-réseau du BIPM  
à l'aide du gravimètre absolu FG5 du BIPM (mars-avril 1996)*  
( $g_r = 980\,920\,000 \mu\text{Gal}$ )

Date	Point	Moyenne ( $g - g_r$ ) / $\mu\text{Gal}^*$	Incertitude- type / $\mu\text{Gal}$	Nombre de séries	Nombre de chutes par série	Gradient / ( $\mu\text{Gal}/\text{cm}$ )
18 - 21 mars	A <sub>3</sub>	5616,6	1,1	40	200	- 2,827
22 - 25 mars	L <sub>3</sub>	6599,7	1,5	48	200	- 2,744
26 - 28 mars	L <sub>4</sub>	6616,1	1,25	36	200	- 2,719
29 mars - 01 avril	A <sub>3</sub>	5616,8	1,78	29	200	- 2,827
02 - 04 avril	A <sub>8</sub>	6291,9**	1,62	21	200	- 2,403
07 avril	A <sub>3</sub>	5616,0	0,75	3	150	- 2,827
08 - 10 avril	A <sub>2</sub>	5680,9	0,93	26	150	- 2,967
11 - 15 avril	A <sub>1</sub>	5666,7	1,64	42	150	- 3,005
16 - 19 avril	A <sub>0</sub>	5670,3	1,58	51	150/200	- 2,913
20 - 23 avril	A	5677,4	1,22	39	150/200	- 3,022
24 - 25 avril	A <sub>3</sub>	5616,1	1,46	29	150	- 2,827

Moyenne de tous les résultats au point A<sub>3</sub> : 980 925 616,5  $\mu\text{Gal}$   
Incertitude-type : 1,5  $\mu\text{Gal}$

\* Valeurs de g obtenues à 1,0 m au-dessus du point.

\*\* Les mesures effectuées au point A<sub>8</sub> l'ont été dans des conditions de forte activité microsismique.

Un nouveau laser asservi sur l'iode ISL-100 a été installé dans le gravimètre FG5-108 au mois de décembre 1995 en remplacement du laser ISL-1. Comme on a utilisé l'ancien extenseur de faisceau ce changement a entraîné un décalage constant dans les mesures de g car la correction de diffraction varie avec le diamètre du faisceau du laser. Une nouvelle lentille a été installée dans l'extenseur de faisceau au mois d'août 1996 afin d'améliorer l'adaptation de l'interféromètre avec le laser. Une nouvelle valeur de la correction de diffraction a été évaluée et des mesures préliminaires de g ont été effectuées après avoir déterminé les caractéristiques du faisceau du laser dans l'interféromètre. Une nouvelle photodiode à avalanche avec sa plaquette comprenant un comparateur plus rapide (AD9696) a été installée dans l'interféromètre du gravimètre FG5 au mois de janvier 1996. Un nouveau logiciel, Newton22, a été installé avec l'aide de T.M. Niebauer, au mois de juin 1996.

Une méthode pour mesurer le gradient vertical de l'accélération due à la pesanteur a été proposée (L.F. Vitouchkine, T.M. Niebauer, A.L. Vitouchkine). Elle est fondée sur la mesure des déplacements relatifs de deux objets qui tombent en chute libre le long du même axe vertical. Les calculs montrent qu'une configuration particulièrement ramassée des objets devrait permettre de mesurer le gradient vertical de l'accélération due à la pesanteur avec une incertitude de  $1 \times 10^{-9} \text{ s}^{-2}$  en utilisant l'interférométrie par laser pour mesurer le déplacement relatif des objets. Ces calculs supposent que la distance initiale des centres de gravité des objets est de 0,2 m et que la durée de chute est de 0,25 s.

### 3.8 Publications, conférences et voyages : section des masses

#### 3.8.1 Publications extérieures

1. BEUF O., BRIGUET A., LISSAC, M., DAVIS R., Magnetic resonance imaging for the determination of magnetic susceptibility of materials, *J. Magnetic Resonance*, Series B, 1996, **112**, 111-118.
2. MYKLEBUST T., DAVIS R., Comparison between JV and BIPM to determine the volume magnetic susceptibility of one 20 g weight and two 1 g weights, report of Justervesenet (Norway), 1996, 4 p.
3. DAVIS R., QUINN T.J., Density inhomogeneity as determined by hydrostatic weighing, *Testing the Equivalence Principle in Space: Proc. STEP Symposium*, Pisa, Italy, 6-8 April 1993, ESA WPP-115, 1996, 283-289.

#### 3.8.2 Rapport BIPM

4. DAVIS R., Magnetic properties of samples 1E and 2J (EUROMET Project 324), *Rapport BIPM-96/4*, 1996, 12 p.

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

R.S. Davis :

- s'est rendu à Madrid (Espagne), du 6 au 9 février 1996, pour participer au CEM à une réunion des correspondants d'EUROMET dans le domaine des masses. Au cours de la réunion, il a donné une conférence intitulée « Humidity gradients: implications for mass metrology » ;
- a donné une conférence lors de la National Conference of Standards Laboratories, à Monterey CA (É.-U. d'Amérique), le 26 août 1996 ;
- a participé comme membre du comité d'organisation à l'Euroconference « Advanced Mathematical Tools in Metrology III », à Berlin (Allemagne), du 25 au 28 septembre 1996.

A. Picard a séjourné au NIST (Gaithersburg, É.-U. d'Amérique) d'août 1995 à juillet 1996 comme stagiaire ; il y a travaillé dans l'Electricity Division aux recherches faites pour relier le kilogramme à des constantes physiques fondamentales. Il a en particulier contribué à l'amélioration de l'analyse des résultats, à la conception et à la mise en œuvre de l'asservissement électrostatique auxiliaire et à la conception d'améliorations à apporter à l'appareil existant et à son enceinte.

### 3.9 Visiteurs de la section des masses

#### 3.9.1 Stagiaire

- Mlle Z.J. Jabbour (NIST, Gaithersburg, É.-U. d'Amérique) a commencé le 16 septembre 1996 un stage de 3 mois au BIPM pour concevoir un nouvel appareil de mesure hydrostatique de masse volumique.

### 3.9.2 Visiteurs

- M. M. Mosca (IMGC, Turin, Italie), le 9 janvier 1996.
- Mlle Z.J. Jabbour (NIST, Gaithersburg, É.-U. d'Amérique), du 4 au 8 mars 1996.
- M. S. Boonsanit (DSS, Bangkok, Thaïlande), du 11 au 15 mars 1996.
- Mme H. Durlík (GUM, Varsovie, Pologne), du 3 au 14 juin 1996.
- M. Jorge Mendoza Illescas (CENAM, Querétaro, Mexique), du 22 au 26 juillet 1996.

## 4. Temps (C. Thomas)

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

Les échelles de temps de référence TAI et UTC ont été régulièrement établies et publiées chaque mois dans la Circulaire *T*. Les résultats définitifs de l'année 1995 sont disponibles depuis le 22 février 1996 sous la forme de fichiers informatiques accessibles par le réseau Internet dans le FTP anonyme de la section du temps du BIPM. Les volumes imprimés du *Rapport annuel de la section du temps du BIPM* pour 1995 (volume 8) ont été distribués en avril 1996.

Depuis janvier 1996, le TAI et l'UTC sont accessibles aux dates MJD se terminant en 4 et en 9. Ceci correspond, pour les échelles de temps de référence, à une période de révision de 5 jours au lieu de 10 jours précédemment. Cette nouvelle manière de faire, suggérée en 1995 par le groupe de travail du TAI, est très appréciée par les laboratoires de temps qui peuvent maintenant fonder leurs prédictions en temps réel de l'UTC sur un plus grand nombre de résultats. Elle permet aussi de comparer plus facilement la fréquence du TAI aux fréquences des étalons primaires qui sont évaluées sur des durées de quelques heures à quelques jours.

### 4.2 Algorithmes pour les échelles de temps (J. Azoubib, G. Petit, C. Thomas)

Le travail de recherche concernant les algorithmes utilisés pour établir les échelles de temps comprend des études dont le but est d'améliorer la stabilité à long terme de l'EAL et l'exactitude du TAI.

#### 4.2.1 Stabilité de l'EAL

La large utilisation des comparaisons de temps par le GPS et le remplacement généralisé des anciennes horloges commerciales par les nouvelles

HP 5071A ont contribué, depuis la fin de 1992, à l'amélioration rapide de la qualité des données temporelles collectées par le BIPM. En conséquence, la stabilité de l'échelle atomique libre EAL, première étape du calcul du TAI, s'est améliorée de manière significative [1]. Elle a été estimée en appliquant la technique du chapeau à  $N$  pointes aux données, récoltées entre avril 1993 et décembre 1995, de comparaisons entre l'EAL et les meilleures échelles de temps indépendantes accessibles dans le monde (établies au BNM-LPTF, au NIST, à la PTB, à l'USNO et au VNIIFTRI). Les valeurs suivantes de l'écart-type d'Allan relatif  $\sigma_y(\tau)$  [2] ont été obtenues :

$$\sigma_y(\tau = 10 \text{ jours}) = 3,7 \times 10^{-15}$$

$$\sigma_y(\tau = 20 \text{ jours}) = 2,9 \times 10^{-15}$$

$$\sigma_y(\tau = 40 \text{ jours}) = 2,6 \times 10^{-15}$$

$$\sigma_y(\tau = 80 \text{ jours}) = 3,0 \times 10^{-15}$$

$$\sigma_y(\tau = 160 \text{ jours}) = 4,3 \times 10^{-15}.$$

Il résulte de l'excellente stabilité à moyen terme de l'EAL ( $\tau$  voisin de 40 jours) que l'UTC peut être prédit de manière très exacte sur des durées d'extrapolation de un à deux mois. Les instituts responsables de la distribution d'échelles de temps produites en temps réel considèrent souvent cela comme l'une des qualités fondamentales de l'échelle [3].

Il se peut que l'algorithme de stabilité qui produit l'EAL ait besoin d'être revu afin d'améliorer encore ces résultats. Dans ce but, nous avons soumis à l'expérience, en utilisant les données réelles rassemblées au BIPM, une modification de la limite supérieure des poids des horloges qui contribuent à l'EAL. Il s'avère qu'une limite supérieure imposée à la contribution relative, plutôt qu'au poids absolu, de n'importe laquelle des horloges individuelles aurait aidé à améliorer la stabilité de l'EAL pendant la période 1993-1995 [4, 5]. Ce critère de pondération n'est pas encore mis en oeuvre dans le calcul courant.

#### 4.2.2 Exactitude du TAI

L'exactitude du TAI est caractérisée par les estimations de la différence, et de son incertitude relative, entre la durée de l'intervalle d'échelle du TAI et celle de la seconde du SI telle qu'elle est produite, sur le géoïde en rotation, par les étalons primaires de fréquence. On a affiné les estimations publiées depuis janvier 1995 par un traitement global des mesures individuelles de la fréquence du TAI fournies par six des meilleurs étalons primaires construits et évalués dans différents laboratoires. Il s'agit de :

- PTB CS1, PTB CS2 et PTB CS3, qui sont des étalons de fréquence primaires classiques fonctionnant de plus de manière continue, comme des horloges, à la PTB (Braunschweig, Allemagne). La fréquence moyenne du TAI est mesurée par ces étalons durant des périodes de deux mois ; ils présentent des incertitudes de type B ( $1 \sigma$ ) respectivement égales à  $3 \times 10^{-14}$ ,  $1,5 \times 10^{-14}$  et  $1,4 \times 10^{-14}$  (PTB CS1 n'est plus en fonctionnement depuis septembre 1995).

- SU MCsR 102, qui est un étalon de fréquence primaire classique en fonctionnement au VNIIFTRI (Féd. de Russie). Depuis août 1995, il a fourni cinq mesures de la fréquence moyenne du TAI sur un ou deux mois. L'incertitude de type B de cet étalon est de  $5 \times 10^{-14}$  ( $1 \sigma$ ).
- NIST-7, qui est l'étalon primaire à pompage optique développé au NIST (Boulder, É.-U. d'Amérique). Cet étalon a délivré 18 mesures de la fréquence du TAI depuis juin 1994, toutes correspondent à des moyennes durant quelques jours. L'incertitude de type B de NIST-7 est de  $1 \times 10^{-14}$  ( $1 \sigma$ ).
- LPTF-FO1, qui est la fontaine à césium développée au BNM-LPTF (France). L'évaluation préliminaire de son exactitude a conduit à une incertitude de type B de  $3 \times 10^{-15}$  ( $1 \sigma$ ), valeur qui n'avait encore jamais été atteinte. Le BIPM a reçu environ 50 mesures de la fréquence du TAI réalisée par cette fontaine ; à peu près toutes correspondent à des moyennes durant 10 heures et ont eu lieu pendant la période allant de septembre à décembre 1995 et pendant le mois de mai 1996.

Une fois corrigés uniformément pour le décalage de fréquence gravitationnel et pour celui qui est dû à la radiation du corps noir, ainsi que l'a recommandé le CCDS lors de sa 13<sup>e</sup> session, les résultats délivrés par tous ces étalons primaires sont en bon accord compte tenu des incertitudes publiées. Le traitement global de ces mesures conduit, pour l'année 1995, à une différence moyenne entre la durée de l'intervalle d'échelle du TAI et la seconde du SI sur le géoïde en rotation, estimée de  $2 \times 10^{-14}$  s, avec une incertitude relative de  $0,5 \times 10^{-14}$ . Un processus de compensation pour cet effet a déjà été amorcé : il s'agit de cumuler des corrections de pilotage de fréquence, chacune d'amplitude relative  $1 \times 10^{-15}$ , appliquées à des dates distantes de 60 jours. Cette façon de faire ne devrait pas altérer de façon significative la stabilité à long terme de l'échelle de temps.

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

Depuis le début de l'année 1995, la méthode des vues simultanées des satellites du GPS est la seule méthode de comparaison d'horloges utilisée pour le calcul du TAI. Cependant, la section du temps du BIPM est intéressée par toute autre méthode ayant une exactitude potentielle de l'ordre de la nanoseconde, en particulier les vues simultanées des satellites du GLONASS et les comparaisons horaires par aller et retour sur des satellites géostationnaires.

#### 4.3.1 Global Positioning System (GPS)

Le BIPM continue à produire, deux fois par an, des programmes internationaux de vues simultanées du GPS. Le programme n° 26 a été implanté dans les récepteurs du temps du GPS le 4 janvier 1996 et le programme n° 27 le 3 juillet 1996. La récolte et le traitement des données brutes du GPS sont effectués régulièrement selon des procédés maintenant bien connus. Le BIPM utilise un réseau international de liaisons par le GPS qui est constitué de deux liens à longue dis-

tance, entre le NIST et l'OP et entre le CRL et l'OP, complétés par des réseaux locaux en étoile à l'échelle des continents. Pour les comparaisons à longue distance, les données sont corrigées à l'aide des mesures ionosphériques prises sur place et des éphémérides précises des satellites produites après coup. L'utilisation exclusive de vues simultanées strictes permet d'éliminer en majeure partie les effets provenant de la dégradation appliquée aux signaux du GPS pour en assurer l'accès sélectif.

Le BIPM publie aussi, dans la Circulaire *T*, une évaluation des différences de temps quotidiennes [*UTC – temps du GPS*]. Ces différences sont obtenues en lisant les données d'une sélection de satellites qui ont une élévation supérieure à 30°. Les écarts-types journaliers sont de l'ordre de 12 ns, car l'effet de la dégradation n'est pas complètement éliminé dans ce traitement.

Une part importante de nos activités courantes consiste en la vérification des retards internes différentiels entre les récepteurs du temps du GPS fonctionnant de manière régulière dans les laboratoires qui participent au TAI, ou, sur demande spéciale, dans d'autres laboratoires. Une campagne d'étalonnage différentiel des récepteurs du temps du GPS fonctionnant à l'USNO et à l'OP, débutée voilà une année, touche à sa fin. On a observé des variations du retard interne du récepteur de l'USNO corrélées avec celles de la température extérieure. En septembre 1996 on a débuté d'autres campagnes d'étalonnage différentiel en Australie et en Asie de l'est.

Nous continuons à tester la condition de fermeture en combinant trois liaisons horaires, OP-NIST, NIST-CRL et CRL-OP, corrigées par l'utilisation de retards ionosphériques mesurés aux trois sites et d'éphémérides précises des satellites du GPS. La fermeture présente encore, pour des moyennes journalières, un écart de quelques nanosecondes que l'on peut déterminer avec une précision meilleure qu'une nanoseconde. Celui-ci résulte probablement d'erreurs dans les coordonnées de l'une des stations et dans les mesures ionosphériques. Nous travaillons à l'évaluation de ces erreurs.

Des comparaisons de temps et de fréquences peuvent aussi être réalisées en utilisant des mesures de la phase des deux fréquences porteuses des signaux émis par les satellites du GPS. On en attend une incertitude de l'ordre de  $10^{-15}$  pour les comparaisons de fréquences moyennes sur une durée de un jour et meilleure que la nanoseconde pour les comparaisons d'échelles de temps [6, 7]. Le récepteur du type Allen Osborne Associates TTR-4P qui est en fonctionnement au BIPM délivre ce genre de données, mais une première expérience a révélé quelques défauts dans son fonctionnement, défauts que l'on cherche maintenant à éliminer. Nous commençons aussi à établir des contacts avec d'autres laboratoires équipés de récepteurs similaires afin de continuer le travail expérimental sur ce sujet.

La mise en œuvre des directives techniques conçues en 1993 se poursuit pour l'unification des logiciels utilisés par les récepteurs du temps du GPS comme pour celle du format de ces données. En mai 1996, 18 laboratoires de temps

parmi les 49 participant au TAI fournissaient déjà des données organisées selon le nouveau format, en particulier le NIST et l'OP. Ainsi, depuis mars 1996, nous avons eu l'occasion de traiter le cas d'une liaison par le GPS à longue distance avec le nouveau logiciel implanté sur les deux sites : pour une lecture individuelle de  $[UTC(NIST) - UTC(OP)]$  il en résulte une amélioration de l'incertitude obtenue de 3,4 ns à 2 ns. Dans le cadre du groupe de travail sur la normalisation des comparaisons d'horloges utilisant le GPS et le GLONASS, le BIPM est impliqué dans la normalisation du matériel de réception afin de réduire, en particulier, la variation observée en fonction de la température pour certains types de récepteurs actuellement en fonctionnement.

### 4.3.2 Global Navigation Satellite System (GLONASS)

Des valeurs de  $[UTC - \text{temps du GLONASS}]$  sont publiées régulièrement dans la Circulaire *T* du BIPM ; elles proviennent des observations des satellites du GLONASS, réalisées par le Professeur P. Daly de l'Université de Leeds (Royaume-Uni).

Le BIPM est équipé de deux récepteurs commercialisés par la compagnie 3S Navigation : l'un, travaillant sur une seule fréquence des signaux du GLONASS, est prêté par la compagnie, l'autre, conçu pour recevoir les deux fréquences, a été acheté par le BIPM en décembre 1995. Les logiciels implantés dans ces récepteurs, conçus spécifiquement pour des observations automatiques par vue simultanée des satellites du GLONASS, sont les premiers de ce type et le BIPM a beaucoup contribué à leur mise au point : en particulier, les résultats des mesures sont organisés selon le nouveau format de données défini par le groupe de travail du CCDS sur la normalisation des comparaisons d'horloges utilisant le GPS et le GLONASS. Depuis janvier 1996, le Russian Institute of Radionavigation and Time (Féd. de Russie) nous envoie régulièrement des données de vues simultanées des satellites du GLONASS provenant d'un récepteur du temps du GLONASS fabriqué en Russie et dans lequel le logiciel recommandé par le BIPM est implanté.

Le premier programme international officiel de vues simultanées des satellites du GLONASS a été publié par le BIPM, en décembre 1995, et implanté dans les récepteurs du temps du GLONASS en fonctionnement dans plusieurs laboratoires de temps, le 4 janvier 1996. Le second programme a été mis en œuvre le 3 juillet 1996. Durant l'été de 1996, sept laboratoires de temps procédaient à des observations des satellites du GLONASS en vues simultanées ; on s'attend à un accroissement rapide de ce nombre.

Des comparaisons d'horloges par vue simultanée des satellites du GLONASS sont réalisées depuis la fin du mois de juin 1995 entre la Californie, la côte est des États-Unis et le BIPM. Les résultats indiquent que la précision est comparable à celle que l'on obtient par la méthode des vues simultanées des satellites du GPS [9, 10], cependant les retards internes des récepteurs du temps du GLONASS ne sont pas encore étalonnés.

### 4.3.3 Comparaisons horaires par aller et retour

Le Groupe de travail du CCDS sur les comparaisons horaires par aller et retour sur satellite s'est réuni pour la 5<sup>e</sup> fois à Braunschweig (Allemagne), les 28 et 29 septembre 1995. De plus, une réunion plus technique des représentants des stations actives dans ce domaine, a eu lieu le 8 mars 1996 au NPL (Royaume-Uni). Lors de ces réunions, on a discuté de l'expérience dite « *field-trial* », de l'utilisation des satellites d'INTELSAT en 1996 et de la disponibilité des modems.

Le « *field-trial* » était une expérience de comparaison d'horloges par aller et retour sur le satellite INTELSAT V-A(F13), puis sur le satellite INTELSAT 706 à partir de juillet 1995, faisant appel à la fois à des laboratoires européens et à des laboratoires nord-américains. Cette expérience a débuté en janvier 1994 et s'est terminée en décembre 1995. Des sessions de comparaisons d'horloges ont eu lieu régulièrement trois fois par semaine, les lundis, mercredis et vendredis. Le « *field-trial* » fut un succès de première importance en ce qui concerne la mise en oeuvre permanente d'un réseau international de huit stations. Cependant on n'a pas pu obtenir un niveau d'exactitude meilleur que la nanoseconde. Le BIPM participe aussi à la comparaison des deux techniques par vues simultanées des satellites du GPS et par aller et retour sur satellite, appliquées aux comparaisons d'horloges distantes [11, 12].

Des liaisons horaires par aller et retour sur le satellite INTELSAT 706 pourraient s'établir de manière régulière, à raison de trois sessions hebdomadaires, à partir d'octobre 1996 ; l'utilisation du satellite ne sera alors plus gratuite. Les stations qui y participeront seraient les mêmes que celles qui ont participé au « *field-trial* ».

### 4.4 Application de la relativité générale à la métrologie du temps (G. Petit, C. Thomas, P. Wolf)

M. B. Guinot a présenté au CCDS, lors de sa 13<sup>e</sup> session en mars 1996, l'ébauche du rapport du Groupe de travail du CCDS sur l'application de la relativité générale à la métrologie. Les membres de la section du temps ont contribué à la réalisation de ce rapport et poursuivent des recherches sur certains des sujets abordés [13].

Un résumé des travaux de recherche effectués depuis trois ans à la section du temps du BIPM et concernant la relativité générale et la métrologie du temps est en cours de préparation. Cela constituera la thèse de doctorat de P. Wolf qui sera présentée au Queen Mary and Westfield College (Université de Londres) au début de l'année 1997.

Un nouveau test concernant le second postulat de la relativité restreinte (l'universalité de la vitesse de la lumière) a été réalisé en utilisant des masers à hydrogène et des horloges à césium sur la Terre et à bord de deux satellites du GPS (numéros PRN 15 et PRN 28), non soumis à la dégradation pour cause

d'accès sélectif. Les horloges sont comparées en utilisant des mesures de phase des fréquences porteuses des signaux du GPS. Ces mesures proviennent du récepteur du temps du GPS de type Allen Osborne Associates TTR-4P, en fonctionnement au BIPM, et de récepteurs géodésiques de type Allen Osborne Associates Turbo-Rogue en fonctionnement dans plusieurs stations de l'International GPS Service for Geodynamics (IGS), stations situées partout dans le monde. C'est le premier test de relativité restreinte susceptible de détecter une anisotropie éventuelle de la vitesse de la lumière selon n'importe quelle direction spatiale. C'est aussi le premier test utilisant des horloges à bord de satellites et ainsi distantes de plus de 20 000 km. Les résultats de cette expérience [14] donnent une limite supérieure égale à  $9 \times 10^{-9}$  pour la variation relative de la vitesse de la lumière  $\delta c/c$ . Ceci constitue une amélioration par un facteur 40 des résultats de mesures directes antérieures\*. Une expérience de laboratoire\*\*, visant à tester l'isotropie du décalage de fréquence dû à l'effet Doppler du premier ordre, a permis de fixer la limite supérieure de  $\delta c/c$  à la valeur  $3 \times 10^{-9}$  mais cette expérience n'était pas susceptible de détecter une anisotropie dans la direction nord-sud. Quant à l'expérience GP-A\*\*\*, elle ne permet de donner une limite supérieure de  $\delta c/c$  égale à  $3,2 \times 10^{-9}$  que dans une direction spatiale particulière. Les résultats obtenus doivent être considérés comme préliminaires par rapport à ceux que l'on pourrait obtenir avec un ensemble de mesures plus complet issu d'un plus grand nombre de stations et, ce qui serait encore plus important, des 24 satellites du GPS si les signaux n'étaient pas dégradés pour cause d'accès sélectif.

#### 4.5 Pulsars (G. Petit, B. Rougeaux\*\*\*\*)

Les pulsars-milliseconde peuvent, en principe, être considérés comme des horloges stables, dont on peut traiter les données par un algorithme optimisé pour la stabilité. Les travaux mis en œuvre ces dernières années et visant à comprendre comment une telle échelle de temps des pulsars peut être réalisée et quel intérêt elle pourrait avoir du point de vue du temps atomique ont été résumés et publiés [15]. Un point paraît 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 posés par les pannes éventuelles des étalons atomiques.

Une collaboration est engagée avec différents groupes de radioastronomes qui font des observations de pulsars, afin d'obtenir des données réelles. La sec-

---

\* KRISHER T.P. *et al.*, Test of the isotropy of the one-way speed of light using hydrogen-maser frequency standards (rapid communication), *Phys. Rev. D*, 1990, 42, 731.

\*\* RIIS E. *et al.*, Test of the isotropy of the speed of light using fast-beam laser spectroscopy, *Phys. Rev. Letters*, 1988, 60, 81.

\*\*\* VESSOT R.F.C., LEVINE M.W., A test of the equivalence principle using a space-borne clock, *General Relativity & Gravitation*, 1979, 10, 181.

\*\*\*\* Étudiante en thèse de doctorat (travail en partie financé par le CNES).

tion du temps leur a fourni, en avril 1996, la dernière version de sa réalisation en temps différé du temps terrestre, TT(BIPM96). Cette collaboration va se poursuivre dans le cadre du groupe de travail sur le chronométrage des pulsars de la Commission 31 (Temps) de l'UAI, dont G. Petit est le président.

Des études concernant une nouvelle technique qui pourrait être utilisée dans les observatoires radioastronomiques pour obtenir plus de données relatives aux pulsars sont actuellement réalisées en collaboration avec le Centre national d'études spatiales (CNES, France) et avec l'Observatoire de Paris à Meudon (France). La perspective d'utiliser cette technique pour découvrir de nouveaux pulsars est aussi à l'étude dans le cadre du travail de thèse de doctorat de B. Rougeaux.

#### 4.6 Radio-interférométrie à très longue base (G. Petit)

La radio-interférométrie à très longue base (Very Long Baseline Interferometry, VLBI) est l'une des techniques les plus précises pour réaliser des systèmes de référence en géodésie et en astrométrie. C'est aussi 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 grâce à plusieurs collaborations avec l'Observatoire de Paris et le CNES, en particulier nous participons à des observations de pulsars-milliseconde par la technique du VLBI.

#### 4.7 Publications, conférences et voyages : section du temps

##### 4.7.1 Publications extérieures

1. THOMAS C., Impact of New Clock Technologies on the Stability and Accuracy of the International Atomic Time TAI, *Proc. 50th IEEE Int. FCS*, 1996, 1123-1130.
2. THOMAS C., Stability and Accuracy of International Atomic Time, *Proc. 10th EFTF*, 1996, 520-527.
3. QUINN T.J., THOMAS C., Role of the BIPM in UTC Dissemination to the Real Time User, *Proc. 27th PTTI*, 1995, 87-96.
4. THOMAS C., AZOUBIB J., Upper Limit of Weights in TAI Computation, *Proc. 27th PTTI*, 1995, 193-208.
5. THOMAS C., AZOUBIB J., TAI Computation: Study of an Alternative Choice for Implementing an Upper Limit of Clock Weights, *Metrologia*, 1996, **33**, 227-240.
6. PETIT G., MOUSSAY P., THOMAS C., GPS Time Transfer Using Carrier Phase and P-Code Measurements, *Proc. 10th EFTF*, 1996, 279-285.
7. PETIT G., THOMAS C., GPS Frequency Transfer Using Carrier Phase Measurements, *Proc. 50th IEEE Int. FCS*, 1996, 1151-1158.

8. HODGE C.C., DAVIS J.A., GALLOP J.C., ALLAN D.W., ASHBY N., BEDRICH S., CUTLER L.S., HAHN J., KERN R.H., LEWANDOWSKI W., MALEKI L., VESSOT R.F.C., Towards 10 Millimeter Real-Time Position Determination and 30 Picosecond Time-Transfer Capability with the Next Generation of Global Navigation Satellite Systems (GNSS), *Proc. ION GPS-96*, 1996, 1127-1142.
9. LEWANDOWSKI W., DANAHER J., KLEPCZYNSKI W.J., GLONASS Common-View Time Transfer Between North America and Europe and its Comparison with GPS, *Proc. 10th EFTF*, 1996, 388-392.
10. LEWANDOWSKI W., DANAHER J., KLEPCZYNSKI W.J., Experiment Using GPS/GLONASS Common-View Time Transfer Between Europe and North America, *Proc. ION GPS-96*, 1996, 271-277.
11. DAVIS J.A., LEWANDOWSKI W., DEYOUNG J.A., KIRCHNER D., HETZEL P., DE JONG G., SOERING A., BAUMONT F., KLEPCZYNSKI W.J., MCKINLEY A., PARKER T., BARTLE K.A., RESSLER H., ROBNIK R., VEENSTRA L., Preliminary Comparison of Two-Way Satellite Time and Frequency Transfer and GPS Common-View Time Transfer During the INTELSAT Field Trial, *Proc. 27th PTIT*, 1995, 347-358.
12. DAVIS J.A., LEWANDOWSKI W., DEYOUNG J.A., KIRCHNER D., HETZEL P., DE JONG G., SOERING A., BAUMONT F., KLEPCZYNSKI W.J., MCKINLEY A., PARKER T., BARTLE K.A., RESSLER H., ROBNIK R., VEENSTRA L., Comparison of Two-Way Satellite Time and Frequency Transfer and GPS Common-View Time Transfer During the INTELSAT Field Trial, *Proc. 10th EFTF*, 1996, 382-387.
13. PETIT G., WOLF P., Computation of the Relativistic Frequency Shift of a Frequency Standard, *CPEM Digest*, 1996, 182.
14. WOLF P., PETIT G., A Test of Special Relativity Using GPS: Preliminary Results, *Proc. 50th IEEE Int. FCS*, 1996, 1193-1197.
15. PETIT G., TAVELLA P., Pulsars and Time Scales, *Astron. Astrophys.*, 1996, **308**, 290-298.
16. PETIT G., Limits to the stability of pulsar time, *Proc. 27th PTIT*, 1995, 387-396.

#### 4.7.2 Conférences et exposés

W. Lewandowski a fait une présentation sur les comparaisons d'horloges par le GLONASS le 29 novembre 1995 pendant la 27<sup>e</sup> réunion du PTIT à San Diego (Californie, É.-U. d'Amérique). Il a participé aux réunions du Comité civil du GPS à Falls Church (Virginie, É.-U. d'Amérique), du 18 au 21 mars 1996, et à Kansas City (Missouri, É.-U. d'Amérique), du 14 au 18 septembre 1996, où il a présenté des résultats d'études récentes sur les comparaisons d'horloges par le GPS, le GLONASS et la méthode par aller et retour. Il a aussi fait une présentation sur les comparaisons d'horloges par le GLONASS au Laboratoire de recherches balistiques et aérodynamiques à Vernon (France), le 21 mai 1996, et

donné un exposé intitulé « GPS and GLONASS in Time Metrology », le 29 août 1996, lors de la XXV<sup>e</sup> assemblée générale de l'URSI à Lille (France).

Pendant le forum sur la normalisation du GPS organisé le 28 novembre 1995 à San Diego par le Groupe de travail du CCDS sur la normalisation des comparaisons d'horloges, W. Lewandowski a fait une présentation sur les problèmes matériels de l'équipement de réception, C. Thomas sur l'implantation des directives techniques dans les logiciels des récepteurs courants et G. Petit sur les défauts des logiciels des récepteurs multicanaux.

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

C. Thomas s'est rendue à :

- San Diego (Californie, É.-U. d'Amérique), du 28 novembre au 1<sup>er</sup> décembre 1995, avec W. Lewandowski et G. Petit, pour assister à la 27<sup>e</sup> réunion du PTTI ;
- Teddington (Royaume-Uni), le 4 mars 1996, pour visiter les services du temps du NPL et pour assister à un atelier sur le système global de navigation par satellite GNSS2 ;
- Brighton (Royaume-Uni), du 5 au 7 mars 1996, pour assister à la 10<sup>e</sup> réunion de l'EFTF ;
- Honolulu (Hawaii, É.-U. d'Amérique), du 5 au 8 juin 1996, avec P. Wolf, pour assister à la 50<sup>e</sup> réunion du FCS ;
- Paris (France), le 24 septembre 1996, pour assister aux Journées 1996 Systèmes de référence spatio-temporels.

J. Azoubib s'est rendu à Braunschweig (Allemagne), du 17 au 20 juin 1996, pour assister à la CPEM'96.

W. Lewandowski s'est rendu à :

- Braunschweig (Allemagne), les 28 et 29 septembre 1995, pour participer à la réunion du Groupe de travail du CCDS sur les comparaisons d'horloges par aller et retour sur satellite ;
- Teddington (Royaume-Uni), le 8 mars 1996, pour assister à une réunion des représentants des stations qui participent au Groupe de travail du CCDS sur les comparaisons d'horloges par aller et retour ;
- Falls Church (Virginie, É.-U. d'Amérique), du 18 au 21 mars 1996, pour participer à une réunion du Civil GPS Service Interface Committee ;
- Washington DC (É.-U. d'Amérique), le 22 mars 1996, pour discuter avec des collègues de l'USNO à propos des comparaisons d'horloges par le GPS, le GLONASS et la méthode par aller et retour ;
- Vernon (France), le 21 mai 1996, pour visiter le Laboratoire de recherches balistiques et aérodynamiques ;

- Lille (France), du 28 au 30 août 1996, pour assister à la XXV<sup>e</sup> assemblée générale de l'URSI ;
- Kansas City (Missouri, É.-U. d'Amérique), du 14 au 22 septembre 1996, pour participer aux réunions du Civil GPS Service Interface Committee et de l'ION GPS-96.

G. Petit s'est rendu à :

- Bruxelles (Belgique), le 5 juin 1996, pour discuter avec des collègues de l'Observatoire Royal de Belgique ;
- Braunschweig (Allemagne), du 17 au 20 juin 1996, pour assister à la CPEM'96 ;
- Lille (France), les 29 août et 2 septembre 1996, pour assister à la XXV<sup>e</sup> assemblée générale de l'URSI ;
- Paris (France), le 23 septembre 1996, pour assister aux Journées 1996 Systèmes de référence spatio-temporels ;
- Amsterdam (Pays-Bas), le 24 septembre 1996, pour assister au Royal Netherlands Academy of Sciences Colloquium on « Pulsar Timing, General Relativity and Internal Structure of Neutron Stars ».

P. Wolf s'est rendu à :

- Grasse (France), du 25 au 27 octobre 1995 pour assister à une réunion du Groupe de recherche GDR 1053 du CNRS : Gravitation et expériences (GREX) ;
- Londres (Royaume-Uni), les 19 et 20 septembre 1996, pour travailler avec le Professeur I.W. Roxburgh au Queen Mary and Westfield College.

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

C. Thomas est membre du Comité national français de géodésie et géophysique et membre du CRL External Review Committee (Japon).

W. Lewandowski participe aux travaux de l'UGGI et est le représentant du BIPM au Comité civil du GPS.

G. Petit participe aux travaux de l'UAI en tant que membre du Groupe de travail sur les normes astronomiques et président du Groupe de travail sur le chronométrage des pulsars de la Commission 31 (Temps). Il est membre du Conseil scientifique du GRGS (France) et du Bureau central de l'IERS (France). Il est aussi membre du Comité national français de géodésie et géophysique.

P. Wolf est membre du GREX (France).

## 4.9 Visiteurs de la section du temps

- MM. Wang Zhi-Tian, Zhang Yin-Bai, Li Zong-Yang, Mlle Jiang Dong-Wei (BIRM, Beijing, Rép. pop. de Chine), 8-10 novembre 1995.
- M. B. Simeone (CNAM, Paris, France), 16 novembre 1995.
- M. K. Jaldehag (SP, Borås, Suède), 19 décembre 1995.
- M. R. Douglas (NRC, Ottawa, Canada), 14 mars 1996.
- M. E. Davoust (OMP, Toulouse, France), MM. T. Fayard, C. Pieplu (CNES, Toulouse, France), 25 juin 1996.
- M. D. Matsakis (USNO, Washington DC, É.-U. d'Amérique), 5 septembre 1996.
- M. P. Banerjee (NPL, New Delhi, Inde), 6-10 septembre 1996.

## 5. Électricité (T.J. Witt)

### 5.1 Résumé des travaux de la section d'électricité

Parmi les points marquants des activités de l'année qui se termine au mois de septembre 1996 il faut mentionner deux comparaisons d'étalons de tension de 1 V fondés sur l'effet Josephson, comparaisons qui ont été effectuées à l'aide de notre appareil transportable. Ces comparaisons ont eu lieu au NIM (Rép. pop. de Chine) et au SP (Suède). Les résultats donnent, entre les étalons de tension de 1 V fondés sur l'effet Josephson de chaque laboratoire et celui du BIPM, des différences relatives qui ne dépassent pas  $1 \times 10^{-10}$  avec une incertitude-type composée qui, dans chacun des cas, n'est pas supérieure à  $3 \times 10^{-10}$ . Au mois d'octobre 1995 nous avons transporté notre installation d'étalon de résistance fondé sur l'effet Hall quantique, y compris le cryostat, l'aimant et le pont de résistance, à la PTB (Allemagne) ; nous y avons fait la troisième comparaison sur place d'étalons fondés sur l'effet Hall quantique. Les résultats font apparaître un accord entre les mesures effectuées avec les deux systèmes à quelques  $10^{-9}$  près avec une incertitude-type composée totale relative d'une valeur à peu près équivalente. Les deux appareils transportables à effet Josephson et à effet Hall quantique permettent d'assurer la traçabilité entre laboratoires avec des incertitudes d'un ordre de grandeur, ou plus, inférieures à celles obtenues avec des étalons voyageurs traditionnels.

Nous avons beaucoup avancé dans le montage d'un pont d'impédance qui permettra de relier la résistance de Hall quantifiée à l'impédance des condensateurs étalons.

L'analyse spectrale à basse fréquence des étalons de tension électroniques fondés sur des diodes de Zener a fait apparaître une corrélation statistiquement significative entre la température des diodes et les tensions de sortie.

Le programme des comparaisons bilatérales d'étalons électriques est en train d'évoluer considérablement. Nous faisons l'acquisition d'étalons voyageurs qui seront envoyés par le BIPM aux laboratoires participant à des comparaisons bilatérales.

## 5.2 Potentiel électrique

### 5.2.1 Effet Josephson (D. Reymann)

Au mois d'octobre 1995, à l'occasion de la CGPM, le KRISS (Rép. de Corée) a fait don au BIPM d'un réseau de jonctions de Josephson de 1 V de sa fabrication et la PTB a fait don d'un réseau de 10 V fabriqué par ses soins. Les deux dispositifs ont été vérifiés et fonctionnent parfaitement bien. Ils constituent maintenant des éléments importants dans l'ensemble des étalons de tension de type Josephson du BIPM. Nous saisissons cette occasion pour remercier le KRISS et la PTB pour ces dons.

Deux nouvelles comparaisons d'étalons de tension de type Josephson de 1 V ont été effectuées au cours de la période couverte par le présent rapport. Au mois de novembre 1995 notre équipement a été transporté au NIM. En plus de la comparaison directe et indirecte des étalons de type Josephson, des comparaisons d'étalonnages de piles à l'aide de ces deux étalons ont aussi été effectuées. La stabilité de la fréquence et les différences de comptage ont aussi été vérifiées avec soin. Avec l'aide et les conseils de Y. Sakamoto de l'ETL (Japon), une chaîne de fréquence a été établie pour évaluer avec précision la différence entre la fréquence de sortie stipulée, affichée par chaque stabilisateur-compteur de fréquence, et la fréquence réellement fournie par la source stabilisée. Les différences mesurées ont été trouvées égales à 0,1 Hz (ce qui correspond à un écart relatif de  $1,2 \times 10^{-12}$ ) pour le stabilisateur-compteur du NIM et à 0,3 Hz (ce qui correspond à un écart relatif de  $3,6 \times 10^{-12}$ ) pour celui du BIPM.

Au mois d'avril 1996 nous avons transporté notre étalon à effet Josephson au SP. Dans l'ensemble, cette comparaison s'est bien déroulée, en particulier pour les résultats des étalonnages d'une pile étalon stable à l'aide des deux étalons de Josephson. Toutefois, pendant les premières séries de comparaisons indirectes des deux étalons de Josephson à l'aide de la référence de tension du BIPM utilisée comme instrument de transfert, la température ambiante s'est élevée au-dessus de la limite de son régulateur de température. Cela a entraîné une dérive exceptionnellement élevée de la tension de sortie de la référence de telle sorte que les tensions données par le détecteur-nanovoltmètre étaient considérablement supérieures à ce qu'elles sont d'habitude. Les résultats semblent indiquer qu'il existe une corrélation entre les résultats de ces séries de mesures et les amplitudes des lectures du détecteur. Un examen plus minutieux des enregistrements a fait apparaître de petites variations de la sensibilité du détecteur liées à des différences dans les spécifications de l'interférence électromagnétique injectée dans le détecteur par chaque appareil Josephson. En simulant l'effet de faibles variations de la sensibilité du détecteur, nous en sommes venus à com-

prendre que la corrélation apparente entre les amplitudes des tensions mesurées et les résultats était seulement due au défaut de stabilité de la sensibilité du détecteur. Cela ne pose aucun problème lors des mesures courantes pour lesquelles les amplitudes des signaux lus par le détecteur sont faibles.

Pour les comparaisons NIM/BIPM et SP/BIPM les résultats, exprimés sous forme des différences entre les valeurs attribuées par les laboratoires à leur étalon de 1,018 V, et de leur incertitude-type composée sont :

$$U_{\text{NIM}} - U_{\text{BIPM}} = -0,01 \text{ nV} \quad u_c = 0,11 \text{ nV}$$

et

$$U_{\text{SP}} - U_{\text{BIPM}} = +0,1 \text{ nV} \quad u_c = 0,3 \text{ nV}$$

où  $u_c$  est l'incertitude-type composée et comprend les composantes de type A et de type B des deux laboratoires.

### 5.2.2 Analyse spectrale des nanovoltmètres et des étalons de tension (T.J. Witt)

Nous effectuons actuellement une analyse spectrale à basse fréquence pour étudier le fonctionnement des nanovoltmètres et le bruit de certains étalons de tension de référence en courant continu à des fréquences comprises entre 10 Hz et 5 mHz, ainsi que d'étalons de référence de courant continu, entre plusieurs hertz et presque 10  $\mu$ Hz. Les logiciels et les capacités de mémoire des ordinateurs personnels permettent maintenant d'effectuer une analyse spectrale à basse fréquence des données rassemblées en lecture lente et ceci à des coûts qui sont très modestes si on les compare aux analyseurs de spectre à basse fréquence que l'on trouve dans le commerce.

Pour étudier et utiliser un nanovoltmètre il est utile de connaître sa réponse en fréquence, en particulier la largeur de bande du bruit,  $B$ . On peut la déterminer facilement par analyse spectrale. Connaître  $B$  facilite la conception des méthodes d'acquisition de données. Connaître la répartition spectrale de puissance permet de concevoir des méthodes et fournit une façon claire de visualiser les réponses des voltmètres équipés de divers filtres analogiques ou numériques, de fonctions d'intégration et de fonctions statistiques. L'analyse spectrale peut déceler aussi des effets indésirables dans les nanovoltmètres, les étalons de tension et toute l'installation de mesure, y compris ceux liés à l'environnement du laboratoire. Les résultats d'effets indésirables peuvent quelquefois être observés dans les spectres sous forme de pics produits par des signaux périodiques ou d'un bruit en  $1/f$  produit par des dérives.

Après avoir étudié les spectres de trois nanovoltmètres nous en avons choisi un pour comparer les caractéristiques de bruit des piles étalons et des étalons de tension électroniques fondés sur des diodes de Zener du type qui est le plus souvent utilisé pour les étalons de tension de référence secondaires en liaison avec des étalons de tension fondés sur l'effet Josephson. L'analyse spectrale a fait apparaître une corrélation entre les tensions de sortie et la température ambiante, ce qui nous a conduit à faire une étude détaillée de l'influence de la tempéra-

ture. Nous pensons que cette influence de la température est peut-être la cause des incohérences que l'on constate en comparant les résultats d'étalonnages rapportés à l'effet Josephson et effectués au moyen de ce genre d'étalon voyageur, ainsi que des variations de tension de sortie consécutives au passage du branchement sur le réseau au branchement sur une batterie interne ou vice-versa.

### **5.3 Résistance électrique : comparaisons sur place d'étalons de résistance de Hall (F. Delahaye et T.J. Witt)**

Cette année nous avons effectué une comparaison d'étalons de résistance de Hall quantifiée (QHE) à la PTB. Cette comparaison est la troisième d'un programme du BIPM qui a pour but de vérifier la cohérence au niveau international des étalons primaires de résistance en comparant les étalons QHE appartenant aux laboratoires nationaux à celui du BIPM. La méthode utilisée pour cette comparaison est identique à celle qui a été utilisée pour les deux premières. L'étalon transportable de QHE appartenant au BIPM a été emmené à la PTB et, du 16 au 20 octobre 1995, des mesures d'un étalon de  $100 \Omega$  ont été faites en fonction de la résistance de Hall quantifiée  $R_H(2)$  en utilisant les étalons QHE des deux laboratoires. De la même façon des mesures des rapports  $10\,000 \Omega/100 \Omega$  et  $100 \Omega/1 \Omega$  ont été effectuées avec les instruments des deux laboratoires. Les résultats de cette comparaison font apparaître un accord excellent entre la PTB et le BIPM pour les mesures de l'étalon de  $100 \Omega$  en fonction de  $R_H(2)$  ainsi que pour les mesures des rapports de  $10\,000 \Omega/100 \Omega$  et de  $100 \Omega/1 \Omega$ . Dans les deux premiers cas les résultats concordent bien dans les limites de l'incertitude-type relative totale de la comparaison ( $1,9 \times 10^{-9}$ ). Les résultats préliminaires pour le rapport de  $100 \Omega/1 \Omega$  font apparaître une différence, légère mais significative, de  $-6 \times 10^{-9}$  entre la PTB et le BIPM. Il s'est avéré que la cause de cette différence était à imputer à une erreur typographique dans la transcription des résultats de l'étalonnage du diviseur de tension utilisé pour équilibrer le pont à comparateur cryogénique de courants de la PTB. Le résultat final pour la comparaison des mesures du rapport de  $100 \Omega/1 \Omega$  donne une différence de  $1,2 \times 10^{-9}$  avec une incertitude-type relative composée,  $u_c$ , de  $2,6 \times 10^{-9}$ . Dans tous les cas le niveau d'accord obtenu pour cette comparaison sur place avec la PTB est nettement supérieur à ce que l'on peut obtenir pour les comparaisons habituelles au moyen d'étalons voyageurs de résistance.

### **5.4 Mesures d'impédance (F. Delahaye et J. Melcher)**

#### **5.4.1 Mise au point de ponts en courant alternatif pour l'étalonnage d'étalons de capacité**

Le travail entrepris pour déterminer la valeur des étalons de capacité en fonction de la résistance de Hall quantifiée se poursuit. Un composant essentiel de la chaîne d'étalonnage reliant les étalons de capacité à la résistance de Hall quantifiée est le pont d'impédance (fondé sur un transformateur de ten-

sion) qui est en cours de montage. Il nous permettra d'étalonner des rapports d'impédance qui diffèrent légèrement des rapports entiers fixés et, en particulier, servira à étalonner les rapports de capacité d'une valeur nominale de 10. Pour atteindre des incertitudes relatives de quelques  $10^{-8}$  pour les rapports d'impédance, il faut un appareil pour étalonner le transformateur de tension. La construction des pièces principales du pont d'impédance et de la plupart des principales parties de l'installation d'étalonnage est terminée et le pont d'impédance est quasiment monté. Nous tenons à remercier la PTB qui a permis à M. V. Bürkel de travailler pendant trois mois au BIPM et de nous aider au montage de cette installation.

#### **5.4.2 Mesures de la résistance de Hall quantifiée à des fréquences de d'ordre du kilohertz**

Les recherches se poursuivent afin d'établir l'incertitude avec laquelle des résistances de Hall quantifiées peuvent être utilisées comme étalons d'impédance à des fréquences voisines de 1,6 kHz. L'an dernier, des mesures effectuées à 1,6 kHz ont fait apparaître des incohérences de l'ordre de  $1 \times 10^{-7}$  entre les résistances de Hall quantifiées. Depuis lors, des mesures de la résistivité longitudinale résiduelle des échantillons laissent à penser que ces imperfections sont dues à des pertes en courant alternatif survenant dans les échantillons eux-mêmes. Toutefois, nous avons aussi découvert une source d'incertitude extérieure aux échantillons : un signal synchrone d'interférence, probablement d'origine microphonique, dans les câbles coaxiaux que nous avons fabriqués nous-mêmes pour connecter la sonde cryogénique. Nous faisons actuellement des essais avec des câbles coaxiaux miniatures qui devraient être mieux appropriés. Compte tenu des difficultés qu'il y a à mesurer la résistance de Hall quantifiée elle-même à 1,6 kHz, et pour effectuer quelques vérifications métrologiques, nous envisageons une autre méthode pour relier la résistance de Hall quantifiée aux étalons de capacité. Elle ferait appel à des étalons traditionnels de résistance en courant alternatif qui auraient une différence de résistance alternatif-continu calculable à 1,6 kHz. De tels étalons seraient étalonnés en fonction de la résistance de Hall quantifiée en courant continu et utilisés avec du courant alternatif pour les mesures de capacité.

#### **5.5 Comparaisons bilatérales d'étalons électriques au BIPM (T.J. Witt)**

Nous envisageons un développement important et nouveau de nos comparaisons bilatérales afin de démontrer de façon rigoureuse la traçabilité des étalons électriques de base à ceux du BIPM. Nous nous procurons, ou cherchons à nous procurer, des étalons voyageurs de la plus grande qualité qui seront utilisés dans les laboratoires nationaux pour les comparaisons bilatérales. Par rapport à la méthode habituelle qui consiste à envoyer au BIPM des étalons qui appartiennent à un laboratoire national, cette méthode présente plusieurs avantages :

- 1) les étalons voyageurs seront étudiés par le BIPM avant d'être mis en service ;

2) ils seront mesurés au BIPM avant et après chaque comparaison de telle sorte que leur comportement en fonction du temps durant une comparaison pourra être vérifié d'après l'histoire antérieure de ces étalons et 3) cette méthode permettra aux laboratoires de ne pas envoyer au BIPM leurs propres étalons qui, dans certains cas, font partie de leur groupe de référence nationale. Nous envisageons d'acquérir six exemplaires de chacun des étalons suivants : résistances de 1  $\Omega$ , résistances de 10 k $\Omega$  et étalons de tension électroniques fondés sur des diodes de Zener avec des sorties de 1,018 V et de 10 V.

Les tableaux ci-dessous présentent les résultats et les incertitudes-types obtenues pour les comparaisons bilatérales qui se sont achevées au cours de l'année dernière. Ils sont publiés dans *Metrologia* (1996, **33**, 271-287). La dernière colonne indique si le laboratoire a pris la décision de modifier la valeur attribuée à ses étalons. La comparaison de tension avec l'IEN (Italie) a été effectuée au moyen d'un étalon à diode de Zener appartenant au BIPM ; c'est la première comparaison de ce type. Les valeurs de l'IEN sont fondées sur des mesures faites avec leur étalon à effet Josephson. Pour la comparaison de résistance avec le CEM (Espagne), les valeurs du CEM sont fondées sur des mesures faites avec un étalon à résistance de Hall quantifiée.

#### ÉTALONS DE TENSION

Laboratoire	Date	1,018 V		10 V		change- ment
		$(U_{LAB} - U_{BIPM})/\mu V$	$s/\mu V$	$(U_{LAB} - U_{BIPM})/\mu V$	$s/\mu V$	
IEN (Turin)	1996-03-19	-0,008	0,042			non
NML (Dublin)	1996-06-07	-0,16	0,5	0,19	2,5	

#### ÉTALONS DE RÉSISTANCE

Laboratoire	Date	1 $\Omega$		10 k $\Omega$		change- ment
		$(U_{LAB} - U_{BIPM})/\mu\Omega$	$s/\mu\Omega$	$(U_{LAB} - U_{BIPM})/c\Omega$	$s/c\Omega$	
NML/CSIR (Pretoria)	1996-01-02	-0,35	0,15			non
CEM (Madrid)	1996-06-02	-0,08	0,09	-0,02	0,02	non
NML (Dublin)	1996-06-02	-0,03	0,40	-0,25	0,80	

## 5.6 Étalonnages de routine

### 5.6.1 Équipement

Cette année, l'installation des étalons fondés sur des diodes de Zener a été déménagée dans un autre lieu situé au rez-de-chaussée de la salle 4. Par rapport au lieu précédent situé sur la mezzanine, l'équipement est soumis à moins de courants d'air et d'interférences électromagnétiques ; par ailleurs les étalons sont plus accessibles. La nouvelle installation est pourvue de commutateurs rotatifs de haute qualité pour connecter les étalons sur l'appareil de mesure. Une nou-

velle série de résistances de référence a été montée pour étalonner le diviseur destiné aux mesures de diodes de Zener de 10 V.

### 5.6.2 Étalonnages

Cette année, les étalonnages suivants ont été effectués : étalons fondés sur des diodes de Zener pour l'Afrique du Sud, la Belgique, le Brésil, l'Irlande, la République tchèque et des piles étalons pour l'ex-Yougoslavie ; des résistances de 1  $\Omega$  pour l'Afrique du Sud, la Belgique, le Brésil, l'Espagne, l'Irlande, Israël, le Portugal et l'ex-Yougoslavie ; des résistances de 10 k $\Omega$  pour la Belgique, le Brésil, l'Irlande, la Norvège et la Pologne.

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

### 5.7.1 Publications extérieures

1. REYMANN D., KIM K.-T., CHRISTIAN L.A., FRENKEL R.B., WITT T.J., Comparisons of the Josephson voltage standard of the BIPM with those of the KRISS, the MSL and the NML, *Metrologia*, 1996, **33**, 75-79.
2. REYMANN D., XUE S.Q., LIU R.M., LI H.H., GAO J., ZHOU Y.Q., WITT T.J., Comparison of the Josephson voltage standards of the NIM (China) and the BIPM, *Metrologia*, 1996, **33**, 475-478.
3. DELAHAYE F., WITT T.J., JECKELMANN B., JEANNERET B., Comparison of quantum Hall effect resistance standards of the OFMET and the BIPM, *Metrologia*, 1995/96, **32**, 385-388.

### 5.7.2 Conférences et exposés

T.J. Witt a donné une conférence intitulée « International comparisons of electrical standards by the BIPM » au NIM (Beijing, Rép. pop. de Chine), le 9 novembre 1995.

D. Reymann a présenté quelques applications pratiques des phénomènes quantiques en métrologie à l'École normale supérieure (Cachan, France), le 22 février 1996.

T.J. Witt a donné une conférence intitulée « BIPM comparisons of Josephson array voltage standards » au SP (Borås, Suède), le 25 avril 1996.

T.J. Witt, F. Delahaye, D. Reymann et J. Melcher ont participé à la CPEM'96 à Braunschweig (Allemagne), du 17 au 20 juin 1996, où ils ont présenté les communications suivantes :

- Low frequency spectral analysis of DC nanovoltmeters and voltage reference standards (T.J. Witt) exposé, voir aussi *CPEM Digest*, 1996, 330-331 ;
- Accurate comparisons of quantized Hall resistances at 1,6 kHz (F. Delahaye, J. Melcher et J. Boháček), voir aussi *CPEM Digest*, 1996, 150 ;

- Comparison of the Josephson Voltage Standards of the Sveriges Provnings och Forskningsinstitut and the Bureau International des Poids et Mesures (D. Reymann, T.J. Witt, G. Eklund, H. Pajander, H. Nilsson), poster, voir aussi *CPEM Digest (Supplement)*, 1996, 3-4.

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

T.J. Witt s'est rendu :

- à la PTB (Braunschweig, Allemagne), du 16 au 20 octobre 1995, avec F. Delahaye, pour une comparaison d'étalons à résistance de Hall quantifiée ;
- au NIM (Beijing, Rép. pop. de Chine), du 2 au 10 novembre 1995, avec D. Reymann, pour des comparaisons de réseaux de jonctions de Josephson ;
- au NMi-VSL (Delft, Pays-Bas), les 15 et 16 novembre 1995, pour participer à une réunion des correspondants d'EUROMET dans le domaine de l'électricité ;
- à l'IEN (Turin, Italie), le 20 novembre 1995 et le 14 mars 1996, pour participer aux réunions du Conseil scientifique de l'IEN et visiter le laboratoire d'électricité ; le 14 mars il y a emporté un étalon électronique de tension en vue d'une comparaison ;
- au SP (Borås, Suède), du 18 au 26 avril 1996, avec D. Reymann, pour des comparaisons de réseaux de jonctions de Josephson ;
- à Braunschweig (Allemagne), pour une réunion du sous-groupe du GT-RF sur les comparaisons internationales, le 17 juin, une réunion du comité exécutif de la CPEM, le 19 juin, et une réunion du Groupe de travail du CCE sur les comparaisons internationales, le 20 juin 1996, pendant la CPEM ;
- à la PTB (Braunschweig, Allemagne), le 21 juin 1996, avec F. Delahaye et J. Melcher, pour participer, dans le cadre d'EUROMET, à une réunion d'experts sur la monoélectronique et les étalons quantiques actuels ;
- au BEV (Vienne, Autriche), les 18 et 19 septembre 1996, pour participer à une réunion des correspondants d'EUROMET dans le domaine de l'électricité. Il y a présenté un bref rapport de l'état d'avancement du travail du Groupe de travail du CCE sur les comparaisons internationales.

F. Delahaye a participé à une réunion du groupe de travail de la CEI sur les concepts généraux en électrotechnique à Copenhague (Danemark), du 22 au 26 avril 1996.

## 5.8 Activités en liaison avec des organismes extérieurs

T.J. Witt est membre du Conseil scientifique de l'IEN. Il est aussi membre du Comité exécutif de la CPEM.

F. Delahaye est membre du groupe de travail de la CEI sur les concepts généraux en électrotechnique.

## 5.9 Visiteurs de la section d'électricité

### 5.9.1 Stagiaires

- M. V. Bürkel (PTB, Braunschweig, Allemagne) a travaillé au montage des éléments des ponts en courant alternatif et de l'équipement connexe de janvier 1996 à mars 1996.
- M. Haruo Yoshida (Advantest, Sendai, Japon) est venu le 24 juin 1996 ; il a apporté une modification importante au contrôleur d'asservissement de phase qu'il nous a donné en 1992.
- Mme A. H. Abd El Rahman (NIS, Le Caire, Égypte) a visité la section d'électricité, discuté de détails concernant les étalons de tension fondés sur des réseaux de jonctions de Josephson et les autres mesures de tension ; elle a pris connaissance des résultats préliminaires de nos mesures des effets de pression sur les étalons de tension fondés sur des diodes de Zener ; elle est restée du 8 juillet au 2 août 1996.

### 5.9.2 Visiteurs

- MM. F. Jelinek (CMI, Prague, Rép. tchèque) et P. Kneppo (SMU, Bratislava, Rép. slovaque), le 11 octobre 1995.
- MM. J.R. da Silva et E. Afonso (INMETRO, Rio de Janeiro, Brésil), le 27 novembre et du 8 au 12 décembre 1995.
- MM. R. Cerri et A. Sosso (IEN, Turin, Italie), les 25 et 26 mars 1996.
- Un groupe de professeurs et d'étudiants de l'École normale supérieure (Cachan, France), le 1<sup>er</sup> avril 1996.
- Mme I. Delgado (CEM, Madrid, Espagne), le 2 mai 1996.
- MM. L. X. Liu, S. W. Chua et T. Y. Sim (NMC-PSB, Singapour), le 27 juin 1996.
- M. Miguel Coterón de la Fuente (CEM, Madrid, Espagne), le 1<sup>er</sup> juillet 1996.
- M. Ciaran Grace (NML-Forbairt, Dublin, Irlande), le 22 juillet 1996.

## 6. Radiométrie, photométrie, thermométrie et manométrie (R. Köhler)

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

Suite aux décisions prises par le CCPR lors de sa session de 1994, le BIPM joue le rôle de laboratoire pilote pour deux comparaisons internationales en radiométrie et en photométrie. L'une porte sur les radiomètres cryogéniques, l'autre sur la sensibilité lumineuse des photomètres. Le BIPM prendra aussi part à la comparaison de flux lumineux et d'intensité lumineuse de lampes effectuée sous l'égide du CCPR.

Après les trois comparaisons dont il a été rendu compte dans le rapport de 1995, et pour la première fois, le radiomètre cryogénique du BIPM a été trans-

porté dans un autre laboratoire, la PTB (Allemagne). Les mesures qui y ont été faites ont permis de comparer le radiomètre cryogénique (Radiox, Oxford Instruments) du BIPM avec celui de la PTB (LR5, Cambridge Research Instruments) ; la comparaison s'est déroulée sur quatre semaines. On a travaillé avec un faisceau de lumière provenant d'un laser à la longueur d'onde de 632,8 nm et à un niveau constant de puissance d'environ 730  $\mu$ W. Si l'on désigne par  $p_{\text{Radiox}}$  et  $p_{\text{LR5}}$  les puissances optiques mesurées par les deux appareils, le résultat de la comparaison est exprimé par la différence relative :

$$r (\text{Radiox, LR5}) = (p_{\text{Radiox}} - p_{\text{LR5}})/p_{\text{Radiox}},$$

et donné par :

$$r (\text{Radiox, LR5}) = 2,3 \times 10^{-4},$$

avec une incertitude-type composée  $u_c(r) = 0,6 \times 10^{-4}$ .

Quatorze pièges du type « tunnel » ont été construits au BIPM. Ces dispositifs, conçus au NIST, transmettent la lumière résiduelle non absorbée, au contraire des pièges, dits « à réflexion », utilisés jusqu'ici au BIPM. Ces nouveaux récepteurs à piège vont être utilisés en même temps que les pièges du modèle précédent comme instruments de transfert pour une comparaison de radiomètres cryogéniques. Quatorze laboratoires, répartis en trois groupes, prendront part à cette comparaison. Chaque laboratoire recevra deux pièges de type tunnel et un piège à réflexion. Chaque récepteur a été étudié et étalonné à chacune des six longueurs d'onde de lasers sélectionnées en vue de cette comparaison : 476,2 nm (Kr), 488,0 nm (Ar), 514,5 nm (Ar), 568,2 nm (Kr), 632,8 nm (He-Ne), 647,1 nm (Kr). Il est demandé aux laboratoires participants d'étalonner les récepteurs à au moins trois longueurs d'onde choisies dans cette liste. On a étudié ces pièges au BIPM pour vérifier leur sensibilité à la direction de polarisation, l'uniformité de leur sensibilité et leur coefficient de température.

En photométrie, la préparation de la comparaison internationale de la sensibilité lumineuse des photomètres est bien avancée. Trois photomètres provenant de différents fabricants ont été achetés et étudiés. On a mesuré leur sensibilité spectrale et on l'a comparée à la courbe  $V(\lambda)$  en calculant la valeur du coefficient habituel  $f'_1$  et le facteur de correction pour la couleur. Ces photomètres serviront de référence commune pour la comparaison des échelles nationales représentées par les photomètres envoyés au BIPM. Leur stabilité sera vérifiée par comparaison à l'intérieur du groupe lui-même et par comparaison régulière avec un groupe de lampes.

Nous avons entrepris au BIPM une réalisation de la candela par une méthode de radiométrie fondée sur notre radiomètre cryogénique.

Des lampes destinées aux étalonnages d'intensité lumineuse et de flux lumineux ont été achetées et vieilles ; elles participeront à la comparaison internationale de lampes, organisée par la PTB.

Les lampes qui conservent l'échelle de température de couleur du BIPM ont été comparées au NPL (Royaume-Uni) à l'échelle de ce laboratoire. La comparaison a été effectuée aux températures de couleur suivantes : 2042 K, 2200 K,

2353 K, 2600 K, 2800 K et 2853 K. Les deux échelles concordent dans les limites des incertitudes-types, soit environ 10 K, à ces températures de couleurs.

## **6.2 Thermométrie et manométrie (R. Köhler, R. Pello)**

La comparaison internationale de la température de cellules à point triple de l'eau, commencée en 1994, est achevée. Elle a concerné douze laboratoires nationaux ; les écarts mesurés sont compatibles avec les incertitudes-types composées. Les résultats de cette comparaison font l'objet d'un rapport BIPM qui a été aussi soumis comme document de travail à la 19<sup>e</sup> session du CCT au mois de septembre 1996.

En fait, les températures auxquelles est réalisé le point triple de l'eau dans les différents laboratoires participants concordent généralement à 0,1 mK près, mais on a observé quelques différences plus grandes et la température d'une cellule a présenté des variations significatives au cours de la comparaison. Ces résultats montrent que les incertitudes sur la réalisation du point triple de l'eau ont un rôle significatif dans l'établissement d'une échelle de température et pourraient bien être la cause des désaccords que l'on observe entre différentes échelles nationales de température.

## **6.3 Travaux d'étalonnage**

Cinq lampes d'intensité lumineuse et cinq lampes de flux lumineux ont été étalonnées pour le GUM (Pologne). Trois lampes d'intensité lumineuse, treize lampes de flux lumineux et sept lampes de température de répartition ont été étalonnées pour l'EZU (Rép. tchèque). Trois lampes d'intensité lumineuse et trois lampes de flux lumineux ont été étalonnées pour le SP (Suède). La sensibilité spectrale de deux photodiodes a été étalonnée pour le PSB (Singapour). Deux thermomètres à résistance de platine ont été étalonnés pour l'INM (Roumanie). Au cours de l'année des jauges de pression ont été étalonnées pour les sections d'électricité, des masses et des rayonnements ionisants.

## **6.4 Divers (R. Köhler, R. Goebel, A. Zarka)**

L'extension du réseau interne d'ordinateurs au BIPM permet à un nombre plus grand de personnes d'avoir accès au courrier électronique et aux autres services d'Internet. Un serveur a été installé en vue d'une future page d'accueil au BIPM sur le réseau mondial ; il a été prévu un système de protection, communément appelé « parefeu », qui interdit un accès externe non autorisé aux installations de calcul du BIPM.

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

### 6.5.1 Publications extérieures

1. BUTLER D.J., KÖHLER R., FORBES G.W., Diffraction effects in the radiometry of coherent beams, *Appl. Opt.*, 1996, **35**, 2162-2166.
2. KÖHLER R., GOEBEL R., PELLO R., Results of the international comparison of spectral responsivity of silicon photodetectors, NEWRAD 1994, *Metrologia*, 1996, **32**, 463-468.
3. GOEBEL R., KÖHLER R., PELLO R., Some effects of low-power ultraviolet radiation on silicon photodiodes, NEWRAD 1994, *Metrologia*, 1996, **32**, 515-518.
4. KÖHLER R., GOEBEL R., PELLO R., TOUAYAR O., BASTIE J., First results of measurements with the BIPM cryogenic radiometer and comparison with the INM cryogenic radiometer, NEWRAD 1994, *Metrologia*, 1996, **32**, 551-555.
5. GOEBEL R., YILMAZ S., KÖHLER R., The stability under vacuum of silicon trap detectors and their use as transfer instruments in cryogenic radiometry, *Appl. Opt.*, 1996, **35**, 4404-4407.
6. GOEBEL R., PELLO R., KÖHLER R., HAYCOCKS P., FOX N., Comparison of the BIPM cryogenic radiometer with a mechanically cooled cryogenic radiometer from the NPL, *Metrologia*, 1996, **33**, 177-179.
7. GOEBEL R., YILMAZ S., PELLO R., Polarization dependence of trap detectors, *Metrologia*, 1996, **33**, 207-213.
8. KÖHLER R., GOEBEL R., STOCK M., PELLO R., An International Comparison of Cryogenic Radiometers, In *Optical Radiation Measurements III (SPIE Proc. 2815)*, 1996, 22-30.
9. QUINN T.J., MARTIN J.E., Total radiation measurements of thermodynamic temperature, *Metrologia*, 1996, **33**, 375-381.

### 6.5.2 Rapport BIPM

10. R. PELLO, R. GOEBEL, R. KÖHLER, Report on the international comparison of water triple-point cells, *Rapport BIPM-96/8*, 1996, 46 p.

### 6.5.3 Conférences et exposés

R. Köhler a fait un exposé intitulé « Optical radiometry at the BIPM » au NPLI (New Delhi, Inde), le 31 octobre 1995.

R. Köhler a fait un exposé intitulé « Improving the accuracy of photometric base scales – how can we bring the accuracy of cryogenic radiometers into photometric standards ? » lors d'un atelier sur « New technologies for optical radiation measurements » pendant la réunion de la CIE à New Delhi (Inde), le 2 novembre 1995.

R. Pello a fait un exposé intitulé « Le BIPM et la Convention du Mètre » au cours d'une réunion du Rotary Club de Chaville (France), le 27 mars 1996.

R. Köhler a fait un exposé intitulé « An international comparison of cryogenic radiometers » lors de la réunion annuelle de la SPIE à Denver (É.-U. d'Amérique), du 5 au 9 août 1996.

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

R. Köhler s'est rendu à :

- New Delhi (Inde), les 30 et 31 octobre 1995, pour des discussions et une visite des laboratoires du NPLI, et du 1<sup>er</sup> au 8 novembre 1995, pour assister à une réunion de la CIE ;
- Lisbonne (Portugal), les 4 et 5 mars 1996, pour assister en tant qu'observateur à une réunion sur la thermométrie dans le cadre d'EUROMET ;
- Turin (Italie), les 11 et 12 mars 1996, pour assister en tant qu'observateur à une réunion sur la radiométrie dans le cadre d'EUROMET ;
- Teddington (Royaume-Uni), les 25 et 26 mars 1996, pour une réunion conjointe d'un groupe de travail CCT/CCPR ;
- Paris (France), du 29 avril au 3 mai 1996, pour étalonner des lampes à ruban de tungstène au BNM-INM ;
- Denver (É.-U. d'Amérique), du 5 au 9 août 1996, avec R. Goebel, pour la réunion annuelle du SPIE ;
- Ottawa (Canada), les 12 et 13 août 1996, pour visiter le NRC ;
- Vienne (Autriche), les 30 et 31 août 1996, pour la réunion de la Division 2 de la CIE et pour participer à des discussions de certains comités techniques.

R. Goebel s'est rendu :

- à la PTB (Braunschweig, Allemagne), du 6 au 29 novembre 1995, pour une comparaison de radiomètres cryogéniques ;
- au NPL (Royaume-Uni), les 15 et 16 janvier 1996, pour remettre des lampes photométriques et visiter les sections de photométrie et de radiométrie ;
- à Gaithersburg (É.-U. d'Amérique), les 12 et 13 août 1996, pour visiter le NIST.

R. Pello s'est rendu :

- à la PTB (Braunschweig, Allemagne), du 6 au 11 novembre et les 28 et 29 novembre 1995, pour une comparaison de radiomètres cryogéniques ;
- au NPL (Teddington, Royaume-Uni), le 11 juin 1996, pour livrer des échantillons de noir destinés à l'étalonnage de réflectivité et pour discuter des comparaisons de manométrie ;
- à Leicester (Royaume-Uni), le 12 juin 1996, pour y apporter un télescope d'alignement Rank Taylor qui devait être réparé.

## 6.6 Activités en liaison avec des organismes extérieurs

R. Köhler est membre du comité technique 2.29 « Measurements of detector linearity » de la CIE. Il a aussi participé au comité technique 2.37 « Guide to photometry using detectors as transfer standards » et a été invité à participer au groupe de travail chargé de préparer une nouvelle édition du vocabulaire de l'éclairage de la CIE.

## 6.7 Visiteurs de la section de radiométrie, photométrie, thermométrie et manométrie

### 6.7.1 Stagiaires

- M. Cheong (SISIR, Singapour), est venu au BIPM, du 16 au 27 octobre 1995, pour travailler dans la section de thermométrie.
- M. P. Zabarel (Université Paris VII, Paris, France), est venu au BIPM, de mars à septembre 1996, pour étudier les propriétés des photomètres et procéder à l'installation des équipements de mesure nécessaires pour comparer les photomètres pendant la comparaison internationale.
- M. M. Stock (PTB, Berlin, Allemagne), est venu au BIPM, de mars à septembre 1996, pour travailler sur le radiomètre cryogénique et étudier les propriétés des récepteurs à piège.
- M. P. Martin (University of British Columbia, Vancouver, Canada), est au BIPM depuis le mois de juillet 1996 pour travailler dans le domaine de la photométrie sur une réalisation de la candela par radiométrie. Il y restera jusqu'au mois de juin 1997.

### 6.7.2 Visiteurs

- M. M. Nogueira Frota (INMETRO, Rio de Janeiro, Brésil), le 19 octobre 1995.
- M. V. Tan (SISIR, Singapour), le 19 octobre 1995.
- M. J. Nicholas (MSL, Nouvelle-Zélande), le 19 octobre 1995.
- M. A.I. Pokhodoun et Mme A.G. Ivanova (VNIIM, Saint-Petersbourg, Féd. de Russie), les 17 et 27 octobre 1995.
- M. I. Olivier (CSIR, Pretoria, Afrique du Sud), le 14 novembre 1995.
- Mme S. Tanase-Gaita (INM, Roumanie), du 4 au 6 décembre 1995.
- Mme C. Niculescu (INM, Roumanie), du 18 au 21 décembre 1995.

## 7. Rayonnements ionisants (J.W. Müller\* et M. Boutillon)

Le travail de la section des rayonnements ionisants a concerné principalement les comparaisons internationales et l'étalonnage périodique des étalons

---

\* Chef de section jusqu'au 30 avril 1996

secondaires pour les pays qui ne possèdent pas d'étalon primaire. De plus, plusieurs études expérimentales ont été entreprises pour améliorer l'exactitude de la réalisation de grandeurs physiques, telles que le kerma dans l'air dans le domaine des rayons x de faible énergie et l'activité des sources.

## 7.1 Dosimétrie (rayons x et $\gamma$ , neutrons) (M. Boutillon et G. Ratel)

### 7.1.1 Rayons x et $\gamma$ (M. Boutillon, P. Allisy-Roberts et D.T. Burns)

#### i) *Facteur de correction pour la perte des électrons dans les chambres à paroi d'air*

Le principe d'une chambre à paroi d'air exige que les électrons libèrent toute leur énergie dans l'air. Cependant, pour de nombreux étalons utilisés à la limite supérieure du domaine pour lequel ils ont été conçus, les électrons les plus énergiques peuvent atteindre les parois de la chambre ce qui conduit à un déficit de la charge collectée. On tient compte de cet effet en appliquant une correction qui est de l'ordre de 1 % à 250 kV pour l'étalon du BIPM. Pour la plupart des laboratoires, les valeurs utilisées actuellement pour cette correction sont dérivées de mesures faites autour des années 1960, mais des expériences récentes semblent indiquer que ces valeurs sont sous-estimées.

Une autre approche consiste à simuler la géométrie de la chambre et la pénétration du rayonnement, à l'aide du programme de calcul de Monte Carlo EGS4 qui a été largement utilisé pour des problèmes de dosimétrie des radiations. Les premiers essais réalisés avec un ordinateur personnel à processeur Pentium montrent qu'une précision de 0,1 % peut être obtenue. Une étude des erreurs possibles propres au calcul est en cours et sera suivie de la détermination de la correction pour une série d'énergies comprises entre 20 keV et 300 keV.

#### ii) *Qualités de référence dans le domaine des rayons x*

Comme il a été recommandé par la Section I du CCEMRI, une qualité ISO fortement filtrée (40 kV, couche de demi-atténuation = 2,71 mm Al) a été ajoutée à l'ensemble des qualités de référence utilisées pour les comparaisons d'étalons de kerma dans l'air et pour les étalonnages dans ce domaine d'énergie. Cependant le débit de kerma dans l'air obtenu avec cette nouvelle qualité est très faible ( $0,02 \text{ mGy s}^{-1}$ ) et l'incertitude statistique des mesures est quatre fois celle obtenue avec les autres qualités de référence.

#### iii) *Recombinaison des ions dans les chambres à paroi d'air et à cavité*

Dans le but de réduire une des causes d'incertitude dans l'étalonnage des chambres de transfert, une étude expérimentale sur la recombinaison des ions dans des chambres d'ionisation de divers types est en cours. Les résultats seront comparés à ceux que l'on déduit de la théorie de Boag, ceci afin d'obtenir une valeur expérimentale du quotient  $\alpha / (k_+ k_-)$ , où  $\alpha$  est le coefficient de recombinaison, et  $k_+$  et  $k_-$  sont les mobilités des ions positifs et négatifs.

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

La variation observée du débit de kerma dans l'air en fonction de la géométrie du système a été étudiée. On a trouvé que celui-ci variait de manière significative avec le diamètre du faisceau et que sa variation avec la distance à la source s'écartait notablement de la loi de l'inverse carré. Ceci est dû à une collimation imparfaite du faisceau. Afin de vérifier que ces variations n'ont pas d'effet significatif sur l'étalonnage en kerma dans l'air dans le faisceau du BIPM, plusieurs chambres de transfert de types différents ont été étalonnées dans le plan de référence (à 1 m de la source) avec des faisceaux de diamètre 11 cm et 20 cm. Le facteur d'étalonnage de toutes ces chambres varie de moins de 0,05 %.

Il a été noté l'an dernier que le débit de kerma dans l'air décroît légèrement plus vite que ce qu'on peut en attendre d'après la valeur de la période du  $^{137}\text{Cs}$ . Pour vérifier que cela n'a pas d'incidence sur les étalonnages, une chambre de transfert de type Shonka a été étalonnée périodiquement pendant les deux dernières années : aucune évolution de sa réponse n'a été détectée.

v) *Comparaisons et étalonnages au BIPM*

Deux comparaisons d'étalons de kerma dans l'air ont été effectuées dans le faisceau du  $^{137}\text{Cs}$ , avec le BEV (Autriche) et le BNM-LPRI (France). Les résultats préliminaires de comparaison avec le NIST (É.-U. d'Amérique) indiqués précédemment ont été complétés. Les résultats sont donnés dans le Tableau 7.1.

Trois comparaisons d'étalons de kerma dans l'air ont été effectuées dans le rayonnement du  $^{60}\text{Co}$  avec le BEV, le LNMRI (Brésil) et le NIST. Les résultats sont donnés également dans le Tableau 7.1. Le résultat de cette comparaison avec le NIST est en accord avec celui obtenu en 1971 (0,9974,  $\sigma = 0,0055$ ), compte tenu des incertitudes.

TABLEAU 7.1  
*Comparaison d'étalons de kerma dans l'air*

Laboratoire	$^{137}\text{Cs}$		$^{60}\text{Co}$	
	$K_{\text{LAB}}/K_{\text{BIPM}}$	$\sigma_{(K_{\text{LAB}}/K_{\text{BIPM}})}$	$K_{\text{LAB}}/K_{\text{BIPM}}$	$\sigma_{(K_{\text{LAB}}/K_{\text{BIPM}})}$
BEV	0,9945	0,0028	1,0029	0,0025
LNMRI	—	—	1,0004	0,0023
BNM-LPRI	1,0019	0,0031	—	—
NIST	1,0017	0,0042	0,9982	0,0050

Des comparaisons d'étalons de kerma dans l'air dans le rayonnement du  $^{137}\text{Cs}$  ont été faites jusqu'à présent entre le BIPM et quatre laboratoires nationaux, le BEV, le BNM-LPRI, le NIST et l'OMH (Hongrie). Les résultats de ces comparaisons, entre étalons de tailles et formes différentes, présentent un accord global de 0,8 %, ce qui est considéré comme suffisant pour les applications en

radioprotection. Ces résultats, comparés à ceux obtenus précédemment dans le faisceau du  $^{60}\text{Co}$  en utilisant ces mêmes étalons (BEV, BNM-LPRI, OMH), permettent de supposer que la correction de paroi pour chaque chambre est moins fiable que prévu.

Plusieurs chambres d'ionisation utilisées comme étalons secondaires de kerma dans l'air ou de dose absorbée dans l'eau ont été étalonnées aux rayons x et  $\gamma$  pour le BNM-LPRI, le LNMRI, le NSIS (Norvège), l'OFMET (Suisse) et le SRPI (Suède).

La collaboration active avec l'AIEA se poursuit en soutien à son programme SSDL. Des dosimètres thermoluminescents ont été irradiés dans le fantôme d'eau du BIPM (2 Gy de dose absorbée) à six reprises. Les résultats restent à l'intérieur de l'incertitude de 1 % estimée par l'AIEA.

Conformément à la recommandation du CCEMRI, la section a commencé à étudier un système de transfert pour la mesure de dose absorbée dans les faisceaux de photons de haute énergie.

### 7.1.2 Mesures neutroniques (G. Ratel)

La comparaison internationale de mesures de fluence neutronique à 24,5 keV, pour laquelle trois sphères de Bonner sont utilisées comme instruments de transfert, continue. Six laboratoires (CIAE, ETL, NIST, NPL, PTB et VNIIM) participent à cette comparaison qui devrait être terminée avant la fin de l'année 1997. Les instruments de mesure du BIPM ont été transférés dans un autre local pendant l'année et des contrôles réguliers montrent que les résultats des mesures ont changé de moins de 0,1 %.

## 7.2 Radionucléides (J.W. Müller et G. Ratel)

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

#### i) *Comparaison préliminaire de mesures d'activité de $^{204}\text{Tl}$*

Les résultats initiaux de la comparaison préliminaire de mesures d'activité de  $^{204}\text{Tl}$  qui a eu lieu entre six laboratoires (BNM-LPRI, CIEMAT, NAC, NIST, PTB et BIPM) ont montré, l'année dernière, une dispersion de 1,91 Bq/mg (soit 3,4 % en valeur relative). Le résultat de la CIEMAT était plus bas que la valeur moyenne pondérée d'environ 2,5 %. La solution ayant été incriminée, une nouvelle ampoule tirée du reliquat de la série préparée pour la comparaison préliminaire a été envoyée à la CIEMAT. À la suite de mesures effectuées à l'aide de la méthode CIEMAT/NIST, un nouveau résultat a été obtenu ; ce dernier se trouve être en excellent accord avec ceux obtenus par les autres laboratoires.

Les résultats finaux de la comparaison préliminaire analysés par quatre méthodes différentes sont indiqués dans le Tableau 7.2. La dispersion totale des valeurs des activités spécifiques,  $a$ , est maintenant de 0,88 Bq/mg (1,58 % en valeur relative) et les moyennes pondérées et non pondérées ainsi que la média-

ne montrent un accord meilleur que 0,3 %. Ceci illustre le soin qui doit être apporté à la préparation des échantillons qui sont utilisés en scintillation liquide. Afin d'améliorer l'homogénéité des échantillons il sera fait usage d'un secoueur avant chaque mesure effectuée au BIPM ; l'étude de l'efficacité de cette procédure a commencé. La comparaison internationale de mesures d'activité d'une solution de  $^{204}\text{Tl}$  est prévue pour la deuxième moitié de 1996.

TABLEAU 7.2  
*Résultats finaux de la comparaison préliminaire de  $^{204}\text{Tl}$  ;  
 moyenne non pondérée, pondérée ainsi que médiane  
 des mesures d'activité spécifique, avec leurs incertitudes*

	$a$ / (Bq/mg)	$\sigma$ / (Bq/mg)
Valeur moyenne des 9 résultats	55,47	0,10
Valeur moyenne pour la méthode CIEMAT/NIST (5 résultats)	55,57	0,14
Valeur moyenne pondérée des 9 résultats	55,57	0,10
Valeur moyenne pondérée pour la méthode CIEMAT/NIST (5 résultats)	55,65	0,12
Médiane des 9 résultats	55,53	0,11
Médiane pour la méthode CIEMAT/NIST (5 résultats)	55,56	0,13

ii) *Comparaison préliminaire de  $^{192}\text{Ir}$*

Dix laboratoires (BNM-LPRI, BIPM, ETL, IIR, IRA, IMMR, KRIS, NPL, OMH et VNIIM) ont participé à la comparaison préliminaire de mesures d'activité d'une solution de  $^{192}\text{Ir}$ , lancée par la Section II du CCEMRI l'année dernière. La solution, sous la forme d'hexachlorure d'iridate de sodium dans de l'acide chlorydrique 0,2 M, a été préparée, embouteillée et distribuée par l'IMMR. Les résultats de la comparaison sont en cours d'analyse.

iii) *Mesure d'une solution de  $^{192}\text{Ir}$  au BIPM*

La solution de  $^{192}\text{Ir}$  contenant une concentration élevée d'entraîneur fournie par l'IMMR a été utilisée pour préparer un jeu de sources solides de masses comprises entre 5 mg et 30 mg. L'activité de ces sources a été mesurée dans un compteur proportionnel à circulation de gaz. La méthode des coïncidences ainsi que celle de l'échantillonnage sélectif ont été utilisées simultanément. Dans chaque cas une extrapolation pour obtenir l'efficacité à 100 % a été faite en effectuant des mesures après avoir recouvert les sources de couches successives d'aluminium en feuille. L'activité spécifique a été déterminée en utilisant deux fenêtres sur le spectre gamma : premièrement, en détectant tous les événements survenant au-dessus d'un seuil placé à 250 keV de manière à éliminer les rayons gamma qui suivent la capture électronique ; deuxièmement, en faisant usage

d'une fenêtre large d'environ 100 keV et centrée sur la raie à 316 keV produite par le rayonnement gamma qui possède la plus forte probabilité d'émission.

La méthode des coïncidences ainsi que celle de l'échantillonnage sélectif ont donné des résultats similaires ; l'accord entre ces différents résultats est meilleur que 0,2 % et ne dépend pas de la méthode utilisée pour effectuer la sélection des rayons gamma. Les résultats obtenus dans le cas du seuil sont toujours plus élevés de 0,8 % que ceux obtenus en utilisant la fenêtre. Cette divergence systématique est en cours d'étude.

Le résultat final pour l'activité spécifique est 1085 Bq/mg avec  $\sigma = 4$  Bq/mg ce qui montre que la concentration en entraîneur, quoique grande, reste convenable.

#### iv) Comparaison EUROMET de $^{63}\text{Ni}$ et $^{55}\text{Fe}$

La seconde partie de la comparaison de mesures d'activité des solutions de  $^{63}\text{Ni}$  et de  $^{55}\text{Fe}$  a été organisée par le BNM-LPRI dans le cadre du projet EUROMET 297 au début de l'année 1996. Des solutions de  $^{63}\text{Ni}$ , sous la forme de 3,6 mg/l de  $\text{Ni}^{2+}$  dans de l'acide chlorhydrique 1 M, et de  $^{55}\text{Fe}$ , sous la forme de 2,8 mg/l de  $\text{Fe}^{3+}$  dans de l'acide chlorhydrique 1 M, ont été envoyées au BIPM. Pour chacun de ces radionucléides deux jeux de dix ampoules ont été préparés, l'un avec le scintillateur Ultima Gold de Packard, l'autre avec le scintillateur Ready Safe de Beckman. Deux jeux supplémentaires de dix ampoules remplies d'eau tritiée, affaiblies à l'aide d'une quantité croissante de nitrométhane jusqu'à 90  $\mu\text{l}$ , ont été préparés à partir des mêmes scintillateurs. Tous les jeux ont été mesurés pendant 200 heures pour contrôler la stabilité des solutions. Les échantillons préparés avec de l'Ultima Gold ont donné des résultats stables alors que ceux préparés avec du Ready Safe décroissent régulièrement. Ceci souligne la nécessité de vérifier, avant toute mesure, le scintillateur qui va être utilisé.

Lorsque la méthode CIEMAT/NIST est utilisée avec les valeurs recommandées pour les données nucléaires, des efficacités de 50 % pour  $^3\text{H}$ , 78 % pour  $^{63}\text{Ni}$  et 52 % pour  $^{55}\text{Fe}$  ont été mesurées. Le résultat final des mesures d'activité au BIPM est 39,9 Bq/mg avec  $\sigma = 0,1$  Bq/mg pour  $^{63}\text{Ni}$  et 47,4 Bq/mg avec  $\sigma = 0,3$  Bq/mg pour  $^{55}\text{Fe}$ .

#### v) Système international de référence pour la mesure d'activité d'émetteurs de rayons gamma (SIR)

Pendant cette année, neuf laboratoires nationaux (BNM-LPRI, ETL, IRA, IMMR, KRISS, LNMRI, OMH, PTB et RC) ont envoyé 13 ampoules au BIPM pour étalonnage par l'intermédiaire du SIR. Douze radionucléides ont été mesurés à savoir :  $^{56}\text{Co}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{59}\text{Fe}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{67}\text{Ga}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{124}\text{Sb}$ ,  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{192}\text{Ir}$ . Jusqu'en juin 1996, 490 résultats indépendants ont été enregistrés dans les tableaux du SIR pour 55 émetteurs de rayons gamma différents provenant de 25 laboratoires.

La comparaison d'émetteurs de rayonnement  $\beta$  pur a dû être reportée de manière à libérer le compteur à scintillation liquide pour pouvoir mesurer les solutions de  $^{55}\text{Fe}$ , de  $^{63}\text{Ni}$  et de  $^{204}\text{Tl}$ .

vi) *Compteur proportionnel à gaz sous pression du BIPM (I. Catayée\*)*

Le compteur proportionnel à gaz sous pression est utilisé pour mesurer des radionucléides présentant un état métastable de longue durée de vie, tel que  $^{109}\text{Cd}$ . Ce compteur peut mesurer des sources avec différentes efficacités de détection en faisant simplement varier la pression du gaz qu'il contient. Pourtant, certaines difficultés existent qui sont associées à la régulation de la pression, à la perte de gaz consécutive à une fuite ainsi qu'aux variations de température. Des mesures sont en cours afin de préciser la sensibilité du régulateur de pression, de déterminer la relation existant entre la pression et la tension appliquée, et d'obtenir la meilleure résolution qui puisse être atteinte. Afin d'augmenter la résolution du système la température du gaz contenu dans le volume de référence est en cours de stabilisation.

### 7.2.2 Détection des impuretés de sources (C. Michotte)

Le BIPM possède un détecteur gamma  $\text{Ge}(\text{Li})$  de volume moyen ( $60 \text{ cm}^3$ ). Son adaptation pour identifier et quantifier tout contaminant présent dans les ampoules utilisées lors des comparaisons a commencé. Ce détecteur sera étalonné en efficacité de détection entre 50 keV et 3 MeV, à l'aide des ampoules du SIR. Son niveau de bruit de fond est réduit à deux événements par seconde grâce à un blindage. D'autre part, un absorbeur en plexiglas de 8,4 mm d'épaisseur, placé entre les ampoules et le détecteur, empêche les particules  $\beta$  émises de perturber le spectre gamma.

La chaîne électronique est composée d'un préamplificateur, d'un amplificateur approprié pour la spectroscopie et d'un convertisseur analogique-numérique connecté à un ordinateur personnel utilisé comme analyseur multicanal. La linéarité intégrale et la stabilité de la chaîne sont satisfaisants. La résolution (largeur totale à mi-hauteur), mesurée à 1,33 MeV avec une constante de temps de mise en forme des impulsions de  $2 \mu\text{s}$  et un taux de comptage de 3 kHz, vaut 2,3 keV. Afin de vérifier la validité du temps actif donné par l'analyseur multicanal, le convertisseur a aussi été utilisé en mode coïncidence, le signal porte étant créé avec un temps mort connu. Les activités obtenues avec et sans porte sont compatibles à 0,5 % près, à condition que la fraction du spectre située en dessous du seuil du convertisseur soit négligeable.

L'influence des coïncidences fortuites sur la surface d'un pic gamma est cruciale et sera mesurée en fonction du taux de comptage dans le détecteur. Par ailleurs, la notion de surface d'un pic doit être définie, en considérant les éven-

---

\* Stagiaire pour une période de six mois.

tuelles différences de forme des pics ou du bruit de fond. L'évaluation des diverses corrections à appliquer aux données est en cours.

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

Parmi les rapports récents dans le domaine des statistiques de comptage, l'un est intitulé « An elementary determination of prime numbers ». Bien qu'il n'existe pas de formule générale de récurrence connue pour les nombres premiers, un résultat semblable peut en fait être obtenu. L'idée de base est la suivante.

Étant donné qu'un nombre premier est un entier qui n'est pas divisible (excepté par 1 et par lui-même), vérifier directement la primarité de  $N$  revient à le diviser successivement par tous les nombres premiers  $p_i \leq \sqrt{N}$ , que l'on suppose connus. Ce procédé est fastidieux. Une méthode équivalente mais plus élégante utilise des congruences de type

$$N = r_i \pmod{p_i}, \text{ avec } 0 \leq r_i \leq p_i - 1,$$

où l'absence de divisibilité correspond à la condition

$$r_i \neq 0, \text{ pour tout } p_i.$$

Comme les résidus sont additifs, les nombres premiers peuvent aussi être situés au-delà de  $N$ . Ainsi le nombre

$$P = N + d$$

est premier seulement si

$$r_i + d \neq 0 \pmod{p_i}, \text{ pour tout } p_i.$$

En utilisant les « résidus négatifs » (ou « nesses »)

$$v_i = p_i - r_i,$$

la condition pour que  $P$  soit premier est

$$v_i \neq d, \text{ pour tout } p_i.$$

Ainsi, les nombres premiers cherchés sont déterminés par les valeurs de  $d$  qui *n'apparaissent pas* dans la liste des valeurs nesses de  $N$ . Tandis que la plus petite valeur de  $d$  donne le premier nombre premier après  $N$ , les valeurs plus grandes  $d'$  correspondent aux nombres premiers suivants :  $P' = N + d'$ . En conséquence, une fois que l'ensemble des résidus  $r_i$  (ou nesses  $v_i$ ) est connu, tous les nombres premiers au-delà de  $N$  peuvent être trouvés par une simple inspection de l'ensemble des valeurs nesses  $v_i + kp_j$ , avec  $k = 0, 1, 2, \dots$ , ce qui demande uniquement des additions, et aucune division.

Il n'est pas difficile de traiter cette méthode par un programme sur ordinateur qui donnera alors tous les nombres premiers dans un intervalle  $(N ; N + D)$  donné. La condition principale requise est la capacité de l'ordinateur à pouvoir stocker les nombres premiers jusqu'à  $(N + D)^{1/2}$ .

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

#### 7.3.1 Publications extérieures

1. ALLISY-ROBERTS P.J., The influence of ICRP on European legislation concerning medical radiation exposure, *International Congress on Radiation Protection* (Seibersdorf, Austria, IRPA), 1996, **1**, 207-209.
2. BOUTILLON M., Behaviour of transfer chambers in the low-energy x-ray range, *Metrologia*, 1996, **33**, 479-484.
3. BURNS D.T., DING G.X., ROGERS D.W.O.,  $R_{50}$  as a beam quality specifier for selecting stopping-power ratios and reference depths for electron dosimetry, *Med. Phys.*, 1996, **23**, 383-388.
4. BURNS D.T., DUANE S., McEWEN M.R., A new method to determine ratios of electron stopping powers to an improved accuracy, *Phys. Med. Biol.*, 1995, **40**, 733-739.
5. BURNS D.T., DUANE S., McEWEN M.R., Reply to comments on 'A new method to determine ratios of electron stopping powers to an improved accuracy', *Phys. Med. Biol.*, 1996, **41**, 787-788.
6. FARR R.F., ROBERTS P.J., *Physics for Medical Imaging*, London, Saunders, 1996, 276 p.
7. MICHOTTE C. *et al.*, New limits for the  $^{19}\text{Ne}$  (p, $\gamma$ )  $^{20}\text{Na}$  astrophysical reaction rate from direct measurements using radioactive beams, *Phys. Lett. B.*, 1996, **381**, 402-406.
8. MÜLLER J.W., Uncertainty of the calibration factor, Chapter 10 of *IAEA TRS 374* (Calibration of dosimeters used in radiotherapy) ; voir aussi *SSDL Newsletter* (IAEA, Vienna), 1995, n° 33, 15-23.
9. MÜLLER J.W., Some aspects of metrological counting, In *Advances in metrology and its role in quality improvement and global trade* (ed. by B.S. Mathur, V.N. Ojha and P.C. Kothari), Narosa, New Delhi, 1996, 307-316.
10. RATEL G., Le système international de référence : origine et utilité, Proceedings of the 7th International Metrology Congress, Nîmes, *Métrologie* 95, 1995, 385-387.
11. SHARPE P.H.G., BURNS D.T., The relative response of Fricke, dichromate and alanine dosimeters to cobalt-60 and high energy electron beam radiation, *Radiat. Phys. Chem.*, 1995, **46**, 1273-1277.

#### 7.3.2 Rapports BIPM

12. ALLISY-ROBERTS P.J., BOUTILLON M., DELAUNAY F., LEROY E., OSTROWSKY A., Comparison of the standards of air kerma of the BNM-LPRI and the BIPM for  $^{137}\text{Cs}$   $\gamma$  rays, *Rapport BIPM-96/6*, 1996, 8 p.

13. ALLISY-ROBERTS P.J., BOUTILLON M., LAMPERTI P., Comparison of the standards of air kerma of the NIST and the BIPM for  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  rays, *Rapport BIPM-96/9*, 1996, 8 p.
14. ALLISY-ROBERTS P.J., BOUTILLON M., RODRIGUES L.N., Comparison of the standards of air kerma of the LNMRI and the BIPM for  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  rays, *Rapport BIPM-96/3*, 1996, 8 p.
15. ALLISY-ROBERTS P.J., BOUTILLON M., WITZANI J., Comparison of the standards of air kerma of the BEV and the BIPM for  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  rays, *Rapport BIPM-95/5*, 1995, 9 p.
16. BOUTILLON M., Measuring conditions used for the calibration of ionization chambers at the BIPM, *Rapport BIPM-96/1*, 1996, 19 p.
17. BOUTILLON M., ALLISY-ROBERTS P.J., Measurement of air kerma and ambient dose equivalent in a  $^{137}\text{Cs}$  beam, *Rapport BIPM-96/7*, 1996, 12 p.
18. BOUTILLON M., REFEROWSKI Z., PAZ N., Comparison of the air kerma standards of the GUM and the BIPM in the low- and medium-energy x-ray ranges, *Rapport BIPM-96/2*, 1996, 11 p.
19. MÜLLER J.W., An elementary determination of prime numbers, *Rapport BIPM-96/5*, 1996, 7 p.

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

J.W. Müller s'est rendu à :

- New Delhi (Inde), du 20 au 22 février 1996, pour assister à la « Conference on advances in metrology and its role in quality improvement and global trade », au National Physical Laboratory of India, où il a fait un exposé intitulé « Some aspects of metrological counting » ;
- Vienne (Autriche), du 30 septembre au 4 octobre 1996, pour assister à la 7<sup>e</sup> réunion du SSDL Scientific Committee de l'AIEA.

J.W. Müller et M. Boutillon ont participé, du 12 au 16 août 1996, à la réunion annuelle de l'ICRU, au BIPM.

M. Boutillon, P.J. Allisy-Roberts et D.T. Burns se sont rendus au BNM-LPRI à Saclay (France), le 3 avril 1996, pour l'inauguration du nouvel accélérateur nucléaire.

P.J. Allisy-Roberts s'est rendue à :

- Londres (Royaume-Uni), les 26 octobre 1995, 8 mars et 11 juillet 1996 pour assister aux réunions de l'U.K. Health and Safety Commission Ionising Radiation Advisory Committee ; le 7 novembre 1995 pour sa dernière participation au Conseil de l'U.K. Society for Radiological Protection ; le 24 juin pour faire un exposé et présider une session d'un séminaire au British Institute of Radiology ;

- Bruxelles (Belgique), les 11 décembre 1995, 4 mars, 10 juin et 20 août 1996 pour participer aux réunions du groupe d'experts de l'Article 31 sur « Medical Radiation Exposures » ;
- Teddington (Royaume-Uni), le 24 février 1996, pour assister au British Committee on Radiation Units ;
- Luxembourg, le 8 mai 1996, pour sa dernière participation au groupe d'experts de l'Article 31 ;
- Budapest (Hongrie), du 13 au 16 mai 1996, pour participer à une réunion de l'International Commission on Radiological Protection Committee 3 sur les rayonnements ionisants médicaux.

D.T. Burns s'est rendu à :

- Teddington (Royaume-Uni), le 9 mai 1996, pour discuter au NPL du programme de Monte Carlo EGS4 utilisé pour le calcul des corrections de pertes d'électrons ;
- Montpellier (France), du 10 au 14 juin 1996, pour participer au cours sur « Radiation Transport Using EGS4 ».

M. Nonis a participé à Paris (France), le 20 mars 1996, à un cours technique sur les possibilités et les applications des oscilloscopes modernes.

G. Ratel s'est rendu à :

- Orsay (France), le 12 octobre 1995, comme rapporteur de la thèse de doctorat de Mlle M.-N. Péron ;
- Nîmes (France), du 15 au 20 octobre 1995, pour participer au 7<sup>e</sup> Congrès international de métrologie, Métrologie 95.

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

J.W. Müller est membre du comité de rédaction de *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*. Il représente le BIPM à l'ICRU. Il est aussi membre du Comité scientifique des SSDL qui conseille l'AIEA, membre du Comité scientifique « Mesures physiques et métrologie » du BNM-INM (France) et membre du groupe de travail ISO/TAG 4 sur l'expression des incertitudes.

M. Boutillon est conseiller de *Physics in Medicine and Biology* et des rapports de l'ICRU.

P.J. Allisy-Roberts est membre du groupe d'experts de l'Article 31 de la Commission européenne jusqu'à l'automne 1996, et du British Committee on Radiation Units and Measurements. Elle est expert auprès du Department of Trade and Industry du Royaume-Uni pour le contrôle annuel des travaux en métrologie des rayonnements au NPL ; elle est membre scientifique du Ionising Radiations Advisory Committee de l'U.K. Health and Safety Commission jus-

qu'à la fin de 1996. Depuis 1993, elle est membre du Committee 3 de l'International Commission for Radiological Protection, et jusqu'en 1997.

G. Ratel représente le BIPM à l'ICRM.

D.T. Burns est membre de l'Electron Dosimetry Working Party de l'Institution of Physics and Engineering in Medicine and Biology et il est conseiller de *Physics in Medicine and Biology*.

## 7.5 Visiteurs de la section des rayonnements ionisants

### 7.5.1 Stagiaires

- Mme L. Rodrigues (LNMRI, Brésil) a fait un séjour au BIPM, du 22 octobre au 6 novembre 1995, pour une comparaison d'étalons de kerma dans l'air dans le faisceau de  $^{60}\text{Co}$  et pour étalonner deux chambres de transfert (rayons x,  $^{137}\text{Cs}$  et  $^{60}\text{Co}$ ).
- M. E. Leroy (BNM-LPRI, France) a travaillé au BIPM, du 5 au 13 décembre 1995, pour une comparaison d'étalons de kerma dans l'air dans le faisceau de  $^{137}\text{Cs}$ .
- Mlle I. Catayée, étudiante à l'Université Paris VII (Paris, France), a effectué un stage au BIPM du 4 mars au 31 août 1996.

### 7.5.2 Visiteurs

- Mme T.E. Sazonova (VNIIM, Saint-Petersbourg, Féd. de Russie), le 11 octobre 1995.
- Mlle M.-N. Péron et M. Ph. Cassette (BNM-LPRI, Saclay, France), le 25 octobre 1995.
- Mme M. Koskinas (IPEN, São Paulo, Brésil), le 14 novembre 1995.
- M. J. MacDonald (Northwest Pacific Labs, Batelle, É.-U. d'Amérique), le 16 novembre 1995.
- M. A. Ostrowsky (BNM-LPRI, Saclay, France), le 5 décembre 1995.
- Mlle D. Hainos et M. J.-L. Picolo (BNM-LPRI, Saclay, France), le 14 décembre 1995.
- MM. Ch. Dulieu et J.-L. Picolo (BNM-LPRI, Saclay, France), le 23 janvier 1996.
- M. F. Delaunay (BNM-LPRI, France), les 6 février, 29 mars et 5 juin 1996.
- M. Steiner (OFMET, Wabern, Suisse), le 28 mars 1996.
- Mlle Jileen Shobe (NIST, É.-U. d'Amérique), le 12 avril 1996.
- M. Ph. Cassette (BNM-LPRI, Saclay, France), le 23 avril 1996.
- M. E. Günther (PTB, Braunschweig, Allemagne), le 23 avril 1996.
- Mme R. Moning (OFMET, Wabern, Suisse), les 24 et 25 avril 1996.
- M. J.-J. Gostely (IRA, Lausanne, Suisse), le 30 avril 1996.

- Mme J. Pialat (NPRL, Pretoria, Afrique du Sud), les 23 et 24 mai 1996.
- M. A.F. Bielajew (NRC, Ottawa, Canada), le 5 juin 1996.
- M. M. Da Silva Dias (IPEN, São Paulo, Brésil), du 24 au 28 juin 1996.
- M. M. Woods (NPL, Teddington, Royaume-Uni), le 2 juillet 1996.
- M. D.F.G. Reher (IMMR, Geel, Belgique), le 2 juillet 1996.
- M. G. De Rosny (Université Paris VII, France) le 3 juillet 1996.
- MM. L. Grigorescu et S. Doru (IFIN, Bucarest, Roumanie), le 27 juillet 1996.
- M. P. Andreo (IAEA, Vienne, Autriche), le 14 août 1996.

#### IV. — PUBLICATIONS DU BIPM

##### 1. Publications générales

Depuis octobre 1995 ont été publiés :

*Procès-verbaux des séances du Comité international des poids et mesures*,  
Tome 63, 84<sup>e</sup> session, 1995, 220 p.

*Comité consultatif d'électricité*, 20<sup>e</sup> session, 1995, 76 p.

*Rapport annuel de la section du temps du BIPM* (1995), 1996, 8, 156 p.

*Circulaire T* (mensuelle), 4 p.

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

Le volume 32 de *Metrologia* est paru en 1995 et au début de 1996. Pour ce volume, aux quatre numéros normaux se sont ajoutés deux numéros spéciaux. Dans l'un de ces deux numéros figurent les comptes rendus de la quatrième comparaison internationale de gravimètres absolus (ICAG 94), qui s'est tenue à Sèvres (France) en mai-juin 1994. L'autre numéro spécial a été consacré à la cinquième conférence internationale sur la radiométrie (NEWRAD'94), qui s'est tenue à Berlin en septembre 1994.

Dans le volume 32 figurent 123 articles, dont 33 portent sur des recherches en cours, 77 sont des communications faites lors de conférences et 3 appartiennent à la rubrique des rapports internationaux. En complément à ces rapports une nouvelle catégorie d'articles, consacrée aux comparaisons internationales, est venue s'ajouter, qui comprend 8 articles. Le volume 32 comportait à nouveau une rubrique consacrée à des comptes rendus de livres, dans laquelle ont figuré 2 articles.

Entre le 1<sup>er</sup> janvier 1995 et le 31 décembre 1995, 69 articles sur des recherches ont été soumis pour publication, 41 d'entre eux ont été publiés, 11 ont été acceptés pour publication et 15 ont été refusés, 1 a été retiré et 1 était en cours

d'examen au 30 septembre 1996. Entre le 1<sup>er</sup> janvier 1996 et le 30 septembre 1996, 78 articles sur des recherches ont été soumis pour publication. Au 30 septembre 1996, 52 d'entre eux ont été acceptés, 8 ont été refusés et 18 étaient encore en cours d'examen.

Le volume 33 comprend cinq numéros normaux et un numéro spécial, consacré à la thermométrie, à la mémoire de Luigi Crovini. Ce numéro spécial a été distribué à la conférence Tempmeko en septembre 1996.

## V. — RÉUNIONS ET EXPOSÉS AU BIPM

### 1. Réunions

Le CCQM s'est réuni les 14 et 15 février 1996.

Le CCDS s'est réuni les 12 et 13 mars 1996 ; il a été précédé de la réunion du Groupe de travail du CCDS sur le TAI le 11 mars 1996.

Le CCU s'est réuni les 16 et 17 avril 1996.

Le CCM s'est réuni les 29 et 30 mai 1996 ; il a été précédé de la réunion de ses groupes de travail les 27 et 28 mai 1996.

Le CCEMRI s'est réuni les 27 et 28 juin 1996.

Le CCT s'est réuni du 18 au 20 septembre 1996.

### 2. Exposés

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

- M.-N. Péron (CEN, Saclay, France) : Réponse de scintillateurs liquides aux électrons, 25 octobre 1995.
- J. Azoubib : Utilisation des données des masers à hydrogène dans le calcul du TAI, 17 janvier 1996.
- F. Delahaye : Progrès au BIPM dans la métrologie de l'ohm et du farad, 28 février 1996.
- C. Michotte : Mesure d'une réaction nucléaire d'intérêt astrophysique, 27 mars 1996.
- C. Man (CNRS, Orsay, France) : Problèmes techniques liés à la détection des ondes de gravitation, 10 avril 1996.
- M. Stock : Realization and comparison of three radiometric primary standards, 4 juin 1996.
- J.-L. Pico (BNM-LPRI, Saclay, France) : Étalon primaire de <sup>222</sup>Rn mis au point au BNM-LPRI, 12 juin 1996.

## VI. — CERTIFICATS ET NOTES D'ÉTUDE

Du 1<sup>er</sup> octobre 1995 au 30 septembre 1996, 56 Certificats et 2 Notes d'étude ont été délivrés.

### CERTIFICATS

1995

N<sup>os</sup>

- |  |  |
|--|--|
| 37. Étalon de résistance de 10 000 $\Omega$ ,<br>n° 025 036 (addition) .....   | Justervesenet, Oslo, Norvège.  |
| 38. Étalon de résistance de 10 000 $\Omega$ ,<br>n° 224 102 (addition) .....   | Id.  |
| 39. Étalon de résistance de 10 000 $\Omega$ ,<br>n° J 207 119 030 104 (addition) .....   | Instituto Nacional de Engenharia<br>e Tecnologia Industrial, Lisbonne,<br>Portugal.        |
| 40. Étalon de résistance de 1 $\Omega$ ,<br>n° 1 799 595 (addition) .....  | Id.  |
| 41. Étalon de résistance de 1 $\Omega$ ,<br>n° 1 915 154 .....   | National Physical Laboratory of Israël,<br>Jérusalem, Israël.                              |
| 42. Étalon de résistance de 10 000 $\Omega$ ,<br>n° 1 914 468 .....  | Id.  |
| 43. Étalon de résistance de 10 000 $\Omega$ ,<br>n° 40 694 .....   | Office central des mesures, Varsovie,<br>Pologne.  |
| 44. Étalon de résistance de 10 000 $\Omega$ ,<br>n° 114 937 .....  | Id.  |
| 45. Étalon de force électromotrice à diode<br>de Zener, n° 5 850 003 .....   | Bundesamt für Eich-und Vermessungswesen,<br>Vienne, Autriche.                              |
| 46. Chambre d'ionisation,<br>NE 2561-168 .....   | Laboratório Nacional de Metrologia<br>das Radiações Ionizantes,<br>Rio de Janeiro, Brésil. |
| 47. Chambre d'ionisation,<br>CC01-110 .....  | Id.  |
| 48. Deux chambres d'ionisation,<br>PTW 245 et 17 918 .....   | Swedish Radiation Protection<br>Institute, Stockholm, Suède.                               |
| 49. Deux chambres d'ionisation Exradin,<br>A4-119 et A4-231 .....  | Id.  |
| 50. Cinq étalons secondaires d'intensité<br>lumineuse (2800 K),<br>n <sup>os</sup> SB21093C, SB21094C, SB21095C,<br>SB21097C, SB21108C ..... | Office central des mesures, Varsovie,<br>Pologne.  |
| 51. Cinq étalons secondaires de flux lumineux<br>(2800 K),<br>n <sup>os</sup> TA21597C, TA21598C, TA21599C,<br>TA21600C, TA21601C .....      | Id.  |

52. Étalon de résistance de 1 $\Omega$ , n° 1 711 458 (addition) .....	Instituto Nacional de Metrologia Normalização e Qualidade Industrial, Rio de Janeiro, Brésil.
53. Étalon de résistance de 1 $\Omega$ , n° 1 883 427 .....	Id.
54. Étalon de résistance de 1 $\Omega$ , n° 1 816 196 (addition) .....	Service de la métrologie belge, Bruxelles, Belgique.
55. Étalon de résistance de 1 $\Omega$ , n° 1 870 791 (addition) .....	Id.
56. Étalon de résistance de 100 $\Omega$ , n° 226 750 (addition) .....	Id.
57. Étalon de résistance de 10 000 $\Omega$ , n° 43 007 .....	Instituto Nacional de Metrologia Normalização e Qualidade Industrial, Rio de Janeiro, Brésil.
58. Étalon de résistance de 10 000 $\Omega$ , n° 43 021 (addition) .....	Service de la métrologie belge, Bruxelles, Belgique.
59. Étalon de résistance de 10 000 $\Omega$ , n° 508 004 (addition) .....	Id.

1996

N<sup>os</sup>

1. Étalon de force électromotrice à diode de Zener, n° 5 740 201 (addition) .....	Service de la métrologie belge, Bruxelles, Belgique.
2. Thermomètre à résistance de platine, n° 236 000 .....	Institut national de métrologie, Bucarest, Roumanie.
3. Thermomètre à résistance de platine, n° 231 985 .....	Id.
4. Étalon de résistance de 1 $\Omega$ , n° 1 749 269 (addition) .....	Bureau fédéral des mesures et métaux précieux, Belgrade, République fédérale de Yougoslavie.
5. Étalon de résistance de 1 $\Omega$ , n° 1 755 134 (addition) .....	Id.
6. Étalon de résistance de 1 $\Omega$ , n° 1 758 735 (addition) .....	Id.
7. Étalon de résistance de 1 $\Omega$ , n° 1 758 737 (addition) .....	Id.
8. Quatre piles étalons dans une enceinte thermorégulée, n° 42 887 (addition) .....	Id.
9. Prototype de masse n° 79 .....	National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, É.-U. d'Amérique.
10. Prototype de masse n° 80 .....	Department of Science Service, Bangkok, Thaïlande.

- |   |   |
|---|---|
| 11. Étalon de résistance de 10 000 $\Omega$ ,<br>n° J20 307 91 30104 .....  | Danish Institute of Fundamental Metrology,<br>Copenhagen, Danemark. |
| 12. Étalon de résistance de 10 000 $\Omega$ ,<br>n° J20 606 91 30104 (addition) .....   | Id.   |
| 13. Chambre d'ionisation,<br>PTW M23342 .....   | Office fédéral de métrologie, Wabern, Suisse.                       |
| 14. Chambre d'ionisation,<br>PTW 30001-298 .....  | Id.   |
| 15. Chambre d'ionisation,<br>NE 2611A-130 .....   | Id.   |
| 16. Étalon de résistance de 1 $\Omega$ ,<br>n° 59 099 (addition) .....  | Czech Metrological Institute, Prague,<br>République tchèque.        |
| 17. Trois étalons secondaires de flux lumineux<br>(2800 K),<br>n <sup>os</sup> 100 391, 100 392 et 100 393<br>(addition) .....    | Elektrotechnický Zkusební Ústav, Prague,<br>République tchèque.     |
| 18. Trois étalons secondaires de flux lumineux<br>(2800 K),<br>n <sup>os</sup> 40 511, 40 512 et 40 513<br>(addition) .....       | Id.   |
| 19. Deux étalons secondaires de flux lumineux<br>(2800 K),<br>n <sup>os</sup> 511 et 512 (addition) .....                         | Id.   |
| 20. Trois étalons secondaires de flux lumineux<br>(2800 K),<br>n <sup>os</sup> 77A, 77C et 14 (addition) .....                    | Id.   |
| 21. Trois étalons secondaires de flux lumineux<br>(2800 K),<br>n <sup>os</sup> E1, E2 et E3 (addition) .....                      | Id.   |
| 22. Trois étalons secondaires d'intensité<br>lumineuse (2800 K),<br>n <sup>os</sup> 511, 512, 2/88 (addition) .....               | Id.   |
| 23. Deux étalons secondaires de température<br>de couleur,<br>n <sup>os</sup> 2717 et 2726 (addition) .....                       | Id.   |
| 24. Deux étalons secondaires de température<br>de couleur,<br>n <sup>os</sup> 477 et 951 (additions) .....                        | Id.   |
| 25. Trois étalons secondaires d'intensité<br>lumineuse (2800 K),<br>n <sup>os</sup> 650-3472, 655 et 666-3473<br>(addition) ..... | Statens Provningsanstalt, Borås, Suède.                             |
| 26. Trois étalons secondaires de flux lumineux<br>(2800 K),<br>n <sup>os</sup> 246A, 250D et 250E (addition) .....                | Id.   |
| 27. Étalon de force électromotrice à diode<br>de Zener, n° 24 489-8 (addition) .....  | Czech Metrological Institute, Brno,<br>République tchèque.          |

- |   |   |
|---|---|
| 28. Prototype de masse n° 52<br>(addition) .....  | République fédérale d'Allemagne.  |
| 29. Étalon de masse de 1 kg,<br>en acier inoxydable .....                                 | Centro Nacional de Metrologia, Querétaro,<br>Mexique.   |
| 30. Deux étalons secondaires d'intensité<br>lumineuse (2800 K),<br>n°s A610 et A613 ..... | Singapore Institute of Standards and Industrial<br>Research, Singapour, République<br>de Singapour. |
| 31. Deux étalons secondaires d'intensité<br>lumineuse (2800 K),<br>n°s A583 et A612 ..... | Id.   |
| 32. Deux étalons secondaires de température<br>de couleur,<br>n°s 593 et 877 .....        | Id.   |
| 33. Deux étalons secondaires de température<br>de couleur,<br>n°s A610 et A613 .....      | Id.   |

#### NOTES D'ÉTUDE

1995

- |   |   |
|---|---|
| N°s   |   |
| 4. Étalon de résistance de 1 $\Omega$ ,<br>n° 755 525 ..... | National Physical Laboratory of Israël,<br>Jérusalem, Israël. |

1996

- |   |  |
|---|--|
| 1. Étalon de force électromotrice à diode<br>de Zener, n° 5 740 004 ..... | Instituto Nacional de Metrologia,<br>Normalização e Qualidade Industrial,<br>Rio de Janeiro, Brésil. |
|---|--|

## 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 1995.

### Compte I. — Fonds ordinaires\*

#### RECETTES

	francs-or
ACTIF AU 1 <sup>er</sup> JANVIER 1995 .....	20 025 335,94
Recettes budgétaires .....	23 684 912,97
Taxes sur les achats remboursées .....	1 206 010,39
Différences de change .....	244 348,85
<b>Total</b> .....	<b>45 160 608,15</b>

#### DÉPENSES

	francs-or
Dépenses budgétaires .....	22 094 327,66
Taxes sur les achats remboursables .....	694 711,82
Transfert au Compte II .....	4 000 000,00
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1995 .....	474 351,67
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1995 .....	17 897 217,00
<b>Total</b> .....	<b>45 160 608,15</b>

#### DÉTAIL DES RECETTES BUDGÉTAIRES

		francs-or
Versement de contributions :		
au titre de l'exercice 1995 .....	18 621 984	} 21 811 089,00
au titre de l'exercice 1994 .....	2 536 760	
au titre de l'exercice 1993 .....	213 390	
au titre de l'exercice 1992 et antérieurs .....	203 810	
au titre de l'exercice 1996 .....	235 145	
Intérêts des fonds .....		1 538 941,83
Recettes diverses :		
cession de prototypes (kg) .....	143 205,91	} 334 882,14
divers .....	191 676,23	
<b>Total</b> .....		<b>23 684 912,97</b>

\* Dans ce compte, comme dans le reste de ce document, 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 1995 se sont élevées à 22 094 327,66 francs-or pour un budget voté s'élevant à 25 514 000 francs-or.

DÉTAIL DES DÉPENSES BUDGÉTAIRES

Chapitres	Dépenses de l'exercice	Budget voté	Économies	Dépassements
<b>A. Dépenses de personnel :</b>				
1. Traitements .....	11 176 561,31	11 720 000	543 438,69	—
2. Allocations familiales et sociales .....	1 922 604,20	1 990 000	67 395,80	—
3. Assurance maladie (a) .....	995 880,51	1 074 000	78 119,49	—
4. Assurance accidents du travail .....	42 091,39	45 000	2 908,61	—
5. Caisse de retraite (b) .....	2 110 000,00	2 110 000	—	—
	16 247 137,41	16 939 000		
<b>B. Dépenses de fonctionnement :</b>				
1. Mobilier .....	32 923,29	30 000	—	2 923,29
2. Laboratoires et ateliers .....	737 160,83	1 296 000	558 839,17	—
3. Chauffage, eau, énergie électrique .....	428 177,97	542 000	113 822,03	—
4. Assurances .....	76 684,08	93 000	16 315,92	—
5. Impressions et publications .....	299 662,35	260 000	—	39 662,35
6. Frais de bureau .....	424 252,16	455 000	30 747,84	—
7. Voyages et transports d'appareils .....	721 921,48	715 000	—	6 921,48
8. Entretien courant .....	356 943,35	399 000	42 056,65	—
9. Bureau du Comité .....	60 000,00	48 000	—	12 000,00
	3 137 725,51	3 838 000		
<b>C. Dépenses d'investissement :</b>				
1. Laboratoires .....	1 697 736,35	2 808 000	1 110 263,65	—
2. Atelier de mécanique .....	49 411,04	171 000	121 588,96	—
3. Bibliothèque .....	281 819,97	306 000	24 180,03	—
	2 028 967,36	3 285 000		
<b>D. Dépenses de bâtiments</b>				
(gros travaux d'entretien et de rénovation) .....	368 370,64	386 000	17 629,36	—
<b>E. Frais divers et imprévus (c) (d) .....</b>				
	312 126,74	283 000	—	29 126,74
Sous totaux .....	22 094 327,66	24 731 000	2 727 306,20	90 633,86
<b>F. Réserves .....</b>				
	3 419 672,34	783 000	—	2 636 672,34
Totaux .....	25 514 000,00	25 514 000	2 727 306,20	2 727 306,20

(a) Comprenant un virement de 344 100,22 francs-or au Compte II (Caisse de retraite).

(b) Virement au Compte II (Caisse de retraite).

(c) Comprenant un virement de 18 811 francs-or au Compte IV (Caisse de prêts sociaux).

(d) Comprenant un virement de 182 335,65 francs-or au Compte VI (Metrologia).

**Compte II. — Caisse de retraite**

**RECETTES**

	francs-or
ACTIF AU 1 <sup>er</sup> JANVIER 1995 .....	18 264 877,72
Retenues sur les traitements .....	1 016 651,06
Virement du Compte I* .....	2 454 100,22
Intérêts des fonds .....	1 860 469,12
Transfert du Compte I .....	4 000 000,00
Total .....	<u><u>27 596 098,12</u></u>

**DÉPENSES**

	francs-or
Pensions servies .....	3 612 240,94
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1995 .....	619 235,42
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1995 .....	<u><u>23 364 621,76</u></u>
Total .....	<u><u>27 596 098,12</u></u>

\* Comprenant un virement de 344 100,22 francs-or provenant des économies réalisées sur l'assurance maladie (cf *BIPM Proc.-verb. int. poids et mesures*, 1994, 62, 19).

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

**RECETTES**

	francs-or
ACTIF AU 1 <sup>er</sup> JANVIER 1995 .....	114 348,53
Total .....	<u><u>114 348,53</u></u>

**DÉPENSES**

	francs-or
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1995 .....	2 966,12
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1995 .....	<u><u>111 382,41</u></u>
Total .....	<u><u>114 348,53</u></u>

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

**RECETTES**

		francs-or
ACTIF AU 1 <sup>er</sup> JANVIER 1995 .....	105 570,98	} 443 208,69
Créances au 1 <sup>er</sup> janvier 1995 .....	337 637,71	
Créances nouvelles en cours d'année .....		62 385,64
Amortissements partiels des prêts :		
Capital .....	163 284,42	} 171 788,21
Intérêts .....	8 503,79	
Virement du Compte I .....		18 811,00
Intérêts des fonds .....		12 446,61
<b>Total .....</b>		<u><u>708 640,15</u></u>

**DÉPENSES**

		francs-or
Prêts consentis en cours d'année .....		62 385,64
Créances amorties en cours d'année .....		163 284,42
Créances au 31 décembre 1995 .....	236 738,93	} 482 970,09
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1995 .....	246 231,16	
<b>Total .....</b>		<u><u>708 640,15</u></u>

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 .....	369 497,72
Virement du Compte I .....	182 335,65
<b>Total</b> .....	<u>551 833,37</u>

**DÉPENSES**

	francs-or
Dépenses de fonctionnement .....	551 413,43
Dépenses d'investissement .....	419,94
<b>Total</b> .....	<u>551 833,37</u>

**Compte VII. — Fonds de réserve pour l'assurance maladie**

**RECETTES**

	francs-or
ACTIF AU 1 <sup>er</sup> JANVIER 1995 .....	1 591 701,63
Intérêts des fonds .....	125 102,36
<b>Total</b> .....	<u>1 716 803,99</u>

**DÉPENSES**

	francs-or
Subvention des cotisations des retraités .....	4 072,35
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1995 .....	44 263,69
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1995 .....	1 668 467,95
<b>Total</b> .....	<u>1 716 803,99</u>

**Bilan au 31 décembre 1995**

	francs-or
Compte I « Fonds ordinaires » .....	17 897 217,00
Compte II « Caisse de retraite » .....	23 364 621,76
Compte III « Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique » ..	111 382,41
Compte IV « Caisse de prêts sociaux » .....	482 970,09
Compte V « Réserve pour les bâtiments » .....	0,00
Compte VI « Metrologia » .....	0,00
Compte VII « Fonds de réserve pour l'assurance maladie » .....	1 668 467,95
	<hr/>
ACTIF NET .....	43 524 659,21
	<hr/> <hr/>

Cet actif net se décompose comme suit :

a. Fonds déposés en banque :

	francs-or
1° En monnaie française (1 FRF = 0,551 109 935 FO) .....	9 051 154,46
2° En monnaie U.S.A. (1 USD = 4,9000 FRF = 2,700 438 684 FO) .....	7 012 437,42
3° En monnaie suisse (1 CHF = 4,2568 FRF = 2,345 964 773 FO) .....	40,37
4° En monnaie britannique (1 GBP = 7,6010 FRF = 4,188 986 619 FO) ....	5 257,14
5° En monnaie allemande (1 DEM = 3,4182 FRF = 1,883 803 981 FO) ....	6 108 127,41
6° En monnaie japonaise (100 JPY = 4,7495 FRF = 2,617 496 638 FO) ....	56 316,98
7° En monnaie hongroise (1 HUF = 0,0370 FRF = 0,020 391 068 FO) .....	2 058,42
8° En monnaie néerlandaise (1 NLG = 3,0541 FRF = 1,683 144 854 FO) ..	3 793 550,59
9° En monnaie belge (1 BEF = 0,1664 FRF = 0,091 704 693 FO) .....	1 834 704,71
10° En monnaie danoise (1 DKK = 0,8827 FRF = 0,486 464 740 FO) .....	5 483 908,42
11° En monnaie italienne (1000 ITL = 3,0920 FRF = 1,704 031 920 FO) ....	1 418 778,21
12° En monnaie espagnole (100 ESP = 4,0360 FRF = 2,224 279 699 FO) ...	1 779 423,76
13° En ECU (1 XEU = 6,2785 FRF = 3,460 143 729 FO) .....	6 951 591,90

b. Espèces en caisse .....	4 155,75
	<hr/>
ACTIF BRUT .....	43 501 505,54
	<hr/> <hr/>

c. Créances de la Caisse de prêts sociaux .....	236 738,93
d. Provision pour remboursement aux États à déduire (1) .....	- 127 708,00
e. Sommes reçues de l'ex-Yougoslavie à déduire .....	- 85 877,26
	<hr/>
ACTIF NET .....	43 524 659,21
	<hr/> <hr/>

(1) Compte « Remboursement aux États »

	francs-or
Situation au 1 <sup>er</sup> janvier 1995 .....	18 649,00
Versement par le Chili de ses contributions de 1990 (solde) et de 1993 (acompte) .	109 059,00
	<hr/>
Situation au 31 décembre 1995 .....	127 708,00
	<hr/> <hr/>



**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.

The 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 world-wide unification of physical measurements; its function is to:

- establish fundamental standards and scales for the measurement of the principal physical quantities and maintain the international prototypes;
- carry out comparisons of national and international standards;
- ensure the co-ordination of corresponding measuring techniques;
- carry out and co-ordinate measurements of the fundamental physical constants relevant to these activities.

The 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).

Delegates from all the Member States of the Convention du Mètre attend the Conférence Générale which, at present, meets every four years. At each meeting the Conférence Générale receives the Report of the Comité International on the work accomplished, its function being to:

- discuss and instigate 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;
- confirm the results of new fundamental metrological determinations and various scientific resolutions of international scope;
- adopt the important decisions concerning the organization and development of the BIPM.

The Comité International has eighteen members each from a different State: at present, it meets every year. The officers of this committee present an Annual Report on the administrative and financial position of the BIPM to the Governments of the Member States of the Convention du Mètre. The principal task of the CIPM is to ensure world-wide uniformity in units of measurement. It does this by direct action or by submitting proposals to the CGPM.

The activities of the BIPM, which in the beginning were limited to 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 and radiometry (1937), ionizing radiation (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. In 1988 a new building for a library and offices was opened.

Some forty-five physicists or technicians work in the BIPM laboratories. They mainly conduct metrological research, international comparisons of realizations of units and calibrations of standards. An annual report, published in the *Procès-Verbaux des séances du Comité International des Poids et Mesures*, gives details of the work in progress.

---

\* As of 31 December 1996, forty-eight States were members of this Convention: Argentina (Rep. of), Australia, Austria, Belgium, Brazil, Bulgaria, Cameroon, Canada, Chile, China (People's Rep. of), Czech Republic, Denmark, Dominican Republic, Egypt, Finland, France, Germany, Hungary, India, Indonesia, Iran, Ireland, Israel, Italy, Japan, Korea (Dem. People's Rep. of), Korea (Rep. of), Mexico, Netherlands, New Zealand, Norway, Pakistan, Poland, Portugal, Romania, Russian Federation, Singapore, Slovak Republic, South Africa, Spain, Sweden, Switzerland, Thailand, Turkey, United Kingdom, U.S.A., Uruguay, Venezuela.

Following the extension of the work entrusted to the BIPM in 1927, the CIPM has set up bodies, known as *Comités Consultatifs*, whose function is 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 topics, are responsible for co-ordinating the international work carried out in their respective fields and for proposing recommendations to the CIPM concerning units.

The *Comités Consultatifs* have common regulations (*BIPM Proc.-Verb. Com. Int. Poids et Mesures*, 1963, 31, 97). They meet at irregular intervals. The chairman of each *Comité Consultatif* is designated by the CIPM and is normally a member of the CIPM. The members of the *Comités Consultatifs* are metrology laboratories and specialized institutes, agreed by the CIPM, which send delegates of their choice. In addition, individual members are appointed by the CIPM, and there is also a representative of the BIPM. At present, there are nine such committees:

1. The *Comité Consultatif d'Électricité* (CCE), set up in 1927;
2. The *Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie* (CCPR), new name given in 1971 to the *Comité Consultatif de Photométrie* (CCP) set up in 1933 (between 1930 and 1933 the CCE dealt with matters concerning photometry);
3. The *Comité Consultatif de Thermométrie* (CCT), set up in 1937;
4. The *Comité Consultatif pour la Définition du Mètre* (CCDM), set up in 1952;
5. The *Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde* (CCDS), set up in 1956;
6. The *Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants* (CEMRI), set up in 1958 (in 1969 this committee established four sections: Section I (Measurement of x and  $\gamma$  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 was 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;
9. The *Comité Consultatif pour la Quantité de Matière* (CCQM), set up in 1993.

The proceedings of the *Conférence Générale*, the *Comité International* and the *Comités Consultatifs* are published by the BIPM 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*.

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 are collected all the decisions and recommendations concerning units.

The collection of the *Travaux et Mémoires du Bureau International des Poids et Mesures* (22 volumes published between 1881 and 1966) and the *Recueil de Travaux du Bureau International des Poids et Mesures* (11 volumes published between 1966 and 1988) ceased by a decision of the CIPM.

The scientific work of the BIPM is published in the open scientific literature and an annual list of publications is published in the *Procès-Verbaux* of the CIPM.

Since 1965 *Metrologia*, an international journal published under the auspices of the CIPM, has printed articles dealing with: scientific metrology, improvements in methods of measurement, work on standards and units, 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 24 September 1996

---

*President*

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

*Secretary*

2. J. KOVALEVSKY, President of the Bureau National de Métrologie, Observatoire de la Côte d'Azur, avenue N. Copernic, 06130 Grasse, France.

*Members*

3. W.R. BLEVIN, Division of Applied Physics, CSIRO, P.O. Box 218, Bradfield Road, Lindfield NSW 2070, Australia. *Vice-President*.
4. CHUNG Myung Sai, President, Korea Research Institute of Standards and Science, P.O. Box 102, Yusong, Taejon 305-600, Republic of Korea.
5. GAO Jie, Director, Joint Laboratory of High Technology Metrology and Measurement, Adviser, China State Bureau of Technical Supervision, BP 8010, Beijing 100088, People's Republic of China.
6. K.B. GEBBIE, Director, Physics Laboratory, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899-0001, U.S.A.
7. E.S.R. GOPAL, Director, National Physical Laboratory of India, Dr K.S. Krishnan Road, New Delhi 110012, India.
8. K. IZUKA, c/o National Research Laboratory of Metrology, 1-1-4 Umezono, Tsukuba 305, Japan. *Vice-President*.
9. R. KAARLS, Director, Nederlands Meetinstituut, P.O. Box 654, 2600 AR Delft, Netherlands.
10. O.V. LOUNASMAA, Low Temperature Laboratory, Helsinki University of Technology, Otakaari 3 A, SF-02150 Espoo, Finland.

11. G. MOSCATI, Instituto de Fisica, Universidade de São Paulo, Caixa Postal 66318, 05389-970 São Paulo SP, Brazil.
12. P. PÂQUET, Director, Observatoire Royal de Belgique, 3 avenue Circulaire, B-1180 Brussels, Belgium.
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, 812 31 Bratislava, Slovak Republic.
15. R. STEINBERG, Department of Physics and Metrology, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, 1101 Buenos Aires, Argentina.
16. Yu V. TARBEYEV, Directeur General, D.I. Mendeleyev Institute for Metrology, 19 Moskovsky Prosp., 198005 Saint Petersburg, Russian Fed.
17. A.J. WALLARD, Deputy Director, National Physical Laboratory, Teddington TW11 0LW, United Kingdom.
18. ...

*Honorary members*

1. E. AMBLER, The Belvedere (No. 626), 1600 N. Oak Street, Arlington, VA 22209.
  2. J. DE BOER, Institute of Physics, University of Amsterdam, Valckenierstraat 65, Amsterdam-C.
  3. L.M. BRANSCOMB, Box 309, Concord, Massachusetts 01742.
  4. J.V. DUNWORTH, Apt. 902, Kings Court, Ramsey, Isle of Man.
  5. M. KERSTEN, Am Hohen Tore 4A, 3300 Braunschweig.
  6. H. PRESTON-THOMAS, 1109 Blasdell Avenue, Ottawa K1K 0C1.
-

---

STAFF  
OF THE  
BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES  
on 1 January 1997

Director: Dr T.J. Quinn

*Length:* Mr J.-M. Chartier

Mr R. Felder, Dr S. Picard, Dr L. Robertsson, Dr L. Vitushkin<sup>(1)</sup>,  
Mr A. Zarka  
Mrs A. Chartier, Mr J. Labot

*Mass and related quantities:* Dr R.S. Davis

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

*Time scales:* Dr C. Thomas

Mr J. Azoubib, Dr W. Lewandowski, Dr G. Petit, Mr P. Wolf<sup>(1)</sup>  
Miss H. Konaté, Mr P. Moussay, Mrs M. Thomas

*Electricity:* Dr T.J. Witt

Mr F. Delahaye, Dr J. Melcher<sup>(1)</sup>, Dr D. Reymann  
Mr D. Avrons, Mr D. Bournaud

*Radiometry and photometry:* Dr R. Köhler

Mr R. Goebel, Dr M. Stock  
Mr C. Garreau, Mr F. Lesueur, Mr R. Pello

*Ionizing radiation:* Mrs M. Boutillon

Dr P. Allisy-Roberts, Dr D.T. Burns, Dr C. Michotte, Dr G. Ratel  
Mr D. Carnet, Mr C. Colas, Mr M. Nonis, Mr C. Veyradier

*Secretariat:* Miss J. Monprofit

Mrs L. Delfour, Mrs D. Le Coz, Mrs M. Petit

*Metrologia:* Dr D.A. Blackburn

Mrs C. Lawrence

*Finance, administration:* Mrs B. Perent

Mrs M.-J. Martin, Mrs D. Saillard

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

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

*Gardeners:* Mr C. Dias-Nunes, Mr A. Zongo

*Workshop:* Mr J. Sanjaime

Mr P. Benoit, 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>(2)</sup>, Mr C. Neves<sup>(2)</sup>

*Director emeritus:* Prof. P. Giacomo

*Principal Metrologist emeritus:* Mr G. Leclerc

---

(1) Research fellow

(2) Also caretaker



## AGENDA

---

1. Opening of the meeting; quorum; agenda.
  2. Report of the Secretary and activities of the bureau of the Comité (October 1995 - September 1996).
  3. Long-term needs relating to metrology.
  4. The Convention du Mètre and the Organisation Internationale de Métrologie Légale.
  5. Equivalence of national measurement standards.
  6. Comités Consultatifs
    - report of the CCQM,
    - report of the CCDS,
    - report of the CCU,
    - report of the CCM,
    - report of the CCEMRI,
    - report of the CCT,
    - future meetings,
    - presidency of the Comités Consultatifs.
  7. Work of the BIPM: Report of the Director
    - work of the BIPM,
    - dépôt des prototypes.
  8. Administrative and financial affairs
    - "Rapport aux Gouvernements" for 1995,
    - quitus for 1995,
    - progress report on the 1996 exercise,
    - family allowances,
    - *Metrologia*.
  9. Membership of the CIPM.
  10. Other business.
-

# COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

---

85th Meeting  
(24-26 September 1996)

---

## PROCEEDINGS OF THE SESSIONS

D. Kind, President

---

The Comité International des Poids et Mesures (CIPM) held its 85th meeting on Tuesday 24, Wednesday 25 and Thursday 26 September 1996 at the Pavillon de Breteuil, at Sèvres. In all, five sessions were held.

Present: Messrs. BLEVIN, CHUNG Myung Sai, GAO Jie, Mrs GEBBIE, Messrs. GOPAL (absent on 24 September), IIZUKA, KAARLS, KIND, KOVALEVSKY, LOUNASMAA, MOSCATI, SKÁKALA, TARBEYEV, WALLARD and QUINN (Director of the BIPM).

Also attending the meeting: Prof. GIACOMO (Director emeritus of the BIPM); Prof. MILLS (President of the CCU, on 24 September), Prof. GUINOT (on 26 September); Miss MONPROFIT, Mrs LE COZ (Secretariat).

Apologies for absence were received from: Dr PÂQUET, Prof. SIEGBAHN and Prof. STEINBERG.

### **1. Opening of the meeting; quorum; agenda**

The President opened the 85th meeting of the CIPM and welcomed the members present, in particular Dr Chung and Dr Wallard, recently elected, and Prof. Giacomo; he also welcomed Prof. Mills, invited to report on the meeting of the Comité Consultatif des Unités (CCU).

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 Luigi Crovini, member of the CIPM since 1992 and President of the Comité Consultatif de Thermométrie (CCT), who died suddenly, on 21 October 1995, shortly after the CIPM meeting. An obituary was published in the *Procès-Verbaux* last year.

The agenda was adopted.

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

## **2. Report of the Secretary and activities of the bureau of the Comité** (October 1995 – September 1996)

Prof. Kovalevsky, Secretary of the CIPM, presented his report in which he informs the Comité of events concerning the member States of the Convention du Mètre, of changes in membership of the Comité and summarizes the financial position of the BIPM. His report also includes a brief account of the activities of the bureau of the Comité, which met three times during the year at the Pavillon de Breteuil, since October 1995.

### *Member States of the Convention du Mètre*

The number of member States of the Convention du Mètre remains unchanged at forty-eight.

### *Membership of the Comité International*

The vacancy created by the death of Luigi Crovini, together with those created by the resignations of Dr Peter Clapham and Dr Jacques Vanier, brought to three the number of vacancies on the Comité International. Two of these were filled by the elections of Dr Chung Myung Sai, Director of the Korea Research Institute of Standards and Science (Republic of Korea) and Dr Andrew Wallard, Deputy Director of the National Physical Laboratory (United Kingdom).

### *Report on long-term needs relating to metrology*

At the request of the Comité, Dr Blevin prepared a report on the long-term needs relating to metrology, as called for in Resolution 11 of the 20th Conférence Générale. The first draft of this report was discussed by the bureau in June 1996 and a second draft was distributed to members of the CIPM for discussion at the meeting.

### *The Organisation Internationale de Métrologie Légale and the Convention du Mètre*

A meeting took place at the Pavillon de Breteuil on 22 and 23 February 1996 between representatives of the Organisation Internationale de Métrologie Légale (OIML) and the Convention du Mètre, following Resolution 10 of the 20th Conférence Générale. A brief report of this meeting was distributed to members of the CIPM soon afterwards. The broad conclusion of the meeting was that the report on future needs relating to metrology should be completed before substantive discussions take place on possible collaboration between the OIML and the Convention du Mètre.

*Equivalence of national measurement standards*

At the request of the CIPM working group on the equivalence of national measurement standards, created at the 1995 meeting of the CIPM, Dr Quinn made contact with the International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC), the European Cooperation for Accreditation of Laboratories (EAL), the Comités Consultatifs and many members of the national laboratories. Resulting proposals are embodied in a document distributed to members of the CIPM and to national laboratories entitled "International equivalence of national measurement standards". This document evoked considerable interest and was reported upon by Dr Quinn.

*Financial affairs of the BIPM*

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

Accounts	1993	1994	1995	1996
I. — Ordinary funds .....	12 113 526,07	18 931 178,64	20 025 335,94	17 897 217,00
II. — Pension funds .....	16 395 611,25	17 555 532,69	18 264 877,72	23 364 621,76
III. — Special fund for the improvement of scientific equipment .....	171 995,64	0,00	114 348,53	111 382,41
IV. — Staff loan fund .....	358 173,05	398 083,17	443 208,69	482 970,09
V. — Building reserve fund .....	0,00	0,00	0,00	0,00
VI. — <i>Metrologia</i> .....	0,00	0,00	0,00	0,00
VII. — Medical insurance reserve fund .....	728 727,58	1 165 671,44	1 591 701,63	1 668 467,95
Totals .....	29 768 033,59	38 050 465,94	40 439 472,51	43 524 659,21

*Other business*

The bureau of the Comité discussed various other matters: preliminary plans for a new building on the site of the "Neutron" building to provide a mechanical workshop, conference room and offices; the replacement for Dr Müller as head of the Ionizing radiation section; the possibility of beginning work on metrology in chemistry; correspondence with the Secretary General of the International Organization for Standardization (ISO) on the future of ISO/TAG 4, the working group within which the *International vocabulary of basic terms in metrology* and the *Guide to the expression of uncertainty in measurement* were developed.

**3. Long-term needs relating to metrology**

Dr Blevin was invited to present a brief overview of his draft report on "National and international needs relating to metrology, appropriate internatio-

nal collaboration, and the role of the BIPM". The CIPM had asked him to prepare this report in 1995 in response to Resolution 11 adopted by the 20th Conférence Générale.

In presenting his report, Dr Blevin said that it results from discussions with the directors of national metrology institutes, regional metrology organizations, international organizations such as the International Electrotechnical Commission (IEC), the ILAC, the ISO and well-informed individuals; it was also influenced by discussions with the Director of the BIPM and the bureau of the Comité. He emphasized that it is important to acknowledge that there are more players in international metrology than thirty years ago.

The main proposals concern:

- increased emphasis on key measurement comparisons, to test the equivalence of national measurement standards and the publication of their results to demonstrate the degree of equivalence obtained;
- increased collaboration of the BIPM with regional metrology organizations;
- extension of the terms of reference of the Comités Consultatifs;
- initiation of a laboratory programme at the BIPM in the field of metrology in chemistry;
- more active external collaboration of the BIPM, particularly with the ILAC, but also with the OIML, ISO and IEC.

Some specific recommendations were made on the future role of the BIPM and the work it should undertake.

The President thanked Dr Blevin for his report and invited comments.

A wide discussion took place in which two points were highlighted: we must take account of the needs and competence of those countries that are not at the top level in metrology, and of the implications of new technologies for the national metrology institutes and the BIPM.

Dr Wallard said this is an extremely important document, but that proposals for the future relationships between the BIPM and the regional organizations must be considered carefully. He expressed a desire to see the BIPM provide strong leadership in the international framework. Dr Blevin replied that the BIPM must maintain close links with regional organizations; he was surprised that Dr Quinn had only recently been contacted by NORAMET for example. Dr Quinn said that he had more contacts with EUROMET and the Asia/Pacific Metrology Programme (APMP) simply because they are more active and advanced in the field. Dr Kaarls said that the relationships between the BIPM, the national laboratories and the regional organizations have been discussed extensively and are evolving rapidly. He added that new technologies have important consequences for the national metrology institutes and the BIPM, an important example being that very precise verifications are now made with transportable systems.

Dr Gebbie remarked that while Dr Blevin's report is excellent in its coverage of the next three to four years, it will have to be reconsidered in the light of new technologies appearing in the years up to 2010. She asked for further thought to be put into what this might mean for the BIPM.

Prof. Mills welcomed the recognition of the importance of metrology in chemistry and remarked that he would like to see relations with chemists reinforced. He looked forward to seeing the BIPM begin work in this field. The President replied that the BIPM is not in an easy position as funds are limited. Dr Kaarls expressed the opinion that to establish a firm foundation for metrology in chemistry is an enormous task, which will last for many decades.

Prof. Lounasmaa and Prof. Moscati observed that smaller countries value their direct link to the BIPM: under no circumstances should regional organizations become a barrier between the BIPM and member States. This point was raised at the 20th Conférence Générale, because it is important that smaller countries feel they are involved; they are the representatives of the Convention du Mètre in their region. Prof. Kovalevsky noted that nine countries have stopped paying their contributions, presumably because they consider the charges excessive or the service inadequate: new countries will be attracted only if they feel that we can serve them and that their contributions represent good value for the money they pay. Prof. Moscati stressed that smaller countries want more visibility and more information.

#### *National metrology institutes*

The CIPM noted that several national metrology institutes have recently changed their status. They have become more or less privatized and are thus subject to a degree of commercial pressure. It was suggested that this may lead to problems in international collaboration. A general discussion took place. While, on the basis of the stated policies of the governments and institutes concerned, there is no evidence that this perception is at present a reality, the CIPM recommended that this concern be taken seriously. The institutes in question should be asked to make their policies clear and open with respect to commercial activities in other countries.

#### *Comités Consultatifs*

Other questions raised in Dr Blevin's report concern the membership and terms of reference of the Comités Consultatifs. In view of the wider role he is proposing for the Comités Consultatifs, it is essential to clarify the criteria for membership. After discussion, the following criteria for membership were adopted.

Membership of Comités Consultatifs is decided by the CIPM in consultation with the Presidents of the Comités Consultatifs and the Director of the BIPM.

Laboratories invited to be members of a Comité Consultatif are those already recognized internationally as most expert in the field. This normally requires that they:

- be national laboratories charged with establishing national standards in the field;
- be active in research and have a record of publications in research journals of international repute;
- have demonstrated competence by a record of participation in international comparisons organized either by the Comité Consultatif, the BIPM or a regional metrology organization.

In addition to laboratory members, Comités Consultatifs may include as members:

- named individuals whose knowledge and competence in the field are such that they can provide valuable assistance to the Comité Consultatif even though they do not come from a laboratory meeting the requirements for membership;
- international unions or other international organizations whose advice or expertise would be helpful to the Comité Consultatif.

The Presidents of Comités Consultatifs may from time to time invite observers to meetings, including representatives of appropriate laboratories that are not yet members.

In general, the national metrology institute of each member State of the Convention du Mètre wishing to participate can expect to be a member or an observer of at least one Comité Consultatif.

#### *Working group on acoustics, ultrasound and vibration*

As part of the extension of the range of work proposed for the Comités Consultatifs, Dr Blevin suggested that a study be made of the needs in acoustics, ultrasound and vibration. He said that there is a strong CSIRO group in these fields which cooperates actively with groups in Europe, but has difficulty in establishing wider international cooperation. The President suggested that a CIPM working group be set up to investigate the matter and see if a new Comité Consultatif should be created, or the topic be given a home in one of the existing committees. Dr Wallard was asked to draft terms of reference for this group.

The CIPM agreed to establish an *ad hoc* working group to review the needs for world-wide uniformity of measurement in the fields of acoustics, ultrasound and vibration. Its terms of reference are:

- to assess specific needs for world-wide uniformity in the fields of acoustics, ultrasound and vibration;
- to review the extent to which these needs are met by existing arrangements outside the Convention du Mètre;

- to consider whether it would be desirable for the CIPM to establish a programme within these fields, including key comparisons of measurements, in either an existing or a new Comité Consultatif;
- to report back in time for the 1997 meeting of the CIPM.

It was agreed that the working group should comprise Dr A. Wallard (Chairman) and representatives of the BIPM, CSIRO, DFM, NIST, NPL, NRLM and PTB, with the chairman empowered to appoint one or two additional members should this be desirable.

Finally, it was decided to call a meeting of Directors of national metrology institutes of all member States of the Convention du Mètre for 17-18 February 1997 to sound out their opinion on the future needs of metrology and to discuss proposals related to the international equivalence of national measurement standards.

#### **4. The Convention du Mètre and the Organisation Internationale de Métrologie Légale**

The President recalled that, following Resolution 10 of the 20th Conférence Générale in 1995, a joint working group of the Convention du Mètre and the Organisation Internationale de Métrologie Légale (OIML), comprising the bureau of the Comité and its equivalent in the Comité International de Métrologie Légale (CIML), met on 22 February 1996 to consider future relations of the Convention du Mètre and the OIML in the context of future needs of metrology. A second meeting will take place on 27 September 1996, just after the CIPM meeting, and a third in February 1997.

Following an open initial discussion, some CIPM members commented that they have no enthusiasm for a merger between the two organizations and noted that Dr Blevin's study seems to show that trends in legal metrology may not make the OIML the most appropriate partner for many activities. The conclusion reached by the bureau was that good relations and cooperation should be maintained, but that the CIPM should not push for a merger.

After discussion, the CIPM made the following declaration.

The CIPM, having examined the draft report by Dr Blevin on national and international needs relating to metrology, has concluded that the fundamental difference in scope and objectives of the BIPM acting under the Convention du Mètre and the OIML is such that there is no significant overlap in their activities.

In consequence, the CIPM considers that no gain in efficiency or significant saving in cost to member States is to be expected from a merging of the two organizations so, although the many links between the BIPM and

the OIML could be strengthened, it would be best for member States of the two organizations if they were to continue to operate separately.

The CIPM, therefore, directs its representatives on the joint working group of the Convention du Mètre and the OIML to work towards a closer relationship and improved cooperation with the OIML without making it their objective that the two organizations should merge.

In parallel, the BIPM needs to have contact with other international organizations, in particular the bureau of the Comité should promote close liaison with the International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).

## 5. Equivalence of national measurement standards

Dr Quinn presented his note of 12 July 1996 on the international equivalence of national measurement standards. He recalled that one of the tasks of the BIPM is the organization of international comparisons of the national measurement standards of the member States of the Convention du Mètre, either directly or through its Comités Consultatifs. Summaries of the results of these comparisons, with their associated uncertainties, are now published in *Metrologia* under the heading “International reports”. The demand for documented international equivalence of national measurement standards has greatly increased in recent years because of the requirements of accreditation bodies and because there is great international concern to reduce technical barriers to trade. The responses to Dr Quinn’s note show that there is no consensus as yet on how the Comités Consultatifs and the BIPM should proceed in the interpretation of the results of key comparisons. The original proposal to create two “bands” is considered as leading to a certain ranking and discrimination between laboratories, with competition to be seen to be at the higher level. While accepting that this is inevitable, the CIPM considers that the information given to accreditation bodies, such as the ILAC, must be clear and simple.

After extensive discussion, the following proposal was agreed:

- After each of the key comparisons, the weighted mean value of the results, with associated uncertainty, will be determined thus producing an agreed reference value. The results of laboratories participating in these, or linked, comparisons can then be related to this agreed weighted mean. In due course, criteria for a “general equivalence” might be agreed following discussions with Directors of national metrology institutes and the Comités Consultatifs.
- The CIPM will draw up a statement, applying to all key comparisons, explaining clearly and simply what is meant by the equivalence demonstrated when the results reported by a laboratory are related quantitatively to the agreed reference value.

## 6. Comités Consultatifs

Since October 1995, the following Comités Consultatifs have met: the CCQM in February 1996, the CCDS in March 1996, the CCU in April 1996, the CCM in May 1996, the CCEMRI in June 1996 and the CCT in September 1996. The meeting of the CCDS was preceded by a meeting of its working group on TAI, the meetings of the CCM and the CCT were also preceded by meetings of their working groups.

### 6.1 Comité Consultatif pour la Quantité de Matière

Dr Kaarls, President of the Comité Consultatif pour la Quantité de Matière (CCQM), presented the report of the 2nd meeting that took place on 14 and 15 February 1996 at the Pavillon de Breteuil.

The meeting began with an extended discussion on what traceability to the mole really means. It became clear that several members of the CCQM have some difficulty in understanding what, in general, is meant by the concept of traceability and, in particular, what it means when applied to metrology in chemistry. For this reason, provisional definitions have been formulated with respect to:

- traceability to the SI for measurements in chemistry;
- primary methods of measurement;
- primary reference materials.

Traceability to the SI can be realized by applying a primary method or, indirectly, by using:

- other methods which have evaluated uncertainties;
- reference materials having values of the associated quantities with evaluated uncertainties;
- conversion factors, such as, for example, molar masses, the Faraday constant or Avogadro constant, all having evaluated uncertainties.

The second part of the meeting was dedicated to discussion of preliminary reports from the working groups, describing relevant primary methods. Among them are:

- isotope dilution mass spectrometry (IDMS), with protocols for the application of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) and of thermal ionization mass spectrometry (TIMS);
- coulometry;
- gravimetry;
- titrimetry;
- determination of freezing-point depression.

Final reports from the groups will be discussed during the 3rd meeting of the CCQM in February 1997.

The third part of the meeting addressed international comparisons. The comparison of gas mixtures was reported to have made good progress, the majority of the results being satisfactory. The last group of gas mixtures (natural gas) was scheduled to be sent out by the NMi in the second half of 1996. The CCQM decided to organize a comparison of lead in water. It also decided to organize a comparison of an organic compound and chose pp'-DDE (which is one of the major metabolites of DDT, an organochlorine pesticide).

Further the CCQM has decided to draft a strategy document based on the idea that traceability can rely on:

- limited numbers of key reference materials;
- robust, well evaluated methods suited for use with more complex compounds;
- key comparisons.

The CCQM is aware, however, that for some measurements in chemistry it will be very difficult, if not impossible, to realize traceability to the SI. Special problems may also arise with respect to sampling and sample preparation.

Finally, the CCQM is of the view that the BIPM should begin laboratory work in chemistry, choosing activities carefully selected to allow it to acquire knowledge, experience and status, so that the BIPM can be seen as an authority giving guidance to the chemical community on matters of traceability. Dr Quinn said that, after consultation with specialists in the national laboratories, the BIPM will make a proposal to the CCQM at its 3rd meeting in 1997.

The CCQM has consolidated its membership so that it now has representatives from the major bodies with influence in chemistry. Its work is not only at the highest level but also takes account of needs at ground level.

The 3rd meeting of the CCQM will be held in Sèvres on 20-21 February 1997.

Dr Kaarls ended his report by noting that a special issue of *Metrologia* (1997, 34, No. 1) will be devoted to the concept of quantity of material.

## 6.2 Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde

Prof. Kovalevsky presented the report of the 13th meeting of the Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde (CCDS) held at the Pavillon de Breteuil on 12-13 March 1996. This meeting was preceded by a one day meeting of the laboratories contributing to TAI, and, a few weeks earlier, by a meeting of the working group on two-way satellite time transfer.

The first important item was a presentation on progress in atomic standards and clocks. The last three years have seen a remarkable breakthrough in the development of new primary standards:

- The caesium fountain of the BNM-LPTF is currently the standard with the lowest uncertainty ( $3 \times 10^{-15}$ ) and a second prototype is being built to be carried in orbit (PHARAO). Other laboratories building fountains are: the NIST, the NPL, the NRLM, the PTB and the NRC.
- The optically pumped caesium beam at the NIST achieves an uncertainty of  $5 \times 10^{-15}$  and gives frequency measurements in agreement with that of the fountain of the BNM-LPTF. Other standards of the same type are being built at the BNM-LPTF, the LHA, the Politecnico di Torino, the KRISS and the CRL.
- Classical caesium beam standards are being refurbished at the NRC, the PTB and the VNIIFTRI.
- Transportable high-stability hydrogen masers are being built at the VNIIFTRI.
- Work on trapped ions is in progress at the CSIRO, the NIST, the NRC and the Université de Provence (Marseille, France).
- At the PTB and the BNM-LPTF, work on high frequency chains, which shows a stability of  $6 \times 10^{-15}$ , is in progress.

In its Recommendation S 1 (1996), on primary frequency standards, the CCDS asked national metrology institutes to make every effort to provide the human and other resources necessary to maintain as operational facilities the new standards upon which the accuracy of TAI and UTC is based.

The CCDS formed a working group, with Dr Douglas from the NRC as chairman, to study how the accuracy of primary frequency standards should be evaluated in accordance with the ISO Guide.

The CCDS approved the decision of the CCDS working group on TAI to apply a correction for black-body frequency shifts to primary standards, and adopted Recommendation S 2 (1996) on that subject. The correction implies that the TAI rate be modified accordingly; the required change of  $-1,9 \times 10^{-14}$  will be made in steps of amplitude  $1 \times 10^{-15}$  at intervals of two months.

The CCDS heard the reports of the BIPM Time section and of its working groups, and congratulated the section on its work. The BIPM issued a first GLONASS common view schedule.

The CCDS expressed concern that correlations may exist between clocks in the same laboratory, and adopted Recommendation S 3 (1996) which encourages laboratories to study correlations between clocks contributing to TAI.

Dr Klepczynski was appointed as the new chairman of the CCDS working group on two-way time transfer. This technique and GPS seem to be equivalent in terms of stability for time comparisons, but problems of calibration still remain.

In its Recommendation S 4 (1996), the CCDS recommended coordination of the two satellite systems which provide timing, GPS and GLONASS.

The CIPM approved CCDS Recommendations S 1, S 2 and S 3, and decided to adopt Recommendation S 4 on the coordination of satellite systems providing time as Recommendation 1 (CI-1996) (see on p. 145).

*CCDS working group on the application of general relativity to metrology*

Finally, Prof. Kovalevsky reported that the CCDS had held an extended discussion of the report from the CCDS working group on the application of general relativity to metrology and invited Prof. Guinot to present this work to the CIPM.

Prof. Guinot first noted the composition of the working group and its activities. He then pointed out that the need to take account of the curvature of space-time in macroscopic physics appeared with the development of atomic time standards. With the continuing development of these standards, both in research laboratories and in industry, this need is experienced by a growing number of persons. One example is the computation of precise orbits for artificial satellites in space geodesy, with its numerous applications in Earth science.

The space time model in which the SI units are defined is not specified, but the form of their definition suggests that the Newtonian model is assumed. Although only the relativistic interpretation of the definition of the units of time and length is really needed, the group found it useful to extend its discussion to all SI base units.

General relativity was adopted as the relativistic model because it is the simplest and because, so far, it has not led to incompatibility with observations.

The keys to understanding metrology in this framework are the Einstein equivalence principle in local physics, and the distinction between proper quantities and coordinate quantities in extended space domains. This principle states that local physics looks the same, everywhere and at any time, when measurements are referred to local standards and treated in the framework of special relativity. Strictly speaking, this is true only in a free-falling laboratory which is infinitesimally small, but we can accept the approximation of a sufficiently small laboratory which is accelerated, as are laboratories on the ground. In this case, inertial forces must be treated in the same way as other forces, for example electrostatic forces.

What is meant by small enough depends on the accuracy of measurement required. For example, a room like the meeting room is hardly small enough for the best measures of time. It is certainly disturbing that classical metrology may not be possible when extension in space is needed, but it is a limitation we must accept.

The important consequence of the Einstein equivalence principle is that units must be seen as defined on the worldline of the standard which represents them. They are proper quantities of these standards. By extension, one can consider them as proper quantities of a laboratory, if small enough, when they are provided by fixed standards in this laboratory.

Another consequence, which is rarely mentioned, is that physical constants are proper quantities, in local experiments, measured in proper units. This, for example, is the case for  $c$  and  $G$ .

Prof. Guinot said that SI units are defined by local experiments and thus correspond to proper units in the framework of general relativity. When using the units in an extended space domain, one must make sure that the effects of the curvature of space-time remain negligible. (In the near future, it may happen that the metre appears to be too long to be considered as local, but this is not a problem of definition, for the definition can be seen to apply in flat tangent space).

These statements appear simple, but there are frequent misunderstandings; one is to consider that the existence of a gravitational field is a perturbation, to be treated, for example, in the same way as a magnetic field. This is totally wrong in local physics: for example, if one applies a gravitational correction to obtain the local second, the basis for physics collapses.

We are all used to Newtonian space-time where good coordinates can be selected in such a way that they can be measured directly by portable standards, rods and clocks. This is also possible, with some restrictions, in special relativity, but in this case coordinates must be seen as labels attached to events, devoid of any immediate physical meaning. The coordinates are tools, used in the mathematical modelling of physical experiments, and have to be transformed into the proper quantities of an observer. A disturbing problem is that of the dimension and unit of coordinates. According to the rules of quantity calculus these are well defined quantities, with the usual dimensions of time and length, and with the second and the metre as units. However, most members of CCDS working groups, both theoreticians and metrologists, prefer to consider that coordinates carry their own system of “graduation” units. In the report, Prof. Guinot noted that he had introduced the notion of “scale unit” of coordinates to avoid confusion, a practice in conformity with the CCDS terminology for TAI.

A large part of the report is devoted to the metrology of time, stating the definitions and conventions adopted. The report is in agreement with the recommendations of the IAU and the IUGG, based on the work of Kovalevsky and Mueller. It develops the formulae for time and frequency comparisons of distant clocks and frequency standards, and more advanced papers by Petit and Wolf are given in an appendix. The Time section of the BIPM took a very active part in the preparation of the report which will be submitted for publication in *Metrologia*.

At the conclusion of his report, members of the CIPM congratulated Prof. Guinot on the work that had been done.

### 6.3 Comité Consultatif des Unités

Prof. Mills was asked at the 84th CIPM meeting in 1995 to be President of the Comité Consultatif des Unités (CCU) for a period of five years from 1 Janua-

ry 1996. He reported on the 12th meeting of the CCU held at the Pavillon de Breteuil on 16 and 17 April 1996.

Prof. Mills noted that the meeting was devoted mainly to discussion of the 7th edition of the SI brochure (a draft was distributed to CIPM members), and the reports of the working groups created at the 11th meeting of the CCU in 1995 were presented and discussed.

The CCU recognised that the use of the prefixes kilo, mega and giga in information technology to denote powers of 2, namely  $2^{10}$ ,  $2^{20}$  and  $2^{30}$ , continues to cause confusion and recommended, in its Recommendation U 1 (1996), that the CIPM support the efforts of the IEC to find agreed names and symbols for prefixes denoting powers of 2 for use in information technology. The CCU did not wish to refer to this problem in the SI brochure. This recommendation was adopted by the CIPM as Recommendation 2 (CI-1996) (see on page 146).

Working group 1 reported on the neper and the bel, units that are not mentioned in the 6th edition of the SI brochure (1991). The CCU now recommends that these units be included in the new SI brochure in Table 6 “Units accepted for use with the International System”, the neper as a special name for dimensionless unit 1 and the bel as a non-SI unit. The CCU recommended that the CIPM submit to the Conférence Générale the proposal that the neper be transferred to Table 3 “SI derived units with special names and symbols”.

Working group 2 reported on the gon, a unit of plane angle. After discussion, the CCU decided not to include the gon in the SI brochure.

Working group 3 reported on the possibility of defining additional SI prefixes to denote, in steps of 1000, powers of 10 extending to  $10^{48}$  and  $10^{-48}$ . There was no consensus and the CCU decided to continue its investigation of the subject.

Working group 4 presented a draft for a new section of the SI brochure on rules for expressing the values of quantities in SI units entitled “The writing of SI unit names and symbols, and the values of quantities”. The text is now in agreement with the latest editions of standards ISO 31 and ISO 1000.

Referring to the SI brochure, Prof. Mills noted that Chapter 1 “Introduction” had been revised to take account of the contribution of Giorgi to metrology and a paragraph had been added on the implications of relativistic effects for SI units. Chapter 4, on units outside the SI, was the subject of a lengthy discussion and was consequently revised. A few words of introduction were added to Chapter 4 to indicate the advantages of using the units of the SI.

The CIPM approved the broad lines of the modifications described by Prof. Mills.

Dr Quinn said that the CCU proposed that the CIPM give him authority, with Prof. Mills and Dr Blackburn, to go ahead with publication of the SI brochure. The CIPM agreed.

Prof. Moscati suggested that the text on the Josephson and quantum Hall constants in Appendix 2 of the SI brochure be modified to take account of the

adjustment of fundamental constants by CODATA in 1997. Prof. Kovalevsky replied that the choice of fundamental constant is arbitrary and not relevant to the SI. Dr Quinn added that even if the latest values of the fundamental constants  $e$  and  $h$  were to change, no change would be required in the conventional values for  $K_J$  and  $R_K$ . Prof. Mills expressed disapproval of Prof. Moscati's proposal, as the SI brochure is not directed to specialists and academics.

#### **6.4 Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées**

The Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées (CCM) held its 6th meeting on 29–31 May 1996, at the Pavillon de Breteuil. Its President, Dr Iizuka, presented the main topics discussed.

Prior to the meeting, the President asked each working group of the CCM to identify key comparisons by referring to the paper prepared by Dr Quinn on equivalence of national measurement standards. Discussions took place in the working group meetings held before the CCM meeting. The conclusions agreed by the working groups on mass and pressure were approved by the CCM.

The activity of the CCM relies largely on seven working groups, whose members are specialists in each field. The main points considered at the meeting were:

##### *Mass and balance club*

The international comparison of stainless steel 1 kg standards is under way; two packages, each containing two mass standards, are being circulated among two groups of laboratories. The contamination and cleaning of both stainless steel standards and Pt-Ir prototypes have been studied. Evaluation of the buoyancy correction and a new method of volume measurement of mass standards were also reported. As for the key comparisons, the CCM agreed to measure stainless steel standards of masses 100 mg, 1 g, 10 g, 100 g, (1 kg) and 10 kg and decided to repeat the comparisons once every five or six years. The PTB is the pilot laboratory except for 1 kg comparisons where the BIPM is the pilot laboratory. The proposal to add a 50 kg standard to the comparison will be investigated.

##### *Density*

The working group on density reported the recent up-grading of the diameter measurement of SI spheres at the CSIRO-NML. The present state of the available data on the density of pure water was identified. The group agreed to publish the formulation of the new density table after hearing the opinions of external specialists.

As regards the density of air, the PTB reported the comparison of density measurements organized by EUROMET using three kinds of sinker.

The BIPM reported on the humidity gradient within the chamber of the balance and its effect on measurements of air density. The primary standard for

the calibration of hygrometers and possible re-determination of the density of mercury were discussed.

### *Force*

The working group on force discussed the input parameters for estimation of the uncertainty of force-calibrating machines and the improvement of a so-called built-up system for force standards above 500 kN. The group is still collecting the data of bi- and multi-lateral comparisons of force standards and is well prepared to organize key comparisons in the ranges 2 kN to 20 kN, 100 kN to 1 MN and 1 MN to 10 MN.

### *Pressure*

The comparison of liquid pressure up to 500 MPa organized by the working group on high pressure continues in Asia and North America with the NRLM as pilot laboratory. A new comparison in gas media and gauge mode from 0,05 MPa to 1 MPa (with possible extension up to 7 MPa) is in preparation.

The working group on medium pressure studied the report of the comparisons in the range 10 kPa to 140 kPa presented by the NPL, and decided to repeat them with a more stable transfer standard. The selection of air-piston gauges for the future comparisons was discussed extensively.

The working group on low pressure reviewed the results of a preliminary comparison of high-vacuum pressure from  $10^{-9}$  Pa to  $10^{-3}$  Pa presented by the PTB. For the comparison in the range 1 Pa to 1000 Pa two kinds of transfer standard were tested, but the stability was insufficient and it was decided to investigate the stability and the method of transportation of the gauges once again. A comparison of differential pressure measurements up to 1000 Pa by EUROMET was reported by the NPL.

At a joint meeting, the three working groups on Pressure decided to recommend a list of key comparisons, ranging from  $10^{-6}$  Pa (absolute) to 1 GPa (gauge).

### *Avogadro constant*

Member laboratories discussed the reason for the discrepancy between the molar mass of silicon spheres coming from different sources, but no conclusion was reached. It was agreed to evaluate the effects of defects in silicon crystals, distortion of the surfaces of silicon spheres, isotopic compositions, improvements in lattice spacing measurements etc., by identifying the source of silicon crystals used for the experiments. In view of the long-term goal of this working group, it was agreed to re-name it the working group on the Avogadro constant instead of the *ad hoc* working group.

After the reports of the working groups, their membership was reconfirmed and some changes were accepted. An overview of recent studies leading to a possible new definition of the kilogram was then presented by Dr Gläser of the PTB.

Dr Tilford of the NIST (Gaithersburg) noted that many units widely used in manometry lie outside the SI, and the conversion factors are often stated with unrealistic precision. He proposed a declaration to bring this to the attention of the pressure community. The proposal was supported by the committee, and the following declaration was adopted unanimously.

The Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées (CCM) notes that a multiplicity of poorly-defined and misapplied units of pressure outside the SI are a significant problem for pressure metrology. This problem is particularly serious for the so-called manometry units, pressures expressed in terms of the height of a column of liquid. Some published pressure unit conversion factors are specified with a precision significantly exceeding the practical realization of the unit.

Pressure unit conversion texts and tables explicitly should note that manometry units depend on an assumed liquid density and acceleration of gravity. The precision of conversion factors for these units should be limited by the needs of current technology and the basic uncertainties in the liquid densities; 1 in  $10^5$ , or six digits, for millimetres and inches of mercury ( $0\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $g = g_n = 9,806\ 65\ \text{m/s}^2$ ), and 1 in  $10^4$ , or five digits, for all other such units. Archaic units such as conventional units should be excluded from conversion tables.

The CCM is of the opinion that the use of SI units should be strongly encouraged.

It was decided that the next CCM meeting should be held in May 1999.

## 6.5 Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants

Prof. Moscati presented a brief report on the 14th meeting of the Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CEMRI) that was held at the Pavillon de Breteuil on 27 and 28 June 1996. A report was presented by each section.

Section I (X and  $\gamma$  rays, electrons) reported on comparisons of air kerma standards and absorbed dose to water standards and discussed the work on standards for radiation protection and radiotherapy. Members of Section I considered that the BIPM should have a role in comparisons and calibrations in the field of high-energy photons and electrons, even though the BIPM does not have a linear accelerator. A recommendation was adopted in favour of a system based on a set of ionization chambers to be maintained at the BIPM. Members were asked to reconsider the uncertainties associated with various physical quantities used for establishing air kerma standards. A working party was formed to collect the results of all past comparisons performed at the BIPM and under the auspices of EUROMET, with a view to publication in *Metrologia*.

Section II (Measurement of radionuclides) considered comparisons of radionuclide activity measurements and possible developments of the Système Inter-

national de Référence (SIR), which is now some twenty years old. A working group was established to examine the implications of equivalence and traceability for radioactivity standards and to draw up guidelines for the establishment of equivalence between laboratories. Problems were reported on the joint procurement of radionuclides. The working group on source preparation was dissolved and its work was taken over by the working group on the extended SIR. It was accepted that the working group on principles of the coincidence method will probably cease its work following the retirement of Dr Müller.

Section III (Neutron measurements) reviewed progress on comparisons of fast and thermal neutron measurements. Recognizing the need for quality assurance of measurement standards, Section III considered it necessary to review the basis of the standards for neutron metrology and their uncertainties, in order to demonstrate traceability to primary standards and clarify the need for further comparisons. The decision to cease work on neutron metrology at the BIPM posed some problems for Section III, but it takes the view that world-wide consistency in neutron measurements should be maintained by comparisons among member laboratories.

The staff of the Ionizing radiation section of the BIPM presented their recent and future work. The issue of equivalence of national measurement standards and traceability was discussed. The membership of the three Sections was discussed and dates were agreed for their next meetings. The next CCEMRI meeting will be held on 7 and 8 July 1997.

## 6.6 Comité Consultatif de Thermométrie

The 19th meeting of the Comité Consultatif de Thermométrie (CCT) took place at the Pavillon de Breteuil from 18 to 20 September 1996 under the presidency of Dr Quinn. The meeting opened with a brief account by Dr Quinn of the life and work of Luigi Crovini. He then presented the special issue of *Metrologia* (1996, **33**, No. 4) on thermometry dedicated to Luigi Crovini and thanked the many members of the CCT who had contributed to this issue.

The first part of the meeting was devoted to a broad review of the operation of ITS-90: its fixed points, interpolating instruments, new information on the differences  $T - T_{90}$  and the non-uniqueness of the scale in its various ranges.

There then followed discussion of the reports of the four CCT working groups. The topics assigned to these are:

- the defining fixed points and interpolating instruments of the ITS-90 and updating of the CCT document *Supplementary Information for the ITS-90* (working group 1);
- the secondary fixed points, techniques for approximating the ITS-90 and updating of the corresponding CCT document (working group 2);
- international traceability, publication of the results of comparisons and procedures for estimating uncertainty (working group 3);
- determinations of thermodynamic temperature and extension of the ITS-90 to lower temperatures (working group 4).

The CCT proposed to the CIPM Recommendation T 1 (1996), on the extension of the ITS-90 to lower temperatures.

In addition, reports were presented on the meetings of two other working groups, the CCT working group on the measurement of humidity, created since the 18th meeting of the CCT, and the joint CCT/CCPR working group on the measurement of thermodynamic temperatures at high temperature.

Dr Quinn gave an account of the various comparisons now under way, in particular the work aimed at improving the presentation of the uncertainties in humidity measurements. He also reported on the meeting of the joint CCT/CCPR working group. A Recommendation derived from this report was adopted by the CCT for presentation to the CIPM.

The terms of reference, chairmanship and membership of the working groups were examined. The chairmen were all asked to continue, various changes in membership were agreed. The terms of reference of working groups 1, 2 and 4 were left unchanged, but those of working group 3 were modified. These now read as follows:

- to collect documented information on comparisons and summarize results;
- to keep under review the list of key comparisons agreed by the CCT and to propose complementary comparisons if they become necessary;
- to advise upon procedures to estimate uncertainties.

The membership of this working group was enlarged to give it a wider geographical coverage: it now includes representatives from laboratories in all the presently active regional metrology organizations. It was agreed that Dr Quinn will write to the coordinators of regional metrology organizations asking that the thermometry groups in these organizations keep the chairman of working group 3 informed of regional comparisons being carried out in thermometry.

An extended discussion took place on key comparisons in thermometry, their role in establishing international equivalence of national temperature standards and the interpretation of their results. This discussion was based on the document by Dr Quinn and the report of working group 3. The need to identify and carry out key comparisons in thermometry was accepted. Five comparisons were chosen and pilot laboratories appointed; these comparisons are:

- Rh-Fe thermometers in the range from 0,65 K to the triple point of Ne at about 27 K (pilot laboratory: NPL);
- Pt resistance capsule thermometers in the range from 13,8 K (triple point of e-H<sub>2</sub>) to the triple point of water (pilot laboratory: NRC);
- fixed points in the range from the triple point of Ar to the freezing point of Zn (pilot laboratory: NIST);
- the Al and Ag points together with the triple point of water (pilot laboratory: IMGC);
- vacuum tungsten strip lamps in the range from 960 °C to about 1700 °C (pilot laboratory: NMi).

Members of the CCT wishing to take part were identified. As a preliminary step, it was agreed that the pilot laboratories, in collaboration with working

group 3, will draw up a list of the principal components of the uncertainty for each type of comparison and agree a procedure for carrying out the comparisons in consultation with the participating laboratories. This stage is due for completion by March 1997. The comparisons will be started soon after with the aim of completing them by the end of 1998, in time for the results to be examined at the 20th meeting of the CCT in May or June 1999.

This meeting of the CCT was very productive: a great deal of work was initiated and it was clear that members felt that the CCT has an important role to play in advancing thermometry and in establishing international equivalence of measurement standards in this field. Discussion of the results of the key comparisons and how these can best be presented to those that need to use them will be the most important topics for the next meeting.

Although broad decisions on how the results of key comparisons should be interpreted are likely to be taken by the CIPM in consultation with accreditation bodies, the discussion of the specific results will, of course, take place in the *Comités Consultatifs*.

Dr Quinn read Recommendation T 1 (1996) on the temperature scale below 1 K, and Recommendation T 2 (1996) on the temperature of black-body sources above 2500 K. Recommendation T 1 was adopted by the CIPM as Recommendation 3 (CI-1996) (see p. 147) and Recommendation T 2 was approved.

### 6.7 Future meetings of the *Comités Consultatifs*

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

CCDM	16-18 September 1997
CCDS	1999
CCE	24-26 June 1997 preceded by the GT-RF meeting on 23 June 1997
CCEMRI	7-8 July 1997
	Section I: 14-16 April 1997
	Section II: 23-25 April 1997
	Section III: 21-22 April 1997
CCM	1999
CCPR	10-11 June 1997
CCQM	20-21 February 1997
CCT	1999
CCU	no date for the moment

### 6.8 Presidency of the *Comités Consultatifs*

Following the resignation of Dr Clapham, the President of the CIPM proposed that Dr Chung Myung Sai became President of the CCDM; this was agreed. Prof. Kind then informed his colleagues that he will resign from the presidency

of the CCE on leaving the CIPM. He proposed that Dr Göbel, President of the PTB, succeed him as President of the CCE; this was agreed. Dr Blevin announced his intention to quit the presidency of the CCPR and proposed Dr Wallard as his successor; this was agreed. Since the death of Prof. Crovini, the CCT has had no President and Dr Quinn therefore agreed to be its President for the time being.

## **7. Work of the BIPM: Report of the Director**

### **7.1 Work of the BIPM**

The President opened the session and welcomed the scientific staff. He said it was a duty and pleasure for CIPM members to have an opportunity to hear the staff describe their work.

Dr Quinn said that presentations would follow the order of the Director's report and added that a visit to the laboratories was scheduled for the afternoon. There then followed the presentation of the work by members of the staff of the BIPM (see full text in the Director's report).

Dr Quinn concluded by noting that all these presentations illustrate the important role played by the BIPM in international comparisons and the equivalence of national measurement standards. The President thanked the Director and members of the staff for their excellent presentations.

### **7.2 Dépôt des prototypes**

The visit to the depository of the metric prototypes took place on Wednesday 25 September 1996. The following report was made at the time of the official visit to the depository in which the metric prototypes are kept:

#### **Visit to the depository of the metric prototypes**

##### **RECORD**

On 25 September 1996, at 17 h 30, in the presence of the President of the Comité International des Poids et Mesures, of the Director of the Bureau International des Poids et Mesures and of the representative of the curator of the Archives de France, the visit to the depository of the metric prototypes at the Pavillon de Breteuil took place.

The three keys necessary to open the depository had been assembled: the key entrusted to the care of the Director of the Bureau International, the one deposited at the Archives Nationales in Paris which Madam L. Favier had brought, and finally the one kept by the President of the Comité International.

The two iron doors of the vault having been opened as well as the safe, we observed the presence in the latter of the prototypes and their official copies (*témoins*).

The following indications on the measuring instruments placed in the safe were noted:

temperature	:	24,0 °C
maximum temperature*	:	24,5 °C
minimum temperature*	:	20,5 °C
relative humidity	:	61 %

We then locked the safe as well as the doors of the vault.

The Director  
of the BIPM,  
T.J. QUINN

For the curator  
of the Archives de France,  
L. FAVIER

The President  
of the CIPM,  
D. KIND

The Director reported to the CIPM that a sudden and serious problem of water infiltration had occurred in the region of the lower vault. He proposed that the International Prototypes be moved to the upper Caveau until the problem could be resolved. The CIPM agreed and authorized the transfer to be made and Madam Favier was asked to leave her key in the charge of the Director until further notice. This, she agreed to do.

## 8. Administrative and financial affairs

### 8.1 Administrative and financial affairs

The President welcomed Madam 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 1995*, together with the report of the auditors for 1995. He noted that, following comments made by the German Ministry of Economics that the same firm of auditors should not be used for too long, the BIPM has changed its auditors. The reports were approved unanimously and the required formal discharge was given to the Director of the BIPM for 1995.

The progress report on the provisional budget for 1996 was presented and approved.

A draft budget for 1997 was presented and approved.

The last document submitted to the CIPM was the *Tableau de répartition de la dotation pour 1997* in the *Notification des parts contributives*.

The upkeep of the buildings and an outline proposal for a new building for use as a mechanical workshop, offices and a meeting room on the site of the "Neutron" building were discussed. Different projects are envisaged, their overall cost varying between 6 million gold francs and 11 million gold francs. A final proposal will be put to the CIPM at its meeting in 1997.

---

\* Since last visit.

BUDGET FOR 1997

INCOME

	gold francs
<i>Budgetary income:</i>	
1. Contributions from the States .....	27 144 000
2. Interest on capital .....	1 285 000
3. Verification taxes and other income .....	195 000
Total .....	<u>28 624 000</u>

EXPENDITURE

A. *Staff expenses:*

1. Salaries .....	11 889 000	}	18 092 000
2. Family and social allowances .....	2 408 000		
3. Medical insurance .....	1 148 000		
4. Industrial injuries insurance .....	47 000		
5. Pension fund .....	2 600 000		

B. *Operating expenses:*

1. Laboratories and workshop .....	1 436 000	}	4 376 000
2. Heating, water, electrical energy .....	494 000		
3. Insurance .....	82 000		
4. Publications .....	290 000		
5. Office expenses .....	615 000		
6. Travel expenses and freight charges .....	625 000		
7. General maintenance .....	448 000		
8. Library .....	338 000		
9. Bureau du comité .....	48 000		

C. *Capital expenditure* ..... 4 039 000

D. *Buildings* ..... 1 274 000

E. *Miscellaneous and unforeseen expenses* ..... 843 000

Total ..... 28 624 000

## **8.2 Family allowances**

Dr Quinn made a proposal to increase BIPM family allowances by 3,5 % on 1 January 1997, to bring them to the same level as those in the Coordinated Organizations. The Secretary supported this proposal, which was approved by the Comité.

## **8.3 Metrologia**

Dr Blackburn, its editor, was invited to join the CIPM meeting for the discussion of *Metrologia*. He was pleased to report that, although it had been a heavy year with about 1000 pages published, the journal was now up to date. He mentioned problems with the special issue on NEWRAD'94 (1996, **32**, No. 6) for which too many of the papers accepted were of marginal quality; he remarked that in future issues of this kind it will be essential to ask guest editors to be more selective. The number of subscribers remains stable, and some publicity is undertaken. Large scale publicity, however, is prohibitively expensive and, given the specialist nature of the journal, is unlikely to be cost effective. The possibility of gaining visibility by putting *Metrologia* on the Internet is under consideration. This idea was supported by the CIPM.

Although *Metrologia* does not completely cover its costs, members of the CIPM supported the idea that *Metrologia* is not a commercial journal, and that a small loss is acceptable. The publication of results of international comparisons is helpful to accreditation bodies and may bring additional subscribers. The President thanked Dr Blackburn for his work.

# **9. Membership of the CIPM**

## **9.1 Membership of the CIPM**

The President reminded members that he has retired from the PTB and it is his intention to retire from the CIPM on 31 December 1996. Prof. Skákala, who resigned his position as Vice-President after the CIPM meeting in 1995, also announced his intention to resign from the CIPM on 31 December 1996. With the death of Prof. Luigi Crovini, there will be three vacancies on the CIPM.

## **9.2 Election of the bureau of the CIPM**

The President said that his forthcoming retirement and the sad loss of Luigi Crovini means that a number of changes must take place in the bureau of the CIPM. He then proposed Prof. Kovalevsky for President of the CIPM and Dr Blevin for Secretary. Dr Blevin had intended to retire from the CIPM but, under the circumstances, agreed to serve as Secretary until the next Conférence

Générale. The bureau proposed that the consequent vacancy of Vice-President be filled by Dr Gebbie.

With the three candidates absent from the room, the CIPM discussed the proposals and, on their return, proceeded to a secret ballot, with the result that the bureau of the Comité, from 1 January 1997, will comprise:

*President:* J. Kovalevsky

*Vice-presidents:* K. Gebbie  
K. Iizuka\*

*Secretary:* W.R. Blevin

Prof. Kovalevsky thanked his colleagues for the honour they had accorded him and said he was pleased to be the first Frenchman to follow André Danjon as President of the CIPM. He remarked that André Danjon had been his chief at the Observatoire de Paris after being his professor of astronomy and had been a very distinguished President of the CIPM. His objective now is to be equally good. His immediate challenge, however, was to succeed Prof. Kind who, as President of the CIPM, presided over a very bright period in the history of the BIPM with the transfer of TAI from the BIH to the Time section of the BIPM, the adoption of the recommendations on the representation of the volt and the ohm based on the Josephson and the quantum Hall effects, agreement on the International Temperature Scale of 1990 and the creation of the CCQM. Together with successive Directors of the BIPM, Prof. Kind fought for recognition of the importance of international cooperation in metrology and has been the most respected personality in the field. CIPM members, in particular, are going to miss his universal knowledge of metrology and his kindness. He thanked Prof. Kind for all he has done and ended by wishing him many active and happy post-Presidential years.

Prof. Kind thanked Prof. Kovalevsky, and said he spent twenty years as a member of the CIPM, as Vice-President and as President, and had always tried to do his best. He then handed over the keys of the depository of the prototypes to the new President. He thanked Prof. Skákala for his contribution to the CIPM, as a member for sixteen years and as a Vice-President since 1985.

Dr Gebbie thanked her colleagues for their confidence in her and said she would work very hard to fulfil her duties as Vice-President.

Dr Blevin said it had been his intention to retire from the CIPM at the end of the meeting, but he had been pressed to stay and serve as Secretary. He accepted with enthusiasm and with the strong support of the CSIRO.

## 10. Other business: next CIPM meeting

The CIPM decided that the dates of the next CIPM meeting will be as follows:

23-25 September 1997.

---

\* K. Iizuka was elected Vice-President of the CIPM at the 84th meeting of the CIPM in 1995.

Before leaving, the President said a final word to Miss Monprofit, who will retire before the next CIPM meeting. He said it was hard to imagine work at the BIPM without Miss Monprofit: she had always been very helpful, had offered all her competence to her task and had done much to enhance the good image the world has of the BIPM and the CIPM. Dr Quinn recalled that she was engaged at the BIPM in 1963 and had participated in every CIPM meeting since then. He thanked her for all she has done.

The President closed the 85th 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 85th meeting**

---

Coordination of satellite systems providing timing

RECOMMENDATION 1 (CI-1996)

The Comité International des Poids et Mesures,

*considering*

- the international value of having both Global Positioning System (GPS) and Global Navigation Satellite System (GLONASS) operational with a composite contribution of 48 satellites,
- the desirability of using either or both systems interchangeably,
- that currently significant time differences exist between the two systems,
- that significant differences exist in the coordinate reference frames used for each,
- that other important satellite timing systems are now being designed and developed,

*recommends*

- that the reference times (modulo 1 second) of satellite navigation systems with global coverage\* be synchronized as closely as possible to UTC,
- that the reference frames for these systems be transformed to be in conformity with the terrestrial reference frame maintained by the International Earth Rotation Service (ITRF),
- that both GPS and GLONASS receivers be used at timing centres.

---

\* Such as Global Positioning System (GPS), Global Navigation Satellite System (GLONASS), International Maritime Satellite Organization (INMARSAT), Global Navigation Satellite System 1 (GNSS1), Global Navigation Satellite System 2 (GNSS2).

Binary multiples of units used in information technology

RECOMMENDATION 2 (CI-1996)

The Comité International des Poids et Mesures,

*considering*

— that the Conférence Générale des Poids et Mesures has adopted a series of prefixes to be used in forming the decimal multiples and sub-multiples of SI units,

— that there is an increasing need in information technology to express multiples of units such as the bit and byte,

— that the use of the SI prefixes in information technology to express binary multiples of such units leads to confusion,

*recalling* that the SI prefixes represent strictly powers of ten,

*noting* that work is under way, notably within the International Electrotechnical Commission (IEC) but also in other organizations, aimed at finding alternative ways of expressing binary multiples,

*strongly supports* the IEC in its efforts to reach agreement on names and symbols for prefixes denoting powers of two for use in information technology world-wide.

Temperature scale below 1 K

RECOMMENDATION 3 (CI-1996)

The Comité International des Poids et Mesures,

*considering*

— that many important research activities are in progress at temperatures below 1 K,

— that these researches require an accepted temperature scale which closely represents thermodynamic temperatures,

— that the ITS-90  $^3\text{He}$  vapour pressure equation is believed to deviate from thermodynamic temperatures between 1 K and its lower limit of 0,65 K,

*noting* that several discrepant laboratory scales below 0,65 K have been developed,

*recommends*

— that the deviation of the ITS-90  $^3\text{He}$  vapour pressure equation from thermodynamic temperature below 1 K be further investigated,

— that research be undertaken to resolve discrepancies between existing  $^3\text{He}$  melting pressure scales,

— that national laboratories collaborate to develop a  $^3\text{He}$  melting pressure equation to serve as the basis for an extension of the ITS-90 down to a temperature of about 1 mK.

---



---

DIRECTOR'S REPORT  
ON THE ACTIVITY AND MANAGEMENT  
OF THE BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES  
(October 1995 — September 1996)

---

I. — STAFF

*Promotions and changes of grade*

Mireille BOUTILLON, *physicien chercheur principal*, was appointed Head of the Ionizing radiation section from 1 May 1996.

Roland GOEBEL, *assistant*, was promoted to the grade of *physicien* from 1 January 1996.

Lennart ROBERTSSON, *physicien*, was promoted to the grade of *physicien principal* from 1 January 1996.

François DELAHAYE, *physicien principal*, was promoted to the grade of *physicien chercheur principal* from 1 January 1996.

Richard DAVIS, *physicien principal*, was promoted to the grade of *physicien chercheur principal* from 1 January 1996.

These last three changes resulted from a decision of the CIPM during its meeting of October 1995.

*Appointments*

Carine MICHOTTE, born 11 July 1968 in Uccle (Belgium), previously assistant in the Nuclear Physics unit of the Université Catholique of Louvain (Belgium), was engaged as *physicien* in the Ionizing radiation section from 1 February 1996.

David Thomas BURNS, born 30 September 1959 in Bellshill (United Kingdom), previously Head of the Linear Accelerator and Electron Beam Dosimetry Section at the National Physical Laboratory (United Kingdom), was engaged as *physicien* in the Ionizing radiation section from 18 March 1996.

*Research fellow*

Leonid VITUSHKIN, Research fellow in the Length section since August 1993, has had his fellowship extended until February 1998.

*Research student*

Bénédicte ROUGEAUX, born 20 December 1972 in Saint-Dizier (Haute-Marne), was appointed as a postgraduate Research student in the Time section

from 1 January 1996 for a period of three years, supported in part by the Centre National d'Études Spatiales (France).

### *Departures*

Akihiko SAKUMA, *physicien principal*, retired on 31 March 1996 after 36 years of devoted and distinguished service that added much to the reputation of the BIPM in the field of gravimetry.

Georg MÜLLER, *physicien chercheur principal*, Head of the Ionizing radiation section, retired on 30 April 1996 after 29 years of devoted and distinguished service concerned with radioactivity measurements. In addition to many papers in his own field, he also made an important contribution to the *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*.

Louis LAFAYE, *technicien principal*, retired on 31 July 1996 after 34 years of devoted and effective service.

## II. — BUILDINGS

### *Observatoire*

- Redecoration of the photometry laboratory.
- Repainting of the exterior and the corridor.
- Repair of the roof of the Nouvel Observatoire.

### *Laser building*

- Extension of the glass-blowing workshop.

### *Neutron building*

- Study of the conversion of the building for future use as a mechanical workshop.

### *Outbuildings and park*

- Repair of part of the boundary fence.
- Relaying of the asphalt of the courtyard.
- Replacement of exterior lighting.

## III. — SCIENTIFIC WORK

### **1. General introduction**

In the Comités Consultatifs and at the BIPM, the pressure to increase the number and range of international comparisons is now clearly felt. In the field

of length, for example, six grouped comparisons involving twenty-one national laboratories have been completed and the results have been submitted for publication in *Metrologia*. Summaries of these comparisons will appear in *Metrologia* (1996, **33**, 271-287) in the second "International Report" listing the results of BIPM comparisons. Included also will be summaries of comparisons of Josephson and quantum-Hall standards, the results of the comparison of spectral responsivity of silicon photodiodes and ionizing radiation standards, as well as notes on the deviations of national time scales from UTC.

In the Length section two stabilized argon lasers, one using the FM-sideband and the other the third-harmonic technique, have been compared. The measured frequency difference was less than the measurement uncertainty. This is an important result since it indicates that no frequency changes are introduced when the laser stabilization technique is changed. The first tests on radiation from a doubled Nd:YAG laser at  $\lambda \approx 532$  nm confirm its potential as a future recommended radiation, and justify the priority put on its development this year. The modulation transfer technique has been tried with success on He-Ne lasers at  $\lambda \approx 543$  nm; these lasers will also be compared with others at  $\lambda \approx 543$  nm stabilized using the usual third-harmonic technique. Collaboration continues with the ENS, the BNM-LPTF and the BNM-INM (France): an absolute frequency determination of the 5S–5D two-photon transitions in rubidium at  $\lambda \approx 778$  nm was carried out in January 1996 with a combined uncertainty of 2 kHz (5 parts in  $10^{12}$ ). The priority given to the double YAG lasers has led the BIPM to reduce its activity on CO<sub>2</sub> lasers at  $\lambda \approx 10,6$   $\mu\text{m}$ . Using the BIPM FG5 absolute gravimeter, the various stations used during international comparisons of absolute gravimeters have been measured and the results obtained are more consistent than those obtained using relative gravimeters at the time of the last international comparison.

The international comparison of 1 kg stainless-steel standards initiated by the CCM is continuing and is due for completion early in 1997. The stability of the transfer standards appears to have been adequate during the first year of the comparison. In parallel with this work, the Mass Section has continued an extensive search for possible biases due to the balance used. The continuing studies of anelasticity in metals are now focused on torsion strips. A phenomenon that may prove exploitable in measurements of the gravitational constant has been rediscovered. A prototype apparatus to test the applicability of this phenomenon has been constructed and shows promising results.

The reference time scales TAI and UTC have been computed regularly and published in the monthly *Circular T*. Since January 1996, following a decision of the CCDS, TAI and UTC have been calculated at intervals of five days, instead of the ten days previously used, to allow more efficient prediction of TAI and UTC for real-time needs. The receipt of data from primary frequency standards of significantly increased accuracy has reinforced the need to improve all aspects of the calculation of TAI, from the comparison of clocks to the detailed treatment of the data at the BIPM.

Two comparisons of 1 V Josephson voltage standards using the BIPM transportable apparatus took place, at the NIM (People's Rep. of China) and the SP (Sweden). The transportable quantum Hall effect (QHE) resistance standard apparatus, including cryostat, magnet and resistance bridge, was taken to the PTB (Germany) where the third on-site comparison of QHE standards was carried out. The results demonstrate agreement between measurements made with the two systems to within a few parts in  $10^9$  with a combined relative total standard uncertainty of about the same value. The transportable Josephson effect and the transportable QHE apparatus are both capable of providing traceability between laboratories with uncertainties one order of magnitude or more less than is possible with conventional travelling standards. An important development is under way in the programme of bilateral comparisons of electrical standards. For this purpose, one ohm travelling standards, made by the CSIRO-NML (Australia), and Zener-diode voltage standards are being purchased. These will be sent from the BIPM to participating laboratories for bilateral comparisons. Considerable progress has been made in the assembly of an impedance bridge which will serve to link the quantized Hall resistance to the impedance of the capacitors that will serve as the BIPM's reference standards.

Following the decisions of the 1994 meeting of the CCPR, the BIPM is currently acting as pilot laboratory for two international comparisons in the fields of radiometry and photometry. One concerns cryogenic radiometers, the other the luminous responsivity of photometers. For the comparison of cryogenic radiometers, which will be an indirect comparison, a set of fourteen so-called tunnel trap detectors is being constructed at the BIPM. These will act as transfer instruments for the comparison in conjunction with the existing reflection traps. The BIPM will also participate in a CCPR comparison of luminous flux and luminous intensity, using lamps. The BIPM cryogenic radiometer was taken, for the first time, to another laboratory, the PTB, where a satisfactory comparison was carried out with a cryogenic radiometer from another manufacturer. Work has begun on a radiometric realization of the candela to be based on the cryogenic radiometer. In the field of thermometry, the international comparison of triple point of water cells has been completed; results were presented to the CCT in September 1996. Although most laboratories appear to agree to within their standard uncertainties, generally about 0,1 mK, some larger differences were observed and the stability of the cells was not as good as expected. Following a decision of the CCM to begin an international comparison of pressure standards in the atmospheric pressure range, in which the BIPM will participate, the BIPM is purchasing a ceramic-piston pressure balance for use in the comparison.

The work of the Ionizing radiation section continues to be dominated by international comparisons in x-ray dosimetry,  $\gamma$ -ray dosimetry and radioactivity, and by the need to calibrate secondary standards for countries having no primary standards. In dosimetry, supporting research work has been carried out to improve the determination of the correction factor for electron loss and photon

scatter in free-air chambers, and so to determine ion recombination coefficients for various ionization chambers. Six comparisons of air kerma have been made, one in the soft x-ray beam, two in the  $^{137}\text{Cs}$  beam and three using the  $^{60}\text{Co}$  source. Final measurements are being made in Japan for the international comparison of neutron fluence measurements which use Bonner spheres as transfer instruments. This comparison is due to be finished by the end of 1997. In the field of radioactivity measurements, the trial comparison, among six laboratories, of measurements of  $^{204}\text{Tl}$  has been completed and the full scale comparison will begin before the end of 1996. The results of a trial comparison of measurements of the activity of  $^{192}\text{Ir}$  are being analysed. The BIPM participated in a EUROMET comparison of measurements of the activity of  $^{63}\text{Ni}$  and  $^{55}\text{Fe}$ . During the year, nine laboratories sent ampoules for standardization by the SIR. A new study has begun to identify and quantify radionuclides that may contaminate the ampoules used in international comparisons of the activity of radionuclides. With the retirement of J.W. Müller, the long series of studies at the BIPM on counting statistics has come to an end with a short note on the determination of prime numbers.

The publications of the BIPM provide an essential link between the BIPM, the CIPM, the Comités Consultatifs and the metrological community. They are addressed to national metrology institutes, to standardization and accreditation bodies and to the wider community interested in accurate measurement and the development of the SI. Certain BIPM publications are addressed directly to governments of member States of the Convention du Mètre. The publication in *Metrologia* of summaries of international comparisons of measurement standards carried out by the BIPM, its Comités Consultatifs and the regional metrological cooperations has been widely welcomed. The publication of these results is an essential part of the BIPM programme to establish open, documented international traceability or equivalence between national measurement standards. Plans are now well advanced to establish a BIPM home page on the world wide web so that this, and other information on the BIPM and its activities, can reach an even wider audience. At a less formal level, the first of a regular series of newsletters specific to each of the sections at the BIPM has recently been distributed. The length and laser newsletter was distributed at the CPEM meeting held in June 1996 and sent to the many individuals in national laboratories with whom the BIPM Length and laser section maintains contact.

## **1.1 Publications, lectures, travel not directly related to individual sections**

### **1.1.1 External publications**

1. QUINN T.J., News from the BIPM, *Metrologia*, 1996, **33**, 81-89.
2. QUINN T.J., Results of recent international comparisons of national measurement standards carried out by the BIPM, 1996, *Metrologia*, 1996, **33**, 271-287.

3. QUINN T.J., HIMBERT M., Mesurer : unités et incertitudes, *La Mesure : Actes des 7<sup>e</sup> entretiens de la Villette*, Paris : CNDP/Cité des Sciences et de l'Industrie, 1996, 107-114.

### 1.1.2 Travel (committees, visits to laboratories and institutions) and lectures

T.J. Quinn visited:

- Tokyo (Japan), 15-19 October 1995, to take part in a meeting of the APMP held at the NRLM;
- Ottawa (Canada), 30 October-1 November 1995, to take part in a meeting of the Standards Advisory Board of the Institute for National Measurement Standards of the NRC;
- London (United Kingdom), 3 November 1995, for a meeting of the IOP Editorial Board of *Report on Progress in Physics*;
- Athens (Greece), 12-14 November 1995, for an advisory meeting on metrology in Greece organized by the European Community;
- Halmstad (Sweden), 20 November 1995, for the 17th Nordic Conference on Metrology calibration;
- Geneva (Switzerland), 29-30 November 1995, to take part in a meeting of ISO/TAG4;
- United Kingdom, 12-13 December 1995, to visit the universities of Birmingham, Warwick, and Cambridge;
- Paris (France), 17-18 January 1996, for a meeting of the Fundamental Physics Advisory Group of the European Space Agency;
- London (United Kingdom), 29 January 1996, for a meeting of the committee of the Royal Society Paul Fund;
- Braunschweig (Germany), 8-11 February 1996, to visit the PTB;
- Teddington (United Kingdom), 25-26 March, to take part in a meeting of the CCT/CCPR joint working group on thermodynamic-temperature determinations for high-temperature black-bodies held at the NPL;
- Paris (France), 29 March 1996, at the Cité des Sciences, to give a lecture on "Mesurer : unités et incertitudes";
- Sofia (Bulgaria), 9-12 April 1996, to take part in a COOMET meeting;
- Paris (France), 25 April 1996, for a meeting of the Fundamental Physics Advisory Group of the European Space Agency;
- London (United Kingdom), 26 April 1996, for a meeting on Metrology in Chemistry held at the Laboratory of the Government Chemist;
- Copenhagen (Denmark), 5-7 May 1996, to take part in the review of the work of the DFM laboratory and give a lecture entitled "Recent advances in fundamental metrology";
- London (United Kingdom), 10 May 1996, for a meeting of the IOP Editorial Board;

- London (United Kingdom), 22-25 May 1996, for a EUROMET Committee Meeting held at the NPL;
- Geneva (Switzerland), 3 June 1996, for discussions at ISO and IEC on the draft report prepared by W.R. Blevin;
- Amsterdam (Netherlands), 6 June 1996, for discussions with the OIML on the draft report prepared by W.R. Blevin;
- Delft (Netherlands), 7 June 1996, to give a lecture at the 250th Anniversary of the birth of Van Swinden entitled “The importance of metrology two centuries after Van Swinden”;
- London (United Kingdom), 10 June 1996, for a meeting of the committee of the Royal Society Paul Fund;
- Gaithersburg (U.S.A.), 11-13 June 1996, for discussions at the NIST on the draft report prepared by W.R. Blevin;
- Ottawa (Canada), 13-14 June 1996, for discussions at the NRC on the draft report prepared by W.R. Blevin;
- Braunschweig (Germany), 16-23 June 1996, to take part in the CPEM and give a lecture entitled “A novel torsion balance for the measurement of the Newtonian gravitational constant”;
- Amsterdam (Netherlands), 9 September 1996, for a meeting of the ILAC;
- Turin (Italy), 10-12 September 1996, to take part in the Tempmeko Conference held at the IMGc.

## 1.2 Activities related to external organizations

T.J. Quinn regularly attends meetings of the Scientific Council of the IMGc, is a member of the CODATA Task Group on Fundamental Constants, is Vice-Chairman of the IUPAP SUN-AMCO Commission, is a member of the IUPAC Interdivisional Committee on Nomenclature and Symbols and the Comité Scientifique of the Laboratoire de l’Horloge Atomique (France). He is a member of the editorial board of the Institute of Physics journal *Reports on Progress in Physics* and is a Royal Society representative on the Paul Instrument Fund. He represents the BIPM on ISO/TAG 4, and is provisional chairman of its successor, the Joint Committee for Guides in Metrology.

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

### 2.1 General remarks

Two BIPM argon lasers, one stabilized using the FM-sideband technique and the other the third-harmonic technique, have been compared. The measured frequency difference was less than 1 kHz, i.e. less than the uncertainty measurement, indicating that no frequency changes appear to be connected with the tech-

nique used to stabilize the lasers. The first tests on radiation from a doubled Nd:YAG laser at  $\lambda \approx 532$  nm confirm its potential as a future recommended radiation, and justify the priority put on its development this year. The modulation transfer technique has been tried with success on He-Ne lasers at  $\lambda \approx 543$  nm; these lasers will also be compared with those stabilized by the usual third-harmonic technique.

Calculations on all the results of the six grouped comparisons of He-Ne lasers at  $\lambda \approx 633$  nm, which involved a total of twenty-one laboratories, have been completed and discussed with the laboratories concerned. An extended cavity diode laser with an intracavity iodine cell has been frequency stabilized at  $\lambda \approx 633$  nm: a frequency stability of about few parts in  $10^{11}$  was achieved for averaging times of 80 s.

Collaboration continues in France with the ENS, the BNM-LPTF and the BNM-INM: an absolute frequency determination of the 5S–5D two-photon transitions in rubidium at  $\lambda \approx 778$  nm was carried out in January 1996 with a combined standard uncertainty of 2 kHz (5 parts in  $10^{12}$ ). The priority given to the double YAG lasers has led us to reduce our activity on CO<sub>2</sub> lasers at  $\lambda \approx 10,6$   $\mu\text{m}$ .

This year again, more than thirty iodine cells were filled and checked. Collaboration with the BNM-INM on calculations of hyperfine constants in iodine has also continued.

## 2.2 Length measurement: nanometrology (L.F. Vitushkin)

### i) *Laser interferometric diffractometer* (with A.L. Vitushkin and A. Zarka)

First measurements of a diffraction grating with a spacing of about 0,278  $\mu\text{m}$  have been made by the three-wavelength method. The CCD camera and frame grabber for recording and digitizing of the interference patterns have been purchased, and preliminary tests have been carried out.

### ii) *Laser interferometers for high-accuracy measurement of displacements of order one nanometre and less* (with A.L. Vitushkin)

*Multi-pass optical cell:* A multi-pass optical cell (delay line), based on the use of cube-corner retroreflectors with shifted optical axes and right angle prisms, has been proposed with a view to increasing the resolution and the accuracy of displacement measurements. The proposed configuration makes it possible to have twenty to forty double optical paths with reasonable design parameters.

*Combined interferometer:* The main characteristics of a combined interferometer, which incorporates two Fabry-Perot interferometers in the arms of a Michelson interferometer, have been chosen for displacement measurements extending into the subnanometre range. The mirror requirements for these Fabry-Perot interferometers have been defined for a wavelength of 514,5 nm.

## 2.3 Lasers

### 2.3.1 Iodine-stabilized argon lasers at $\lambda \approx 515$ nm using external cells (L. Robertsson, S. Picard, L.F. Vitushkin)

Traditional techniques for the stabilization of laser systems use low-frequency wavelength modulation followed by demodulation at the third harmonic of the modulation frequency. During recent years, an alternative method, known as frequency-modulation spectroscopy, has become available for systems with extracavity iodine cells. It is important to verify that no systematic frequency changes take place when changing from one stabilization technique to another. Two BIPM argon ion laser systems, each stabilized by a technique different from that used on the other, have recently been compared and measurements have been made of frequency stability in terms of Allan variance. Studies of the frequency dependence on modulation index, iodine pressure and laser power have been made. Frequency differences for the component  $a_3 P(13)43-0$  were studied over a period of twelve days by measuring the beat frequency between the two lasers twice a day. For the working parameters used, a frequency difference of 0,1 kHz with a standard uncertainty ( $1 \sigma$ ) of 0,9 kHz was found.

### 2.3.2 Doubled Nd:YAG laser at $\lambda \approx 532$ nm (L. Robertsson, S. Picard, L.F. Vitushkin, E. Jaatinen\*)

Developments in solid-state laser technology and more efficient pumping by diode lasers have made available new light sources for metrology. Especially valuable is the frequency doubled Nd:YAG laser which has demonstrated superior characteristics with respect to some of the recommended wavelengths. It is likely that this wavelength will become one of the most important for practical length metrology, so intensive comparison activity by the beat-frequency method can be expected in the next few years. In this perspective, the BIPM has started a project with the goal of making such a system available to interested member laboratories by simply copying the design. The strategy adopted has been to use commercial apparatus as far as possible and so to build up a frequency-stabilized system. In a first phase, different spectroscopic arrangements have been tested. These include both frequency-modulation and modulation-transfer techniques.

Within the framework of a programme of co-operation with the BIPM, a Nd:YAG laser at  $\lambda \approx 532$  nm, with frequency doubling in the KTP crystal, has been constructed and has undergone preliminary tests at the Institute of Laser Physics (Russian Fed.).

### 2.3.3 Iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda \approx 543,5$ nm using external cells (E. Jaatinen, J.-M. Chartier)

Work has begun on the development of a green He-Ne laser stabilized on the saturated absorption transitions of iodine using frequency-modulation spectroscopy. Of the various external cell techniques currently available, modulation-

---

\* Guest worker.

transfer spectroscopy was chosen because of its insensitivity to background absorption and because the required optical modulation need not be applied directly to the laser. The insensitivity to the background is a particularly attractive quality as this simplifies signal detection, by making redundant the 3f detection and saturating beam chopping required by other techniques.

Saturated absorption (Fig. 2.1) is an intensity dependent phenomenon so the low power of 543 nm He-Ne lasers, approximately 100  $\mu\text{W}$  per mode, makes signal detection difficult. It is essential, therefore, for the electronic noise arising in the photodetection and demodulation systems to be as low as possible. With the photodetector developed at the BIPM, it is possible to detect the level of noise in the laser when passing only 10  $\mu\text{W}$  of optical power. Using this detector a signal to noise ratio of approximately 50 was observed in the modulation transfer with a time constant of 50 ms, the limit being set by noise in the amplitude of the laser beam and the photodiode dark current.

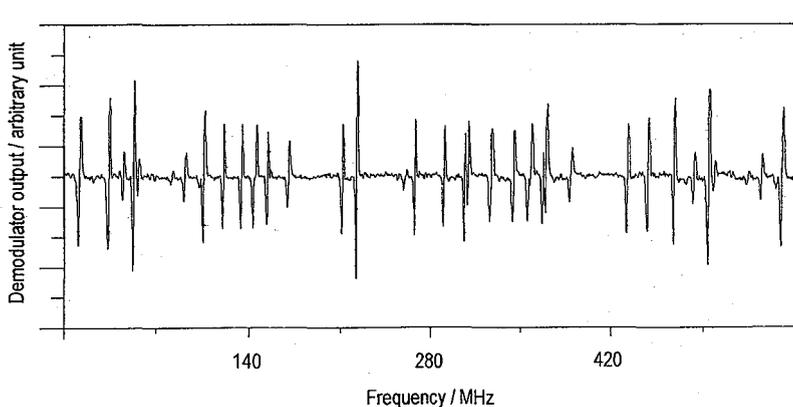


Fig. 2.1. — Saturated absorption components of the R(12) 26-0 and R(106) 28-0 transitions of  $^{127}\text{Tl}_2$  obtained with a 543 nm He-Ne laser which was lasing simultaneously in two longitudinal modes.

The performance of this system will be evaluated by comparing its frequency with that of the existing 543 nm stabilized He-Ne system. Particular emphasis will be placed on the observation of any frequency discrepancies with the objective of verifying the theory, developed at the BIPM, that the modulation-transfer technique can introduce frequency shifts. This prediction is based on the premise that, on traversing the non-linear medium, the phase modulated saturating beam becomes amplitude modulated because of the linear background absorption.

#### 2.3.4 Iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda \approx 612$ nm using internal and external cells (L. Robertsson)

The four BIPM reference lasers at  $\lambda \approx 612$  nm have laser tubes which are ten to fifteen years old. Unfortunately, He-Ne laser tubes for metrological purposes

are not readily available from standard tube suppliers. However, six new tubes designed for our lasers have been bought and are now under evaluation. New mechanical systems have also been constructed to make it easier to carry out these evaluations.

### **2.3.5 Iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda \approx 633$ nm using internal cells** (J.-M. Chartier, A. Chartier)

#### *i) Internal comparisons of BIPM lasers*

The average frequency difference between the BIPM4 reference laser and the BIPMP3 laser, measured in October 1995 and in December 1995, was 2,9 kHz and the difference between the individual differences was less than 1 kHz.

The two stabilized lasers used in the Jaeger/Thomson/BIPM and in the FG5 absolute gravimeters have been calibrated against a reference laser. The frequency differences between the values obtained in this calibration and those obtained in earlier ones were less than 5 kHz (1 part in  $10^{11}$ ).

#### *ii) International comparisons*

No international comparison has been carried out since September 1995, but much time has been spent on the evaluation of comparisons and on the preparation of reports for submission to the twenty-one laboratories involved in the comparison that took place earlier in 1995.

#### *iii) Others*

The Winters He-Ne stabilized laser used in the FG5 instrument, belonging to the Proudman Oceanographic Laboratory (United Kingdom), has been calibrated after  $g$  measurements at the BIPM.

Three different commercial He-Ne laser tubes made by the NEC and Neo-Ark (Japan) and Melles Griot (U.S.A.) are now available for metrological purposes at  $\lambda \approx 633$  nm. The BIPM took an important part in their design.

### **2.3.6 External cavity diode lasers at $\lambda \approx 633$ nm** (A. Zarka, J.-M. Chartier, E. Jaatinen, J. Åman\*)

The external cavity diode laser that was designed last year is now used in the intra-cavity spectroscopy configuration. Four points are to be noted this year:

#### *i) New mechanical design*

Using the finite element method with the computer aided system CADSAP (CADLM, France) we began structure calculation. We began by validating the model used on our first prototype called BIREL1. Three invar bars provide its longitudinal structure. Mechanical resonances, stress and thermal expansion were then studied to confirm our mechanical design. We could see that the use

---

\* Guest worker.

of the combination of invar and duralumin leads to a longitudinal displacement about five times that obtained using invar alone.

We then designed a second prototype, called BIREL2, whose purpose was to optimize the thickness and the size of the frame for the new longitudinal structure. The static computation is now complete but the determination of the mechanical resonances still requires work. Thermal effects have still to be added to this model. BIREL2 uses an optical design similar to that developed for BIREL1, but it is much smaller, about 280 mm × 75 mm × 53 mm, making it an easy system to transport. This new prototype is now undergoing preliminary tests.

### ii) Spectroscopic results

The 10 cm long iodine cell used in the extended cavity laser of BIREL1 has allowed us to observe several transitions in  $^{127}\text{I}_2$  over a wavelength range of about 8 nm by tuning the length of the laser cavity.

We first studied the P(33) 6-3 transition as it lies within the bandwidth of our beat-frequency system in which the frequency reference is provided by a stabilized He-Ne laser. Figure 2.2 shows the first and the third derivatives of components of the P(33) 6-3 obtained with a modulation width of about 6 MHz peak to peak.

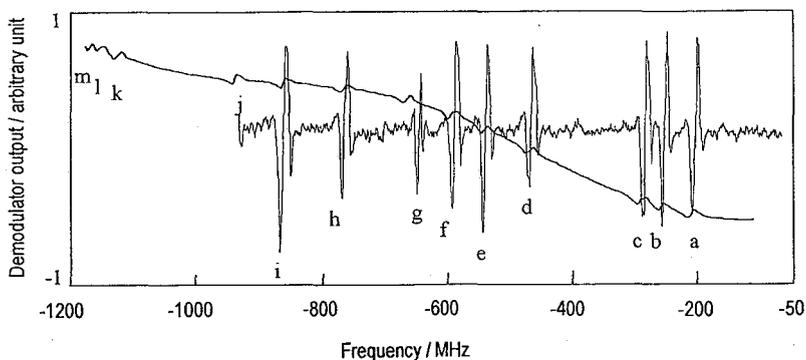


Fig. 2.2. — Hyperfine components obtained by saturated absorption of the P(33) 6-3 transition of  $^{127}\text{I}_2$  obtained with a 633 nm diode laser having an absorption cell inside the extended cavity (first and third harmonics). The letters a, b, c, ..., m designate the different hyperfine components.

Transitions stronger than P(33) 6-3, such as R(60) 8-4, P(54) 8-4 and R(125) 9-4, have also been recorded and should lead to improved short-term frequency stability.

### iii) Frequency stability of BIREL1

The free-running relative frequency stability of BIREL1 is about 5 parts in  $10^{10}$  for integration times of less than 1 s, a value to be expected with such a

mechanical design. Early this year we were able to stabilize it on component d of the P(33) 6-3 transition. Beat-frequency measurements made between BIREL1 and a He-Ne laser stabilized using the saturated absorption of  $^{127}\text{I}_2$  led to a relative frequency stability of 3 parts in  $10^{11}$  for an integration time of 80 s.

iv) *Tuning and wide range beat-frequency measurement system*

It is now clear that a facility capable of rotating the grating of our beat-frequency measurement system with high precision is essential for the selection of particular wavelengths. Fine tuning is currently obtained by temperature control of the diode laser junction, by fine translation of the grating and by adjustment of the current. Our Jaeger lambdameter with which we obtain a relative precision of 1 part in  $10^6$  is helpful, but to tune the frequency to within 2 GHz, an extra digit is required.

A high frequency beat-measurement system is under construction and is already fitted with a frequency meter and a spectrum analyser having a frequency range of about 20 GHz. This allows the frequency of some strong iodine transitions to be measured.

**2.3.7 Rubidium-stabilized diode lasers at  $\lambda \approx 778$  nm using the hyper-fine components of 5S-5D two-photon transitions (R. Felder)**

i) *BIPM devices*

The study and construction of the cavity for the rubidium cells continues. Considerable effort has been devoted to the design of a truly portable device. The rubidium cells for this work were kindly furnished by F. Biraben and P. Flory (Kastler-Brossel laboratory of the ENS) and by M. Têtu (Laval University, Canada).

ii) *Collaboration with other laboratories*

At the BNM-LPTF, a detailed comparison by beat-frequency of the two devices which were developed at this laboratory, and the similar one that operates at the Kastler-Brossel laboratory of the ENS, was carried during the last semester of 1995. It is important to note that the latter was linked to the BNM-LPTF set up by an optical fibre. Analysis of these measurements is still in progress, but preliminary results confirm those obtained previously.

An absolute frequency determination of the 5S-5D two-photon transitions was carried out in January 1996. The frequency of the  $^{85}\text{Rb}$   $5\text{S}_{1/2}$  ( $F_g = 3$ ) –  $5\text{D}_{5/2}$  ( $F_g = 5$ ) transition was found to be 385 285 142 378,3 kHz with a combined standard uncertainty of 2 kHz. Half of this uncertainty comes from the  $\text{CO}_2/\text{OsO}_4$  laser used as reference in the frequency chain. This result confirms that obtained in 1993 at the Kastler-Brossel laboratory when the absolute frequencies of these transitions were determined with respect to the difference of frequency between the (He-Ne)/ $\text{I}_2$  laser at  $\lambda \approx 633$  nm and the (He-Ne)/ $\text{CH}_4$  laser at  $\lambda \approx 3,39$   $\mu\text{m}$ . This BNM-LPTF frequency determination also confirms

*a posteriori* that of the (He-Ne)/I<sub>2</sub> laser at  $\lambda \approx 633$  nm carried out in 1992 in this laboratory, a determination whose value was retained by the CCDM as the recommended one.

### **2.3.8 Methane-stabilized He-Ne lasers at $\lambda \approx 3,39$ $\mu\text{m}$ using internal and external cells (R. Felder)**

#### *i) General activities*

The construction and study of He-Ne laser tubes and methane cells continues. A new series of special ends was kindly furnished by Mr C. Bernard (Service d'Aéronomie du CNRS, France).

#### *ii) BIPM measurement set-up*

The general installation for laser comparisons by the beat-frequency method has been refurbished. The laser heads have been cleaned and realigned and the getters of the discharge tubes reactivated. The servos were checked and their electronic circuits readjusted.

#### *iii) Collaboration with other laboratories*

An absolute-frequency determination of a portable laser belonging to the Lebedev Institute (Russian Fed.) is scheduled for November 1996 at the BNM-LPTF. As on previous such occasions, the BIPM has been invited to participate. This opportunity is of great interest for it makes it possible to check the frequency of the BIPM reference lasers.

### **2.3.9 CO<sub>2</sub> lasers at $\lambda \approx 10,6$ $\mu\text{m}$ using an external cell containing SF<sub>6</sub> (S. Picard)**

The beam from the CO<sub>2</sub> laser BC1 has been adapted for use with a Fabry-Perot interferometer and the cavity has been purged. A second laser, BC2, has been tested.

Since the beginning of the year this project has been given reduced priority in favour of that on the doubled Nd:YAG laser.

### **2.3.10 Frequency synthesis chain for measuring the absolute frequency of iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda \approx 633$ nm (R. Felder)**

#### *i) Collaboration with other laboratories*

The set-up required for measurement of the absolute frequency of a (He-Ne)/I<sub>2</sub> laser at  $\lambda \approx 633$  nm with respect to the sum of the frequencies of a (He-Ne)/CH<sub>4</sub> laser at  $\lambda \approx 3,39$   $\mu\text{m}$  and a rubidium-stabilized diode laser at  $\lambda \approx 778$  nm is partially complete at the Kastler-Brossel laboratory. To confirm the previous determination of the Rydberg constant, carried out in 1993, it was decided that this equipment should be used to measure the frequency of the (He-Ne)/I<sub>2</sub> laser at  $\lambda \approx 633$  nm belonging to this laboratory. This experiment is scheduled for the summer of 1996. It will use the BIPM reference (He-Ne)/CH<sub>4</sub>

laser at  $\lambda \approx 3,39 \mu\text{m}$ , VB, and the rubidium-stabilized diode laser at  $\lambda \approx 778 \text{ nm}$  developed at the ENS and recently measured by the BNM-LPTF.

### 2.3.11 Iodine cells

i) *Filling and frequency control of cells* (J.-M. Chartier, A. Chartier, J. Labot)

There was increased activity this year in the filling and frequency control of iodine cells as fifteen saturated and seventeen non-saturated cells have been filled. Frequency checks have been carried out on twenty-one saturated cells and fourteen non-saturated cells.

ii) *Laser-induced fluorescence* (S. Picard)

Fifteen cells have been tested by laser-induced fluorescence, ten for the CMI (Czech Republic), two for the KIM (Ukraine), one for the NRLM (Japan) and two for the NMi (Netherlands). The equipment has also been used to test a number of cells filled at the BIPM, and to check the quality of six 50 cm long cells used in the internal comparison of stabilized argon lasers.

iii) *New type of iodine cells* (L.F. Vitushkin, J.-M. Chartier)

A new iodine cell, based on the use of the iodine filled porous glass, has been designed in collaboration with J.L. Hall (JILA, U.S.A.).

### 2.3.12 Hyperfine structure (S. Picard)

A table listing hyperfine constants in the B-X system of  $^{127}\text{I}_2$  has been published. New calculations of the hyperfine structure and the hyperfine constants of five ro-vibrational transitions in the B-X system of  $^{129}\text{I}_2$  complete this tabulation. New empirical formulas to compute hyperfine constants have been proposed. One of these gives the electric quadrupole constant  $\Delta eQq$  to a precision one order of magnitude better than earlier formulas. Hyperfine constants of the R(39) 7-4 transition in iodine have been calculated in collaboration with the NPL (United Kingdom) and the BNM-INM. Comparison of the calculated with the empirical values predicted for this transition, using the above formula, gives agreement to within the standard uncertainty.

### 2.3.13 Computing systems (A. Zarka)

To tune and drive the BIPM diode laser, new software, written in Visual Basic, is under development, allowing the following operations:

- lambdameter reading;
- spectrum analyser acquisition;
- injection current and temperature control of the diode laser;
- frequency record and Allan variance calculation;
- fast input signal reading for improved locking of the digital integrator system;
- selection of component (selection of transitions will follow).

## 2.4 Publications, lectures, travel: Length section

### 2.4.1 External publications

1. ERIN M., MALINOVSKY I., TITOV A., CHARTIER A., CHARTIER J.-M., Comparison between the He-Ne laser wavelength standards at 633 nm from the UME and the BIPM, *Metrologia*, 1996, **32**, 363-365.
2. PRIETO E., MAR PEREZ M., GONZALEZ D.M., SARAIVA F., CHARTIER A., CHARTIER J.-M., International comparison of stabilized He-Ne lasers by the saturated absorption of  $^{127}\text{I}_2$  at  $\lambda \approx 633$  nm involving the CEM (Spain), the IPQ (Portugal) and the BIPM, *Metrologia*, 1996, **32**, 379-384.
3. POPESCU G., CHARTIER J.-M., CHARTIER A., ZARKA A., Intercomparison of  $^{127}\text{I}_2$  stabilized He-Ne at 633 nm wavelength of the IFA-IFTAR and the BIPM, *SPIE*, 1995, **2461**, 529-533.
4. MARSON I., FALLER J.E., CERUTTI G., DEMARIA P., CHARTIER J.-M., ROBERTSSON L., VITUSHKIN L.F., FRIEDERICH J., KRAUTERBLUTH K., STIZZA D., LIARD J., GAGNON C., LOTHHAMMER A., WILMES H., MAKINEN J., MURAKAMI M., REHREN F., SCHNULL M., RUESS D., SASAGAWA G.S., Fourth international comparison of absolute gravimeters, *Metrologia*, 1995, **32**, 137-144.
5. ÅMAN J., CHARTIER J.-M., ZARKA A., TALVITIE H., PENDRILL L.R., HAMMERSBERG M., External Cavity Diode Laser at 633 nm: A Possible Future Optical Frequency Standard, *Laser Spectroscopy*, XII International Conference, 1995, 222-223.
6. ÅMAN J., HAMMERSBERG M., PENDRILL L.R., TALVITIE H., ZARKA A., CHARTIER J.-M., Laser spectroscopy of molecular iodine with a tuneable semiconductor laser around 633 nm, *Proc. 5th Symposium on Frequency Standards and Metrology* (1995), World Scientific, 1996, 437-440.
7. HOWICK E., BROWN N., CHARTIER J.-M., International comparison of iodine cells for laser length standards, *Metrologia*, 1996, **33**, 173-175.
8. POPESCU G., NECSOIU M., CHARTIER J.-M., PICARD S., CHARTIER A., A study on the spectral characteristics of the iodine cells from IFA-IFTAR used in He-Ne/ $^{127}\text{I}_2$  lasers, *Rom. J. Phys.*, 1996, **40**, 491-495.
9. ZONDY J.-J., TOUAHRI D., ACEF O., CLAIRON A., FELDER R., NEZ F., HILICO L., Toward the frequency measurement of a laser diode locked to 5S-5D rubidium two-photon transition ( $2 \times 385$  THz), *Proc. 5th Symposium on Frequency Standards and Metrology* (1995), World Scientific, 1996, 310-315.
10. RAZET A., PICARD S., A tabulation of calculations of the hyperfine structure in  $^{127}\text{I}_2$ , *Metrologia*, 1996, **33**, 19-27.
11. RAZET A., PICARD S., Calculs de constantes hyperfines de quelques transitions de la molécule d'iode  $^{129}\text{I}_2$ , *Annal. Phys.*, 1995, **20**, 633-634.
12. RAZET A., PICARD S., Nouvelles formules d'interpolation concernant les constantes hyperfines de l'iode  $^{127}\text{I}_2$ , *Annal. Phys.*, 1995, **20**, 583-584.

13. VITUSHKIN L.F., NIEBAUER T.M., VITUSHKIN A.L., Ballistic gradiometer for the measurement of the vertical gravity gradient: a proposal, *Proc. IAG Symposium on Airborne Gravity Field Determination*, Calgary, August 1995, 47-51.
14. KOROTKOV V.I., PULKIN S.A., VITUSHKIN A.L., VITUSHKIN L.F., Laser interferometric diffractometry for spacing measurements of diffraction gratings, *Appl. Opt.*, 1996, **35**, 4782-4786.
15. NIEBAUER T.M., VITUSHKIN A.L., VITUSHKIN L.F., Least-squares solution for the vertical gravity gradient in the ballistic gravity gradiometer, *Annal. Geoph.*, 1996, Suppl. **14**, C243.

#### 2.4.2 BIPM report

16. PICARD S., RAZET A., Short Tabulation of Hyperfine Structure in  $^{129}\text{I}_2$ , *Rapport BIPM-95/13*, 1995, 7 p.

#### 2.4.3 Lectures and presentations

J.-M. Chartier and A. Chartier gave a poster presentation at the CPEM'96 entitled "International comparisons of He-Ne lasers stabilized with  $^{127}\text{I}_2$  at  $\lambda \approx 633 \text{ nm}$ ", see also *CPEM Digest*, 1996, 80-81.

J.-M. Chartier, A. Zarka, J. Åman and E. Jaatinen gave a poster presentation at the CPEM'96 entitled "Intracavity iodine cell spectroscopy with an extended-cavity diode laser near 633 nm", see also *CPEM Digest*, 1996, 96-97.

J.-M. Chartier attended the XXV General Assembly of URSI (28 August 1996 - 5 September 1996) and presented a lecture entitled "Definition of the metre: present status".

R. Felder, D. Touahri, O. Acef, F. Nez, L. Hilico, A. Clairon and J.-J. Zondy gave a presentation at the Fifth Symposium on Frequency Standards and Metrology entitled "Absolute frequency measurement of a diode laser locked to a two-photon hyperfine transition of rubidium at 778 nm: A new optical standard at the  $10^{-12}$  accuracy level".

S. Picard gave a poster presentation at the CPEM'96 entitled "Studies of hyperfine structure in molecular iodine" in collaboration with A. Razet (BNM-INM), see also *CPEM Digest*, 1996, 98-99.

L. Robertsson, R. Goebel, S. Picard and L. Vitushkin gave an oral presentation at the EQEC'96 Conference entitled "Comparison of wavelength reference laser systems at  $\lambda \approx 515 \text{ nm}$  stabilized by different methods", Hamburg, 8-13 September 1996.

T.M. Niebauer, A.L. Vitushkin and L.F. Vitushkin gave a poster presentation at the XXI General Assembly of the European Geophysical Society, entitled "Least-squares solution for the vertical gravity gradient in the ballistic gravity gradiometer".

L.F. Vitushkin, A.L. Vitushkin, L. Robertsson and J.-M. Chartier gave a poster presentation at the XXI General Assembly of the European Geophysical

Society, entitled “*g*-value measurements in the BIPM micronetwork”, The Hague, 6-10 May 1996.

V.I. Korotkov, S.A. Pulkin, A.L. Vitushkin and L.F. Vitushkin gave a poster presentation at the CLEO-Europe’96 Conference entitled “High-accuracy measurements of the spacing of diffraction gratings in the range 0,28  $\mu\text{m}$ -0,50  $\mu\text{m}$  using laser interferometric diffractometry”, Hamburg, 8-13 September 1996.

#### **2.4.4 Travel (committees, visits to laboratories and institutions)**

J.-M. Chartier visited:

- Saint-Maur (France), 17 April 1996, to speak about collaboration between the IPG and the BIPM in the field of gravimetry;
- Paris and Villeteuse (France), 6-7 May 1996, with S. Picard and L. Robertsson, to attend a EUROMET workshop on wavelength standards and to visit the BNM-INM (Paris) and the LPL (Villeteuse);
- Trieste (Italy), 28-29 June 1996, to participate in a workshop on absolute gravity measurements.

R. Felder visited Paris (France), October 1995-January 1996, to participate in an absolute frequency determination of the 5S–5D two-photon transitions in rubidium at the BNM-LPTF.

S. Picard visited:

- Geel (Belgium), 21 September 1995, to discuss collaboration with the IRMM on a study of impurities in iodine cells using mass spectroscopy;
- Copenhagen (Denmark), 23-24 October 1995, to attend the EUROMET meeting on length metrology at the DFM.

L. Robertsson visited:

- Woods Hole (Massachusetts, U.S.A.), 15-19 October 1995, to attend a symposium on frequency standards and metrology;
- Boston (Massachusetts, U.S.A.), 19 October 1995, to visit the MIT;
- Gothenberg (Sweden), 24-25 June 1996, to participate in the symposium “Modern Trends in Atomic Physics”;
- Trieste (Italy), 28-29 June 1996, to participate in a workshop on absolute gravity measurements.

L.F. Vitushkin visited:

- The Hague (Netherlands), 6-10 May 1996, to attend the XXI General Assembly of the European Geophysical Society;
- Lyon (France), 14 May 1996, to participate in the workshop on “Récents développements de la microscopie à champ proche”;

- St. Petersburg (Russian Fed.), 5 and 16 July 1996, to discuss a programme of co-operation with the Laboratory of Primary Standards of Length and Angle Units of the VNIIM;
- St. Petersburg (Russian Fed.), 9 and 18 July 1996, to discuss the design of a new kind of iodine cell at the Institute of Fine Mechanics and Optics;
- Moscow (Russian Fed.), 10 July 1996, to discuss collaboration on short-length line scales with the Institute of General Physics Institute of the Academy of Sciences of Russia;
- Moscow (Russian Fed.), 11 July 1996, to discuss collaboration on the design of an optical frequency standard with the P.N. Lebedev Physics Institute of the Academy of Sciences of Russia;
- Moscow (Russian Fed.), 12 July 1996, to discuss super-narrow resonances in a double mode He-Ne/CH<sub>4</sub> at the Moscow Institute of Engineering Physics;
- St. Petersburg (Russian Fed.), 17 and 22-26 July 1996, to discuss the design of a Nd:YAG/KTP laser at the Institute of Laser Physics;
- Hamburg (Germany), 8-13 September 1996, to participate in the CLEO-Europe/EQEC'96 Conference.

A. Zarka visited:

- Gif-sur-Yvette (France), 15-18 January 1996, to compute a mechanical design at CADLM;
- Les Ulis (France), 24 May 1996, to participate in the VXI seminar organized by Tektronix and National Instrument;
- Observatoire de Meudon (Meudon, France), 3 June 1996, to participate in a discussion on topics for study in the fields of diode laser lifetimes and RF technology.

## 2.5 Visitors to the Length section

### 2.5.1 Guest workers

- Messrs J. Ishikawa (NRLM, Tsukuba, Japan) and Lee Yong Chol (NEO-ARK, Tokyo, Japan) stayed at the BIPM, 25-26 October 1995, for a comparison of lasers at  $\lambda \approx 633$  nm between a portable prototype laser and a BIPM laser.
- Dr R. Hipkin (Department of Geology and Geophysics, University of Edinburgh, Edinburgh, United Kingdom) stayed at the BIPM, 27 November-1 March 1996, to work on the mathematical treatment of  $g$  measurement data and on the software used in the computer of the FG5 absolute gravimeter.

- Mr J. Åman (Chalmers University of Technology, Gothenberg, Sweden) stayed at the BIPM, 29 January-11 February 1996, to work with stabilized diode lasers using iodine at  $\lambda \approx 633$  nm.
- Mr A.L. Vitushkin (VNIIM, St. Petersburg, Russian Fed.) stayed at the BIPM, 3 March-2 May 1996, to take part in measurements of free fall acceleration in the BIPM gravimetric micronetwork.
- Dr E. Jaatinen (CSIRO, Lindfield, Australia) stayed at the BIPM, 18 March-22 July 1996, to work on He-Ne lasers using iodine at  $\lambda \approx 543$  nm stabilized by the modulation transfer technique.
- Messrs H. Hopewell and G. Jeffries (Proudman Oceanographic Laboratory, Merseyside, United Kingdom) stayed at the BIPM, 13-21 May 1996, to check the functioning of their FG5 absolute gravimeter by  $g$  measurements made on BIPM reference sites and, 10-11 July 1996, to change the He-Ne tube of the laser of their FG5.

### 2.5.2 Visitors

- Dr T. Kurosawa (NRLM, Tsukuba, Japan), 30 October 1995.
- Messrs Louis and Bayer (Université de Montpellier, France), 20 November 1995.
- Dr J. Blabla (CMI, Prague, Czech Republic), 22 November 1995.
- Dr P. Balling (CMI, Prague, Czech Republic), 22 November and 4 December 1995.
- Dr S. Iwasaki (NRLM, Tsukuba, Japan), 22 January 1996.
- Dr S. Ljungström (Kompetenscentrum Katalys, Chalmers University of Technology, Gothenberg, Sweden), 3 March 1996.
- Dr Sompote Boonsanit (DSS, Bangkok, Thailand), 14-15 March 1996.
- Dr A. Onae (NRLM, Tsukuba, Japan), Dr T. Kubayashi and Dr H. Yashiro (AIST, Tokyo, Japan), 15 March 1996.
- Mr X. Thomas (Groupe de Spectroscopie Moléculaire et Atmosphérique, Université de Reims, France), 25 March 1996.
- Dr J.L. Hall (JILA, Boulder, Colorado, U.S.A.), 27 March 1996.
- Mr P. Gain (ALCORD, Paris, France), 1 April 1996.
- Dr L. Pendrill (SP, Borås, Sweden), 6 May 1996.
- Mr J.G. Meilhac (Lycée Polyvalent Privé Jules Richard, Paris, France), 9 May 1996.
- Mr P. Bourdon (ETCA, Arcueil, France), 28 May 1996.
- Mr P. Millan (ONERA, Toulouse, France), 6 June 1996.
- Dr E. Howick (MSL-IRL, Lower Hutt, New Zealand), 10 June 1996.
- Dr Jen Ye (JILA, Boulder, Colorado, U.S.A.), 11 June 1996.

- Dr Y. Dancheva (Institute of Electronics, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria), 11-12 July 1996.

### **3. Mass and related quantities (R.S. Davis)**

#### **3.1 Introduction**

The international comparison of 1 kg stainless-steel standards initiated by the CCM is continuing and is due for completion early in 1997. The stability of the transfer standards appears to have been adequate during the first year of the comparison. In parallel with this work, we have continued an extensive search for possible biases due to the balance used. Our continuing studies of anelasticity in metals are now focused on torsion strips. We have rediscovered a phenomenon that may prove exploitable in measurements of the gravitational constant.

#### **3.2 Stainless-steel standards (R.S. Davis)**

The CCM, at its meeting in 1993, asked the BIPM to carry out an international comparison of stainless-steel 1 kg standards. The plan was for pairs of 1 kg standards to be sent to participating laboratories where they would be measured against the laboratories' stainless-steel reference standards which in turn had been calibrated by reference to the national Pt-Ir prototype. Pairs of travelling standards were supplied by the NMi (Netherlands), the SMU (Slovak Rep.) and the BIPM. So far, one pair has been to the NMi, the NPL (United Kingdom), the VNIIM (Russian Fed.) and the PTB (Germany). These standards were returned to the BIPM before and after the measurements at the VNIIM. The standards, now at the SMU, will be returned once again to the BIPM and then delivered to the BNM-INM (France). The KRISS (Rep. of Korea), which has just joined the comparison, will then receive the standards. Their return to the BIPM will complete the measurements with the first pair of standards. In parallel, the second pair has been to the NIST (U.S.A.), the NRC (Canada), the NRLM (Japan), the BIPM, CSIRO-NML (Australia) and again to the BIPM. This pair is now at the NIM (People's Rep. of China) and will eventually be sent through the BIPM to the IMGIC (Italy). Completion of the comparison is planned for the first quarter of 1997.

We have remeasured each pair of travelling standards, and, after one year of use the changes we have observed are within 10  $\mu$ g and thus quite satisfactory.

A calibration of mass and density was carried out on a stainless-steel 1 kg standard, carrying no identification mark, for the CENAM (Mexico).

#### **3.3 Continuing studies of the HK 1000 balance**

In last year's report we noted that the results obtained on the HK 1000 balance depend slightly on the position of the mass transporter on which a standard

is placed. We believe the explanation is due to an imperfection in the planarity of the transporter. At any rate, the phenomenon is reproducible for periods of time that are much longer than necessary to remove the bias by additional measurements. The bias is eliminated by changing the positions, with respect to the transporter, of the four standards under comparison. Failure to remove the bias can lead to errors of up to 5  $\mu\text{g}$ . It should be noted that we have modified the original transporter supplied by the manufacturer so that we do not know if this is a general phenomenon applying to all balances of this type.

We have also looked for load-dependence of the balance sensitivity over the scale range of 100 mg. Such a phenomenon could occur due to load-dependence of power dissipated in the electro-mechanical transducer. No significant effects have been detected.

### 3.4 New flexure-strip balance (A. Picard, T.J. Quinn)

Final commissioning of the new flexure-strip balance has been deferred until the return of A. Picard (see below Section 3.8.3). We now expect the balance to be operational early in 1997.

### 3.5 Anelasticity in torsion strips (T.J. Quinn, R.S. Davis)

For some time we have been studying the anelasticity of beryllium-copper (Cu-Be) because this is the material we use for flexures in our flexure-strip balance. In order to determine whether the anelasticity is stress dependent, as predicted by some theories, we began looking at loaded torsion strips. The point is that large stress can be applied in such systems without complicating the apparatus or the data analysis. The torsion constant  $c$  for a strip of width  $b$ , thickness  $t$  and length  $L$  is given approximately by the so-called St. Venant term:

$$c = Gbt^3/(3L),$$

where  $G$  is the torsion modulus. This equation suggests that, by increasing the ratio  $b/t$  while maintaining  $bt$  constant,  $c$  can be greatly reduced even though the maximum load that may be suspended from the strip remains constant. While analysing measurements with strips having  $b/t \geq 100$ , we soon rediscovered that theory predicts a term in addition to that due to St. Venant:

$$mgb^2/(12L),$$

where  $m$  is the mass suspended from the torsion strip and  $g$  is the gravitational acceleration. Thus it is wrong to suppose that  $c$  can be reduced by the strategy given above, because the additional term becomes larger. The second term is interesting, nevertheless. Since it depends only on the geometric dimensions of the strip, the second term should be loss free.

We have, in fact, confirmed that the damping due to anelasticity in wide strips is far less than predicted by the assumption that  $c$  is strictly proportional

to  $G$ . The large increase in the quality factor  $Q$  for strips where the second term dominates suggests efficient new geometries for experiments designed to measure the gravitational constant. A prototype of such an experiment is under construction.

### 3.6 Platinum-iridium prototypes

Two new prototypes have been delivered. The first, No. 79, has been attributed to the United States of America and the second, No. 80, to Thailand.

Prototype No. 52, belonging to Germany, was calibrated in May 1996. At the request of the PTB, this prototype was not cleaned and washed by the BIPM. Its mass was determined with respect to working standards Nos 9 and 31 of the BIPM with the result

$$\text{mass of No. 52} = 1 \text{ kg} + 0,246 \text{ mg.}$$

We have extrapolated the increase in mass with time of standards Nos 9 and 31 since the third periodic verification of national prototypes. The coefficient we have determined for the average increase in mass of prototypes Nos 9 and 31 is:

$$0,55 \text{ } \mu\text{g/year with } u_c = 0,30 \text{ } \mu\text{g/year,}$$

where  $u_c$  is the combined standard uncertainty. It is based on the increase in mass of these standards measured between 1983 and the 1992.

### 3.7 Gravimetry (A. Sakuma, L. Robertsson, L. Vitushkin)

For some years the Length section at the BIPM has worked in the field of gravimetry. One of the limiting factors for this type of measurement has been the frequency stability of the lasers used for the interferometric determination of the movement of the test body. In 1991, therefore, the BIPM developed a special iodine-stabilized laser for this purpose. A second generation of this laser is now available commercially as a stand-alone unit or as an in-built laser source on commercial gravimeters of type FG5.

A series of international comparisons, organized by the International Gravity Commission, has been hosted, since 1988, by the BIPM. One major objective in such comparisons is to identify systematic errors involved in the measurements. Co-operation with the University of Edinburgh has begun to address some of these problems, especially the question of non-random structures in the residuals after the data fitting procedures are complete.

The network of gravity reference points at the BIPM has been carefully measured with our absolute gravimeter FG5-108. A good knowledge of the gravity values at these points is important for the programme of international comparisons. Measurements were performed at sites A, A<sub>0</sub>, A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub> and A<sub>8</sub> in the Observatory and sites L<sub>3</sub> and L<sub>4</sub> in the laser building during the period from 18 March to 30 April 1996. Site A<sub>3</sub> was chosen as the reference site to show the

repeatability of the measurements (Table 3.1). The results of four repeated measurements at  $A_3$  differ by less than  $1 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$  ( $1 \mu\text{Gal}$ ). The standard uncertainty of the results of these measurements is less than  $1,8 \mu\text{Gal}$  and the results are in good agreement with those of the relative measurements made during the international comparison of absolute gravimeters in 1994 (ICAG-94) for the links  $A_3$ - $L_4$ ,  $A_2$ - $A_3$  and  $L_3$ - $L_4$ . Although these measurements are also in a good agreement with absolute measurements taken during the comparison in 1994, further investigations and measurements on the BIPM micronetwork are still needed.

TABLE 3.1  
*Results of the g measurements in the BIPM micronetwork  
 using the BIPM FG5 absolute gravimeter (March-April 1996)*  
 ( $g_r = 980\,920\,000 \mu\text{Gal}$ )

Date	Site name	Mean ( $g - g_r$ ) / $\mu\text{Gal}^*$	Standard uncertainty / $\mu\text{Gal}$	Set number	Drops / set	Gradient / ( $\mu\text{Gal}/\text{cm}$ )
18 - 21 March	$A_3$	5616,6	1,1	40	200	-2,827
22 - 25 March	$L_3$	6599,7	1,5	48	200	-2,744
26 - 28 March	$L_4$	6616,1	1,25	36	200	-2,719
29 March - 01 April	$A_3$	5616,8	1,78	29	200	-2,827
02 - 04 April	$A_8$	6291,9**	1,62	21	200	-2,403
07 April	$A_3$	5616,0	0,75	3	150	-2,827
08 - 10 April	$A_2$	5680,9	0,93	26	150	-2,967
11 - 15 April	$A_1$	5666,7	1,64	42	150	-3,005
16 - 19 April	$A_0$	5670,3	1,58	51	150/200	-2,913
20 - 23 April	A	5677,4	1,22	39	150/200	-3,022
24 - 25 April	$A_3$	5616,1	1,46	29	150	-2,827

Mean of all the data at the site  $A_3$ :  $980\,925\,616,5 \mu\text{Gal}$   
 Standard uncertainty:  $1,5 \mu\text{Gal}$

\* Observed  $g$  values presented at a height of 1,0 m above the site.

\*\* The measurements at site  $A_8$  were performed under conditions of strong microseismic activity.

A new iodine stabilized laser ISL-100 was installed in the FG5-108 gravimeter in December 1995 replacing the ISL-1. When using the old beam expander this change caused a constant shift in the measurements of  $g$  because the diffraction correction varies with the diameter of the laser beam. A new lens was installed in the beam expander in August 1996 to improve the match of the laser interferometer with the laser. A new value for the diffraction correction was estimated and preliminary measurements of  $g$  were performed after investigation of the characteristics of the laser beam in the laser interferometer. A new avalanche photodiode board with a faster comparator (AD9696) was installed in the interferometer of the FG5 in January 1996. With the help of T.M. Niebauer new software, Newton22, was installed in June 1996.

A method for measuring the vertical gravity gradient has been proposed (L.F. Vitushkin, T.M. Nieubauer, A.L. Vitushkin). This is based on measurement of the relative displacements of two test bodies which fall freely along the same vertical axis. Calculations show that the special nested configuration of the test bodies could make it possible to measure the vertical gravity gradient with an uncertainty of  $1 \times 10^{-9} \text{ s}^{-2}$  using laser interferometry for measurement of the relative displacement of the test bodies. These calculations consider an initial separation of the centres of gravity of the test bodies of 0,2 m and a fall time of 0,25 s.

### **3.8 Publications, lectures, travel: Mass section**

#### **3.8.1 External publications**

1. BEUF O., BRIGUET A., LISSAC, M., DAVIS R., Magnetic resonance imaging for the determination of magnetic susceptibility of materials, *J. Magnetic Resonance*, Series B, 1996, **112**, 111-118.
2. MYKLEBUST T., DAVIS R., Comparison between JV and BIPM to determine the volume magnetic susceptibility of one 20 g weight and two 1 g weights, report of Justervesenet (Norway), 1996, 4 p.
3. DAVIS R., QUINN T.J., Density inhomogeneity as determined by hydrostatic weighing, *Testing the Equivalence Principle in Space: Proc. STEP Symposium*, Pisa, Italy, 6-8 April 1993, ESA WPP-115, 1996, 283-289.

#### **3.8.2 BIPM report**

4. DAVIS R., Magnetic properties of samples 1E and 2J (EUROMET Project 324), *Rapport BIPM-96/4*, 1996, 12 p.

#### **3.8.3 Travel (committees, visits to laboratories and institutions)**

R.S. Davis:

- visited Madrid (Spain), 6-9 February 1996, to attend a EUROMET mass contact persons meeting at the CEM. During the meeting, he presented a talk entitled "Humidity gradients: implications for mass metrology";
- presented a talk at the meeting of the National Conference of Standards Laboratories Monterey CA (U.S.A.), 26 August 1996;
- is a member of the organizing committee of the Euroconference "Advanced Mathematical Tools in Metrology III", Berlin (Germany), 25-28 September 1996.

A. Picard spent the period August 1995 to July 1996 at the NIST (Gaithersburg, U.S.A.) as a Guest Scientist working in the Electricity Division on the experiment to link the kilogram to fundamental physical constants. His contributions have included improved data analysis, design and implementation of the

auxiliary electrostatic servocontrol, and design of improvements to the present apparatus and its enclosure.

### **3.9 Visitors to the Mass section**

#### **3.9.1 Guest worker**

- Dr Z.J. Jabbour (NIST, Gaithersburg, U.S.A.), spent 3 months at the BIPM, from 16 September 1996, designing a new hydrostatic density apparatus.

#### **3.9.2 Visitors**

- Dr M. Mosca (IMGC, Turin, Italy), 9 January 1996.
- Dr Z.J. Jabbour (NIST, Gaithersburg, U.S.A.), 4-8 March 1996.
- Mr S. Boonsanit (DSS, Bangkok, Thailand), 11-15 March 1996.
- Mrs H. Durlík (GUM, Warsaw, Poland), 3-14 June 1996.
- Mr Jorge Mendoza Illescas (CENAM, Querétaro, Mexico), 22-26 July 1996.

## **4. Time (C. Thomas)**

### **4.1 International Atomic Time (TAI) and Coordinated Universal Time (UTC)**

Reference time scales TAI and UTC have been computed regularly and published in the monthly *Circular T*. The definitive results for 1995 have been available, in the form of computer-readable files on the BIPM Time section Internet anonymous FTP, since 22 February 1996. Printed volumes of the *Annual Report of the BIPM Time Section* for 1995 (Volume 8) were distributed in April 1996.

Since January 1996, access to TAI and UTC has been provided for the MJDs ending in 4 and 9. This corresponds to an update period of 5 days for these reference time scales instead of 10 days as previously. This new procedure, suggested by the CCDS working group on TAI in 1995, is well appreciated by time laboratories which can now base their local real-time predictions of UTC on a larger number of data. This also facilitates comparison of the frequencies of primary standards, evaluated over intervals ranging from several hours to several days, with the frequency of TAI.

### **4.2 Algorithms for time scales (J. Azoubib, G. Petit, C. Thomas)**

Research concerning time scale algorithms includes studies which aim to improve the long-term stability of EAL and the accuracy of TAI.

#### 4.2.1 EAL stability

Since the end of 1992, the quality of the timing data received at the BIPM has improved rapidly thanks to the wide use of GPS time transfer and to the extensive replacement of older designs of commercial clocks by the new HP 5071A clocks. Consequently, the stability of the free atomic time scale EAL, the first step in the calculation of TAI, has improved significantly [1]. Values for the stability were estimated by application of the  $N$ -cornered hat technique to data obtained from April 1993 to December 1995 in comparisons between EAL and the best independent time scales of the world (maintained at the BNM-LPTF, the NIST, the PTB, the USNO and the VNIIFTRI). They lead to the following values for the Allan standard deviation  $\sigma_y(\tau)$  [2]:

$$\sigma_y(\tau = 10 \text{ d}) = 3,7 \times 10^{-15}$$

$$\sigma_y(\tau = 20 \text{ d}) = 2,9 \times 10^{-15}$$

$$\sigma_y(\tau = 40 \text{ d}) = 2,6 \times 10^{-15}$$

$$\sigma_y(\tau = 80 \text{ d}) = 3,0 \times 10^{-15}$$

$$\sigma_y(\tau = 160 \text{ d}) = 4,3 \times 10^{-15}$$

The excellent medium-term stability ( $\tau$  close to 40 days) of EAL results in a high predictability of UTC for averaging times of between one and two months. This is often considered as one of the fundamental attributes of the scale by institutions responsible for the dissemination of real-time scales [3].

For further improvement, the stability algorithm which produces EAL may need to be revised. Given this prospect, a change in the upper limit of weights attributed to contributing clocks has been the subject of experiments on real clock data collected at the BIPM. Tests over the period 1993-1995 show the advantage of using an upper limit of relative weights, rather than one of absolute weights, for improving the stability of EAL [4, 5]. This criterion is not yet implemented in the current computation.

#### 4.2.2 TAI accuracy

The accuracy of TAI is characterized by estimates of the departure, and of its relative uncertainty, of the duration of the TAI scale interval from the SI second as produced, on the rotating geoid, by primary frequency standards. The estimates published since January 1995 have been reprocessed through a global treatment of individual measurements of the TAI frequency provided by six of the best primary standards built and evaluated in different timing laboratories:

- PTB CS1, PTB CS2 and PTB CS3, which are classical primary frequency standards operating continuously as clocks at the PTB (Braunschweig, Germany). Frequency measurements are taken over two-month periods and the standard type B uncertainties ( $1 \sigma$ ) are respectively  $3 \times 10^{-14}$ ,  $1,5 \times 10^{-14}$  and  $1,4 \times 10^{-14}$  (PTB CS1 ceased operation in September 1995).
- SU MCsR 102, which is a classical primary frequency standard operated at the VNIIFTRI (Russian Fed.). It has delivered five measurements of the

TAI frequency, averaged over one- or two-month periods, since August 1995. The type B uncertainty of this standard is  $5 \times 10^{-14}$  ( $1 \sigma$ ).

- NIST-7, which is the optically pumped primary frequency standard developed at the NIST (Boulder, U.S.A.). It has provided 18 measurements of the TAI frequency since June 1994, all realized over periods of a few days. The type B uncertainty of NIST-7 is  $1 \times 10^{-14}$  ( $1 \sigma$ ).
- LPTF-FO1, which is a caesium fountain developed at the BNM-LPTF (France). The preliminary evaluation of its accuracy led to a type B uncertainty of  $3 \times 10^{-15}$  ( $1 \sigma$ ), a value never reached before. About 50 measurements of the TAI frequency, most of them averaged over periods of about 10 hours, were sent to the BIPM. They cover the periods September to December 1995 and May 1996.

The results delivered by all of these primary standards, when uniformly corrected for both the gravitational frequency shift and the black-body radiation frequency shift, as recommended by the CCDS in its 13th meeting, are in agreement within the stated uncertainties of the standards. Their global treatment leads to an averaged departure, for the year 1995, of the TAI scale unit from the SI second on the rotating geoid, estimated as  $2 \times 10^{-14}$  s, with a relative uncertainty of  $0,5 \times 10^{-14}$ . Compensation for this discrepancy has already been initiated: it takes the form of cumulative frequency steering corrections, each of relative amplitude  $1 \times 10^{-15}$ , which are applied on dates separated by 60 day intervals, a procedure which should not degrade the stability of the time scale.

### 4.3 Time links (J. Azoubib, W. Lewandowski, G. Petit, C. Thomas)

Since the beginning of 1995, the GPS common-view technique has been the sole means of time transfer used for TAI computation. Nevertheless, the BIPM Time section is interested in any other time comparison method which has the potential for nanosecond accuracy, in particular GLONASS common views and two-way time transfer via geostationary satellites.

#### 4.3.1 Global Positioning System (GPS)

The BIPM still issues, twice a year, GPS international common-view schedules. Schedule No. 26 was implemented in GPS time receivers on 4 January 1996 and Schedule No. 27 on 3 July 1996. The collection and treatment of rough GPS data are effected regularly according to well-known procedures. The international network of GPS time links used by the BIPM is organized to follow a pattern of local stars within a continent, together with two long-distance links, NIST-OP and CRL-OP, for which data is corrected to take account of on-site ionospheric measurements and post-processed precise satellite ephemerides. Only strict common-views are used in order to overcome effects due to the implementation of Selective Availability on satellite signals.

The BIPM also publishes an evaluation of the daily time differences [ $UTC - GPS\ time$ ] in its monthly *Circular T*. These differences are obtained by smoothing data taken from a selection of satellites observed with an angle of elevation greater than  $30^\circ$ . The standard deviation of the daily results is about 12 ns, as Selective Availability is not completely eliminated in this procedure.

An important part of our current work is to check the differential delays between GPS receivers which operate on a regular basis in collaborating timing centres or, on special request, in other laboratories. A one-year exercise involving the differential calibration of the USNO GPS time receiver with respect to the OP receiver is approaching its end. Some receiver delay changes correlated with external temperature variations were observed at the USNO. New differential calibrations started in September 1996 in Australia and East Asia.

Work continues on testing the closure condition through a combination of three links, OP-NIST, NIST-CRL and CRL-OP, using precise GPS satellite ephemerides and ionospheric delays measured at the three sites. The closure condition still shows a residual error of a few nanoseconds on daily averages, which are determined with a precision of less than 1 ns. This difference probably originates from errors in the coordinates of one station and errors in ionospheric measurements. Work is under way to evaluate these errors.

GPS time and frequency transfer may be carried out using dual-frequency carrier-phase measurements. It is expected that an uncertainty of  $10^{-15}$  in frequency transfer will be obtained over a period of one day and subnanosecond accuracy in time transfer [6, 7]. Such data are obtained from the Allen Osborne Associates TTR-4P receiver in operation at the BIPM, but a first comparison experiment has revealed some defects which are being fixed. We are also contacting outside laboratories equipped with similar receivers with a view to continuing experimental work on this subject.

The implementation of technical directives for the standardization of GPS time receiver software and data format, designed in 1993, is now taking place. In May 1996, 18 of the 49 timing centres contributing to TAI were already providing data according to the new data format, in particular the NIST and the OP. This has provided the opportunity, since March 1996, to compute a long-distance GPS link using the new procedure on these two sites: this results in an improvement in the uncertainty of a single measurement [ $UTC(NIST) - UTC(OP)$ ] from 3,4 ns to 2 ns. Within the CCDS group on GPS and GLONASS time transfer standards, the BIPM is now studying the possibility of using standardized hardware, with the aim of reducing, in particular, the variation with outside temperature of some types of receiver currently in operation.

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

Values of [ $UTC - GLONASS\ time$ ], provided from observations of GLONASS satellites by Prof. P. Daly, University of Leeds (United Kingdom), are currently published in the BIPM *Circular T*.

The BIPM is equipped with two 3S Navigation receivers: one of single-frequency type on loan from the company and one of double-frequency type purchased by the BIPM in December 1995. The software in these receivers, which is designed specifically for fully automatic GLONASS common-view observations, is the first of its kind and was developed with the help of the BIPM: in particular, the results are provided in the new format defined by the CCDS group on GPS and GLONASS time transfer standards. In January 1996 the Russian Institute of Radionavigation and Time (Russian Fed.), began to provide GLONASS common-view data on a regular basis using a Russian-built GLONASS time receiver equipped with the software recommended by the BIPM.

The first official international GLONASS common-view schedule was published by the BIPM in December 1995 and implemented on 4 January 1996 in several time laboratories around the world. The second schedule was implemented on 3 July 1996. During the summer of 1996, seven time laboratories observed GLONASS in common view; this number is expected to increase rapidly.

A GLONASS common-view time transfer between California, the East Coast of the United States and the BIPM has been under way since the end of June 1995. Results show a precision similar to that obtained with the GPS common-view method [9, 10], but the internal delays of the GLONASS time receivers are not yet calibrated.

### **4.3.3 Two-way time transfer**

The CCDS working group on two-way satellite time transfer met for the 5th time in Braunschweig (Germany), on 28-29 September 1995. In addition, a more technical meeting of the active stations was held on 8 March 1996 at the NPL (United Kingdom). These meetings were devoted mainly to discussions of a field-trial, the use of an INTELSAT satellite in 1996, and the availability of modems.

The field-trial was an international two-way time transfer experiment through the INTELSAT V-A(F13) satellite and, since July 1995, through INTELSAT 706. It involved both European and North-American laboratories, began in January 1994 and ended in December 1995. Regular time transfer sessions occurred three times per week, on Mondays, Wednesdays and Fridays. The field-trial was a major success in terms of putting into permanent operation an international network of eight stations. However, sub-nano-second time transfer was not obtained. The BIPM is also involved in the comparison of distant clocks by two-way time transfer and GPS common-view time transfer [11, 12].

It is expected that two-way time transfer operational links will start in October 1996, with three weekly sessions, using satellite INTELSAT 706 on a commercial basis. The participating stations would be those which took part in the field-trial.

#### 4.4 Application of general relativity to time metrology (G. Petit, C. Thomas, P. Wolf)

A draft report of the CCDS working group on the application of general relativity to metrology was presented to the CCDS during its 13th meeting in March 1996 by Prof. B. Guinot. Members of the Time section contributed to this report and are currently continuing research on some of the topics concerned [13].

A summary of the research on general relativity and the metrology of time carried out over the last three years at the BIPM Time section is being prepared in the form of a Ph.D. thesis by P. Wolf. It will be presented at Queen Mary and Westfield College (University of London) at the beginning of 1997.

A novel test of the second postulate of special relativity (the universality of the speed of light) has been performed using hydrogen masers and caesium clocks on the ground and on board two GPS satellites (PRN 15 and PRN 28) not affected by Selective Availability. The clocks were compared via carrier phase measurements of the GPS signal using an Allen Osborne Associates TTR-4P time receiver at the BIPM and Allen Osborne Associates Turbo-Rogue geodetic receivers, spread world-wide, at stations of the International GPS Service for Geodynamics (IGS). This is the first test of special relativity that is sensitive to a possible anisotropy of the speed of light in any spatial direction and also the first such test using space-borne clocks providing a baseline of more than 20 000 km. The results of this experiment [14] set an upper limit of  $9 \times 10^{-9}$  on the relative variation of the speed of light  $\delta c/c$ , which represents an improvement by a factor of about 40 on previous direct measurements\*. A laboratory experiment\*\* testing the isotropy of the first order Doppler shift yielded an upper limit of  $\delta c/c$  of  $3 \times 10^{-9}$  but was insensitive in the North-South direction, while the GP-A experiment\*\*\* can be interpreted as setting an upper limit of  $\delta c/c$  of  $3,2 \times 10^{-9}$  in one particular spatial direction. The results obtained should be considered as preliminary to a more complete data set using a larger number of stations and, more importantly, all 24 GPS satellites if the signals are no longer degraded by Selective Availability.

#### 4.5 Pulsars (G. Petit, B. Rougeaux\*\*\*\* )

Millisecond pulsars can, in principle, be used as stable clocks to realize a time scale by means of a stability algorithm. The work carried out over recent years to understand how such a pulsar time scale could be realized and what

---

\* KRISHER T.P. *et al.*, Test of the isotropy of the one-way speed of light using hydrogen-maser frequency standards, *Phys. Rev. D (rapid communication)*, 1990, **42**, 731.

\*\* RIIS E. *et al.*, Test of the isotropy of the speed of light using fast-beam laser spectroscopy, *Phys. Rev. Letters*, 1988, **60**, 81.

\*\*\* VESSOT R.F.C., LEVINE M.W., A test of the equivalence principle using a space-borne clock, *General Relativity & Gravitation*, 1979, **10**, 181.

\*\*\*\* Research student (partly supported through a contract with the CNES).

implications it would have for atomic time has been summarized and published [15]. 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 failures in atomic standards.

Collaboration is under way with 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(BIPM96) in April 1996. This collaboration will continue through the working group on pulsar timing of the IAU Commission 31 (Time), which is chaired by G. Petit.

Studies of a new technique which could be used at radio observatories to obtain more pulsar data are being carried out in collaboration with the Centre National d'Études Spatiales (CNES, France) and with the Paris Observatory at Meudon (France). The possibility of using this technique to discover new pulsars is also under study in the framework of the doctoral work undertaken by B. Rougeaux.

#### **4.6 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 when operating with averaging times of 1 minute to 1 day. We maintain contact with this technique by collaborating with the Paris Observatory and the CNES, particularly through VLBI observations on millisecond pulsars.

#### **4.7 Publications, lectures, travel: Time section**

##### **4.7.1 External publications**

1. THOMAS C., Impact of New Clock Technologies on the Stability and Accuracy of the International Atomic Time TAI, *Proc. 50th IEEE Int. FCS*, 1996, 1123-1130.
2. THOMAS C., Stability and Accuracy of International Atomic Time, *Proc. 10th EFTF*, 1996, 520-527.
3. QUINN T.J., THOMAS C., Role of the BIPM in UTC Dissemination to the Real Time User, *Proc. 27th PTTI*, 1995, 87-96.
4. THOMAS C., AZOUBIB J., Upper Limit of Weights in TAI Computation, *Proc. 27th PTTI*, 1995, 193-208.
5. THOMAS C., AZOUBIB J., TAI Computation: Study of an Alternative Choice for Implementing an Upper Limit of Clock Weights, *Metrologia*, 1996, **33**, 227-240.

6. PETIT G., MOUSSAY P., THOMAS C., GPS Time Transfer Using Carrier Phase and P-Code Measurements, *Proc. 10th EFTF*, 1996, 279-285.
7. PETIT G., THOMAS C., GPS Frequency Transfer Using Carrier Phase Measurements, *Proc. 50th IEEE Int. FCS*, 1996, 1151-1158.
8. HODGE C.C., DAVIS J.A., GALLOP J.C., ALLAN D.W., ASHBY N., BEDRICH S., CUTLER L.S., HAHN J., KERN R.H., LEWANDOWSKI W., MALEKI L., VESSOT R.F.C., Towards 10 Millimeter Real-Time Position Determination and 30 Picosecond Time-Transfer Capability with the Next Generation of Global Navigation Satellite Systems (GNSS), *Proc. ION GPS-96*, 1996, 1127-1142.
9. LEWANDOWSKI W., DANAHER J., KLEPCZYNSKI W.J., GLONASS Common-View Time Transfer Between North America and Europe and its Comparison with GPS, *Proc. 10th EFTF*, 1996, 388-392.
10. LEWANDOWSKI W., DANAHER J., KLEPCZYNSKI W.J., Experiment Using GPS/GLONASS Common-View Time Transfer Between Europe and North America, *Proc. ION GPS-96*, 1996, 271-277.
11. DAVIS J.A., LEWANDOWSKI W., DEYOUNG J.A., KIRCHNER D., HETZEL P., DE JONG G., SOERING A., BAUMONT F., KLEPCZYNSKI W.J., MCKINLEY A., PARKER T., BARTLE K.A., RESSLER H., ROBNIK R., VEENSTRA L., Preliminary Comparison of Two-Way Satellite Time and Frequency Transfer and GPS Common-View Time Transfer During the INTELSAT Field Trial, *Proc. 27th PTTI*, 1995, 347-358.
12. DAVIS J.A., LEWANDOWSKI W., DEYOUNG J.A., KIRCHNER D., HETZEL P., DE JONG G., SOERING A., BAUMONT F., KLEPCZYNSKI W.J., MCKINLEY A., PARKER T., BARTLE K.A., RESSLER H., ROBNIK R., VEENSTRA L., Comparison of Two-Way Satellite Time and Frequency Transfer and GPS Common-View Time Transfer During the INTELSAT Field Trial, *Proc. 10th EFTF*, 1996, 382-387.
13. PETIT G., WOLF P., Computation of the Relativistic Frequency Shift of a Frequency Standard, *CPEM Digest*, 1996, 182.
14. WOLF P., PETIT G., A Test of Special Relativity Using GPS: Preliminary Results, *Proc. 50th IEEE Int. FCS*, 1996, 1193-1197.
15. PETIT G., TAVELLA P., Pulsars and Time Scales, *Astron. Astrophys.*, 1996, **308**, 290-298.
16. PETIT G., Limits to the stability of pulsar time, *Proc. 27th PTTI*, 1995, 387-396.

#### 4.7.2 Lectures and presentations

W. Lewandowski gave a presentation on GLONASS time transfer on 29 November 1995 during the 27th PTTI meeting in San Diego (California, U.S.A.). He attended the meetings of the Civil GPS Service Interface Committee in Falls Church (Virginia, U.S.A.), on 18-21 March 1996, and in Kansas City

(Missouri, U.S.A.), on 14-18 September 1996 where he gave presentations on recent studies in GPS, GLONASS and two-way time transfers. He also gave a lecture on GLONASS time transfer research, on 21 May 1996, at the Laboratoire de Recherches Balistiques et Aérodynamiques in Vernon (France), and a presentation entitled “GPS and GLONASS in Time Metrology”, on 29 August 1996, during the XXVth General Assembly of the URSI in Lille (France).

W. Lewandowski gave a presentation on GPS receiver hardware problems, C. Thomas on implementation of the Technical Directives for GPS time receiver software and G. Petit on multichannel receiver software problems during the open forum on GPS standardization, organized on 28 November 1995 in San Diego by the CCDS group on time transfer standards.

#### **4.7.3 Travel (committees, visits to laboratories and institutions)**

C. Thomas visited:

- San Diego (California, U.S.A.), 28 November-1 December 1995, with W. Lewandowski and G. Petit, to attend the 27th PTTI meeting;
- Teddington (United Kingdom), 4 March 1996, to visit the NPL time services and attend a workshop on the Global Satellite Navigation System GNSS2;
- Brighton (United Kingdom), 5-7 March 1996, to attend the 10th EFTF meeting;
- Honolulu (Hawaii, U.S.A.), 5-8 June 1996, with P. Wolf, to attend the 50th FCS meeting;
- Paris (France), 24 September 1996, to attend the Journées 1996 Systèmes de Référence Spatio-Temporels.

J. Azoubib visited Braunschweig (Germany), 17-20 June 1996, to attend the CPEM'96.

W. Lewandowski visited:

- Braunschweig (Germany), 28-29 September 1995, to participate in the meeting of the CCDS working group on two-way satellite time transfer;
- Teddington (United Kingdom), 8 March 1996, to attend a meeting of the participating stations of the CCDS working group on two-way satellite time transfer;
- Falls Church (Virginia, U.S.A.), 18-21 March 1996, to attend a meeting of the Civil GPS Service Interface Committee;
- Washington DC (U.S.A.), 22 March 1996, to discuss GPS, GLONASS and two-way time transfers with colleagues at the USNO;
- Vernon (France), 21 May 1996, to visit the Laboratoire de Recherches Balistiques et Aérodynamiques;

- Lille (France), 28-30 August 1996, to attend the XXVth General Assembly of URSI;
- Kansas City (Missouri, U.S.A.), 14-22 September 1996, to attend meetings of the Civil GPS Service Interface Committee and of the ION GPS-96.

G. Petit visited:

- Brussels (Belgium), 5 June 1996, for discussions with colleagues at the Observatoire Royal de Belgique;
- Braunschweig (Germany), 17-20 June 1996, to attend the CPEM'96;
- Lille (France), 29 August and 2 September 1996, to attend the XXVth General Assembly of URSI;
- Paris (France), 23 September 1996, to attend the Journées 1996 Systèmes de Référence Spatio-Temporels;
- Amsterdam (Netherlands), 24 September 1996, to attend the Royal Netherlands Academy of Sciences Colloquium on "Pulsar Timing, General Relativity and Internal Structure of Neutron Stars".

P. Wolf visited:

- Grasse (France), 25-27 October 1995, to attend a meeting of the Groupe de Recherche GDR 1053 du CNRS: Gravitation et Expériences (GREX);
- London (United Kingdom), 19-20 September 1996, to work with Prof. I.W. Roxburgh at Queen Mary and Westfield College.

#### **4.8 Activities related to external organizations**

C. Thomas is a member of the Comité National Français de Géodésie et Géophysique and a member of the CRL External Review Committee (Japan).

W. Lewandowski participates in the work of the IUGG and is the BIPM representative on the Civil GPS Service Interface Committee.

G. Petit participates in the work of the IAU, for which he is a member of the working group on astronomical standards and chairman of the working group on pulsar timing of Commission 31 (Time). He is a member of the Scientific Council of the GRGS (France) and of the IERS Central Bureau (France). He is a member of the Comité National Français de Géodésie et Géophysique.

P. Wolf is a member of the GREX (France).

#### **4.9 Visitors to the Time section**

- Prof. Wang Zhi-Tian, Prof. Zhang Yin-Bai, Mr Li Zong-Yang, Miss Jiang Dong-Wei (BIRM, Beijing, People's Rep. of China), 8-10 November 1995.
- Mr B. Simeone (CNAM, Paris, France), 16 November 1995.

- Dr K. Jaldehag (SP, Borås, Sweden), 19 December 1995.
- Dr R. Douglas (NRC, Ottawa, Canada), 14 March 1996.
- Dr E. Davoust (OMP, Toulouse, France), Dr T. Fayard, Mr C. Pieplu (CNES, Toulouse, France), 25 June 1996.
- Dr D. Matsakis (USNO, Washington DC, U.S.A.), 5 September 1996.
- Dr P. Banerjee (NPL, New Delhi, India), 6-10 September 1996.

## 5. Electricity (T.J. Witt)

### 5.1 Summary of the work of the Electricity section

The highlights of our activities in the year ending September 1996 include two comparisons of 1 V Josephson voltage standards by means of our transportable apparatus. These comparisons took place at the NIM (People's Rep. of China) and the SP (Sweden). The results give, between the 1 V Josephson voltage standards of the individual laboratories and that of the BIPM, relative differences no greater than 1 part in  $10^{10}$  with, in each case, a total relative combined standard uncertainty no greater than 3 parts in  $10^{10}$ . In October 1995 we took our transportable quantum Hall effect resistance standard apparatus, including cryostat, magnet and resistance bridge, to the PTB (Germany) and carried out the third on-site comparison of quantum Hall effect standards. The results demonstrate agreement between measurements made with the two systems to within a few parts in  $10^9$  with a relative combined total standard uncertainty of about the same value. Both the transportable Josephson effect and quantum Hall effect apparatus are capable of providing traceability between laboratories with uncertainties smaller, by one order of magnitude or more, than those of conventional travelling standards.

Considerable progress has been made in the assembly of an impedance bridge which will serve to link the quantized Hall resistance to the impedance of standard capacitors.

Low-frequency spectral analysis of electronic voltage standards based on Zener diodes has revealed a statistically significant temperature dependence of the output voltages.

An important development is under way in the programme of bilateral comparisons of electrical standards. We are purchasing travelling standards which will be sent from the BIPM to participating laboratories for bilateral comparisons.

### 5.2 Electrical potential

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

In October 1995, on the occasion of the CGPM, the KRISS (Rep. of Korea) donated to the BIPM a 1 V array of Josephson junctions made in their own labo-

ratory and the PTB donated a 10 V array made at the PTB. Both arrays were tested and work perfectly. They are now important components of the BIPM Josephson array voltage standards. We take this opportunity to thank the KRISS and the PTB for these donations.

Two new comparisons of 1 V Josephson array voltage standards were carried out in the period covered by this report. In November 1995 our equipment was taken to the NIM. In addition to direct and indirect comparisons of Josephson standards this exercise included comparisons of calibrations of standard cells with the two Josephson standards. It also included a rigorous check on the frequency stability and counting differences. With the help and advice of Y. Sakamoto of the ETL (Japan), a frequency chain was set up to evaluate the precise difference between the stipulated output frequency displayed by each frequency stabilizer-counter and the true frequency emitted by the stabilized source. The measured differences were found to be 0,1 Hz (corresponding to 1,2 parts in  $10^{12}$ ) for the NIM stabilizer-counter and 0,3 Hz (corresponding to 3,6 parts in  $10^{12}$ ) for that of the BIPM.

In April 1996 we took our Josephson array standard to the SP. In general, this comparison proceeded very well, particularly in the comparison of results from calibrations of a stable standard cell with the two Josephson standards. However, during the first sets of indirect comparisons of the two Josephson standards via the BIPM voltage transfer reference, the room temperature rose above the set point of its temperature regulator. This caused an unusually high drift of the output voltage of the reference so the voltages read by the nanovolt detector were considerably greater than usual. The data seem to indicate a correlation between the results of these sets of measurements and the amplitudes of the detector readings. A closer examination of pen recordings revealed small variations in the detector sensitivity depending on differences in the characteristics of the electromagnetic interference injected into the detector by each Josephson apparatus. By simulating the effect of small variations in the detector sensitivity, we came to realize that the supposed correlation between the amplitudes of the measured voltages and the results obtained was simply a consequence of the limited stability of the sensitivity of the detector. This poses no problem in the usual measurement situation where the signal amplitudes read by the detector are small.

The results for the NIM/BIPM and SP/BIPM comparisons, expressed as the differences between the values attributed to a 1,018 V standard by the laboratories, and the combined standard type A and type B uncertainties are

$$U_{\text{NIM}} - U_{\text{BIPM}} = -0,01 \text{ nV} \qquad u_c = 0,11 \text{ nV}$$

and

$$U_{\text{SP}} - U_{\text{BIPM}} = +0,1 \text{ nV} \qquad u_c = 0,3 \text{ nV}$$

where  $u_c$  is the combined standard uncertainty and includes type A and type B components from both laboratories.

### 5.2.2 Spectral analysis of nanovoltmeters and voltage standards (T.J. Witt)

We are now carrying out low-frequency spectral analysis to characterize the performance of nanovoltmeters and the noise of some DC voltage reference standards at frequencies in the range 10 Hz to 5 mHz and of DC reference standards from several hertz to nearly 10  $\mu$ Hz. The software and memory capacities of personal computers now make it possible to carry out low-frequency spectral analysis of data acquired at low reading rates at costs which are very modest when compared with commercial low-frequency spectrum analysers.

To evaluate and use a nanovoltmeter it is useful to know the frequency response, particularly the noise bandwidth,  $B$ . This can easily be determined by spectral analysis. A knowledge of  $B$  helps in the design of procedures for data acquisition. A knowledge of the power spectral density is helpful for designing procedures and provides a clear way of visualizing the responses of voltmeters equipped with various analogue and digital filters, integration functions and statistical functions. Spectral analysis can also detect undesirable effects in nanovoltmeters, voltage standards and the entire measurement apparatus, including the laboratory environment. The results of undesirable effects can sometimes be observed in spectra as peaks produced by periodic signals or  $1/f$  noise produced by drifts.

After evaluating the spectra of three nanovoltmeters we chose one of them to compare the noise characteristics of standard cells and Zener diode-based electronic voltage standards of the type most often used as secondary reference voltage standards in connection with Josephson array voltage standards. Spectral analysis suggested a correlation between the output voltages and the surrounding temperature, and led to a detailed study of this temperature dependence. We propose that this temperature dependence may be responsible for inconsistencies in comparisons of the results of Josephson calibrations via this type of travelling standard, and for variations of the output voltages following switching of the power source from mains to the internal battery and vice-versa.

### 5.3 Electrical resistance: on-site comparisons of quantum Hall resistance standards (F. Delahaye and T.J. Witt)

This year we carried out an on-site comparison of quantum Hall effect (QHE) resistance standards at the PTB. This comparison is the third of a BIPM programme to verify the international coherence of primary resistance standards by comparing the quantum Hall effect standards of national laboratories with that of the BIPM. The procedure used for this comparison is the same as that used for the first two. The complete BIPM transportable QHE standard was taken to the PTB and, from 16 to 20 October 1995, measurements of a 100  $\Omega$  standard in terms of the quantized Hall resistance  $R_H(2)$  were carried out with the QHE standards of the two laboratories. Similarly, measurements of 10 000  $\Omega/100 \Omega$  and 100  $\Omega/1 \Omega$  ratios were carried out with the instruments of both laboratories. The results of the comparison demonstrate an excellent agreement between the PTB and the BIPM

for measurements of the 100  $\Omega$  standard in terms of  $R_H(2)$  as well as for the 10 000  $\Omega/100 \Omega$  and 100  $\Omega/1 \Omega$  ratios. In the first two cases the results agree well within the total standard uncertainty of the comparison (1,9 parts in  $10^9$ ). The preliminary results for the 100  $\Omega/1 \Omega$  ratio give a slight but significant difference of  $-6$  parts in  $10^9$  between the PTB and the BIPM. The origin of the difference was eventually traced to a typographical error in the transcription of the results of the calibration of the resistive divider used to balance the PTB cryogenic current comparator bridge. The final result for the comparison of the 100  $\Omega/1 \Omega$  ratio measurements is a difference of 1,2 parts in  $10^9$  with a combined uncertainty,  $u_c$ , of 2,6 parts in  $10^9$ . In all cases the level of agreement demonstrated by this on-site comparison with the PTB is significantly better than that which can be tested by traditional comparisons based on travelling resistance standards.

## 5.4 Impedance measurements (F. Delahaye and J. Melcher)

### 5.4.1 Development of AC bridges for the calibration of capacitance standards

Work continued on the project aimed at calibrating capacitance standards in terms of the quantized Hall resistance. A major component of the calibration chain linking capacitance standards to the quantized Hall resistance is an impedance bridge (based on a voltage ratio transformer) which is now being assembled. This will allow us to calibrate impedance ratios that differ slightly from fixed integer ratios and, in particular, will be used to calibrate capacitance ratios of nominal value 10. In order to achieve relative uncertainties of a few parts in  $10^8$  for the impedance ratios, an apparatus is needed to calibrate the voltage ratio transformer. The construction of the main parts of the impedance bridge and most main parts of the calibration setup is complete, and the impedance bridge is nearly assembled. We express our thanks to the PTB for making possible the three-month stay of Mr V. Bürkel to aid in the assembly of this apparatus.

### 5.4.2 Measurements of the quantized Hall resistance at kilohertz frequencies

Investigations continue with the objective of establishing the uncertainty with which quantized Hall resistances may be used as impedance standards at frequencies near 1,6 kHz. Last year, measurements carried out at 1,6 kHz, revealed inconsistencies of about 1 part in  $10^7$  between quantized Hall resistances. Since then, measurements of the residual longitudinal resistivity of the samples suggest that these imperfections are due to AC losses arising in the samples themselves. However, we have also discovered a source of uncertainty external to the samples: a synchronous interference signal, probably of microphonic origin, in the coaxial cables that we made ourselves to fit to the cryogenic probe. We are now experimenting with miniature coaxial cables which may be more suitable. In view of the difficulties in measuring the quantized Hall resistance itself at 1,6 kHz, and as a way of carrying out some metrological checks, we plan to try an alternative method of

linking the quantized Hall resistance to capacitance standards. This would use conventional AC resistance standards having a calculable AC-DC resistance difference at 1,6 kHz. Such standards could be calibrated in terms of the quantized Hall resistance using DC and used with AC for capacitance measurements.

### 5.5 Bilateral comparisons of electrical standards at the BIPM (T.J. Witt)

We are announcing an important new development in our scheme for bilateral comparisons with the objective of showing rigorous traceability of basic electrical standards to those of the BIPM. We are now purchasing, or seeking to purchase, travelling standards of the highest quality for use by national metrological institutes in bilateral comparisons. This procedure has several advantages over the usual method of sending standards belonging to a national metrological institute to the BIPM: 1) the travelling standards will be characterized by the BIPM before they are put into use; 2) they will be measured at the BIPM before and after each comparison so that their behaviour as a function of time over the period of a comparison can be compared with the previous history of the standard and 3) this procedure makes it unnecessary for laboratories to send their own standards including, sometimes, parts of their national reference group, to the BIPM. We plan to acquire six of each of the following standards: 1  $\Omega$  resistors, 10 k $\Omega$  resistors and Zener diode-based electronic voltage standards having outputs of 1,018 V and 10 V.

The results and standard uncertainties of the bilateral comparisons completed during the last year are given in the tables below. They appear in tabulated form in *Metrologia* (1996, **33**, 271-287). The last column indicates whether the laboratory decided to change the value attributed to its standards. The voltage comparison with the IEN (Italy) was carried out with a Zener standard belonging to the BIPM and is the first such comparison. The IEN values are based on measurements with its Josephson standard. In the resistance comparison with the CEM (Spain), the CEM values are based on measurements with a quantum Hall effect standard.

#### VOLTAGE STANDARDS

Laboratory	Date	1,018 V		10 V		change
		$(U_{\text{LAB}} - U_{\text{BIPM}})/\mu\text{V}$	$s/\mu\text{V}$	$(U_{\text{LAB}} - U_{\text{BIPM}})/\mu\text{V}$	$s/\mu\text{V}$	
IEN (Turin)	1996-03-19	-0,008	0,042			no
NML (Dublin)	1996-06-07	-0,16	0,5	0,19	2,5	

#### RESISTANCE STANDARDS

Laboratory	Date	1 $\Omega$		10 k $\Omega$		change
		$(U_{\text{LAB}} - U_{\text{BIPM}})/\mu\Omega$	$s/\mu\Omega$	$(U_{\text{LAB}} - U_{\text{BIPM}})/c\Omega$	$s/c\Omega$	
NML/CSIR (Pretoria)	1996-01-02	-0,35	0,15			no
CEM (Madrid)	1996-06-02	-0,08	0,09	-0,02	0,02	no
NML (Dublin)	1996-06-02	-0,03	0,40	-0,25	0,80	

## 5.6 Routine calibrations

### 5.6.1 Equipment

This year, the installation for Zener diode standards was moved to a new location on the ground level of room 4. Relative to its former location on the balcony, the equipment is subjected to less severe drafts and electromagnetic interference, and at the same time the standards are more accessible. The new installation is fitted with high-quality rotary switches for connecting standards to the measurement apparatus. A new set of reference resistors has been assembled to calibrate the divider for 10 V Zener measurements.

### 5.6.2 Calibrations

This year, calibrations were carried out on the following standards: Zener diode standards for Belgium, Brazil, the Czech Republic, Ireland and South Africa, and standard cells for the former Yugoslavia; 1  $\Omega$  resistors for Belgium, Brazil, Ireland, Israel, Portugal, Spain, South Africa and the former Yugoslavia; 10 k $\Omega$  resistors for Belgium, Brazil, Ireland, Norway and Poland.

## 5.7 Publications, lectures, travel: Electricity section

### 5.7.1 External publications

1. REYMANN D., KIM K.-T., CHRISTIAN L.A., FRENKEL R.B., WITT T.J., Comparisons of the Josephson voltage standard of the BIPM with those of the KRISS, the MSL and the NML, *Metrologia*, 1996, **33**, 75-79.
2. REYMANN D., XUE S.Q., LIU R.M., LI H.H., GAO J., ZHOU Y.Q., WITT T.J., Comparison of the Josephson voltage standards of the NIM (China) and the BIPM, *Metrologia*, 1996, **33**, 475-478.
3. DELAHAYE F., WITT T.J., JECKELMANN B., JEANNERET B., Comparison of quantum Hall effect resistance standards of the OFMET and the BIPM, *Metrologia*, 1995/96, **32**, 385-388.

### 5.7.2 Lectures and presentations

T.J. Witt gave a presentation entitled "International comparisons of electrical standards by the BIPM" at the NIM (Beijing, People's Rep. of China), 9 November 1995.

D. Reymann lectured on some practical applications of quantum phenomena in metrology at the École Normale Supérieure (Cachan, France), 22 February 1996.

T.J. Witt gave a presentation entitled "BIPM comparisons of Josephson array voltage standards" at the SP (Borås, Sweden), 25 April 1996.

T.J. Witt, F. Delahaye, D. Reymann and J. Melcher attended the CPEM'96 in Braunschweig (Germany), 17-20 June 1996, and presented or co-authored the following lectures and poster:

- Low frequency spectral analysis of DC nanovoltmeters and voltage reference standards (T.J. Witt), lecture, see also *CPEM Digest*, 1996, 330-331;
- Accurate comparisons of quantized Hall resistances at 1,6 kHz (F. Delahaye, J. Melcher and J. Boháček), see also *CPEM Digest*, 1996, 150;
- Comparison of the Josephson Voltage Standards of the Sveriges Provnings och Forskningsinstitut and the Bureau International des Poids et Mesures (D. Reymann, T.J. Witt, G. Eklund, H. Pajander, H. Nilsson) poster, see also *CPEM Digest (supplement)*, 1996, 3-4.

### 5.7.3 Travel (committees, visits to laboratories and institutions)

T.J. Witt visited:

- the PTB (Braunschweig, Germany), 16-20 October 1995, with F. Delahaye, for a comparison of quantum Hall effect standards;
- the NIM (Beijing, People's Rep. of China), 2-10 November 1995, with D. Reymann, for Josephson array comparisons;
- the NMI-VSL (Delft, Netherlands), 15-16 November 1995, to attend a meeting of EUROMET contact persons in electricity;
- the IEN (Turin, Italy), 20 November 1995 and 14 March 1996, to attend meetings of the IEN Scientific Council and to visit the electricity laboratories; on 14 March he delivered an electronic voltage standard for a comparison;
- the SP (Borås, Sweden), 18-26 April 1996, with D. Reymann, for Josephson array comparisons;
- Braunschweig (Germany), for a meeting of the GT-RF Subgroup on international comparisons on 17 June, a meeting of the Executive Committee of the CPEM, on 19 June and a meeting of the CCE working group on international comparisons, on 20 June 1996, during the CPEM;
- the PTB (Braunschweig, Germany), 21 June 1996, with F. Delahaye and J. Melcher, to attend a EUROMET experts meeting on single electron tunnelling and quantum current standards;
- the BEV (Vienna, Austria), 18-19 September 1996, to attend a EUROMET meeting of contact persons in electricity. He gave a brief report on the progress of the CCE working group on international comparisons.

F. Delahaye attended a meeting of the IEC working group on General concepts in electrotechnology in Copenhagen (Denmark), 22-26 April 1996.

## 5.8 Activities related to external organizations

T.J. Witt is a member of the Scientific Council of the IEN. He is also a member of the Executive Committee of the CPEM.

F. Delahaye is a member of the IEC working group on General concepts in electrotechnology.

## 5.9 Visitors to the Electricity section

### 5.9.1 Guest workers

- Mr V. Bürkel (PTB, Braunschweig, Germany) worked on the assembly of components for AC bridges and ancillary equipment from January 1996 to March 1996.
- Dr Haruo Yoshida (Advantest, Sendai, Japan) came on 24 June 1996 and made an important modification of the phase lock loop driver he had given us in 1992.
- Dr Abla H. Abd El Rahman (NIS, Cairo, Egypt) visited the Electricity section, discussed details of the Josephson array voltage standards and other voltage measurements and discussed preliminary results of our measurements of pressure effects on Zener-diode-based voltage standards from 8 July to 2 August 1996.

### 5.9.2 Visitors

- Dr F. Jelinek (CMI, Prague, Czech Rep.) and Dr P. Kneppo (SMU, Bratislava, Slovak Rep.), 11 October 1995.
- Messrs J.R. da Silva and E. Afonso (INMETRO, Rio de Janeiro, Brazil), 27 November and 8-12 December 1995.
- Messrs R. Cerri and A. Sosso (IEN, Turin, Italy), 25-26 March 1996.
- A group of professors and students from the École Normale Supérieure (Cachan, France), 1 April 1996.
- Ms I. Delgado (CEM, Madrid, Spain), 2 May 1996.
- Dr L. X. Liu, Mr S. W. Chua and Mr T. Y. Sim (NMC-PSB, Singapore), 27 June 1996.
- Mr Miguel Coterón de la Fuente (CEM, Madrid, Spain), 1 July 1996.
- Mr Ciaran Grace (NML-Forbairt, Dublin, Ireland), 22 July 1996.

## 6. Radiometry, photometry, thermometry and pressure (R. Köhler)

### 6.1 Radiometry, photometry (R. Köhler, R. Goebel)

Following the decisions of the 1994 meeting of the CCPR, the BIPM is currently acting as the pilot laboratory for two international comparisons in the fields of radiometry and photometry. One concerns cryogenic radiometers, the other the luminous responsivity of photometers. The BIPM will also participate in a CCPR comparison of luminous flux and luminous intensity, using lamps.

Following the three comparisons described in the report for 1995, the BIPM cryogenic radiometer was, for the first time, taken to another laboratory, the PTB (Germany). Measurements taken there allowed a comparison of the BIPM (Radiox, Oxford Instruments) with the PTB cryogenic radiometer (LR5, Cam-

bridge Research Instruments) over a period of four weeks. The comparison was carried out with a laser beam at a wavelength of 632,8 nm and a constant power level of about 730  $\mu\text{W}$ . If  $p_{\text{Radiox}}$  and  $p_{\text{LR5}}$  are the optical powers as measured by the two radiometers, the result of the comparison is expressed by the relative power difference:

$$r(\text{Radiox, LR5}) = (p_{\text{Radiox}} - p_{\text{LR5}}) / p_{\text{Radiox}}$$

and is given by:

$$r(\text{Radiox, LR5}) = 2,3 \times 10^{-4},$$

with a combined standard uncertainty  $u_c(r) = 0,6 \times 10^{-4}$ .

Fourteen so-called “tunnel traps” have been constructed at the BIPM. These devices, based on a NIST design, transmit the residual, non-absorbed light, in contrast to the “reflection” traps used so far at the BIPM, which reflect this small fraction of the incident light. These new trap detectors will be used in conjunction with traps of earlier design as transfer instruments for a comparison of cryogenic radiometers. The comparison will be carried out by fourteen laboratories working in three groups. Each laboratory will receive two tunnel traps and one reflection trap. Each detector has been characterized and calibrated at the six laser wavelengths proposed for the comparison: 476,2 nm (Kr), 488,0 nm (Ar), 514,5 nm (Ar), 568,2 nm (Kr), 632,8 nm (He-Ne), 647,1 nm (Kr). Participating laboratories have been asked to calibrate the detectors at three at least of the wavelengths on this list. The traps have also been checked at the BIPM for sensitivity to the direction of polarization, uniformity of sensitivity and temperature coefficient.

In photometry, preparations for the international comparison of luminous responsivity using photometers are well under way. Three photometers from different manufacturers were purchased and characterized. Their spectral responsivity was measured and compared with the  $V(\lambda)$  curve by calculating the value of the usual coefficient  $f'_1$  and the colour correction factor. The photometers will be used as a common reference set for comparison of the national scales of photometers sent to the BIPM. Their stability will be checked by comparison within the group itself and by regular comparison with a group of lamps.

Work has started on a radiometric realization of the candela at the BIPM to be based on our cryogenic radiometer.

Lamps for calibration of luminous intensity and luminous flux have been purchased and aged in readiness to take part in the international comparison of lamps, organized by the PTB.

Lamps maintaining the colour temperature scale of the BIPM were compared at the NPL (United Kingdom) with the NPL scale. The comparison took place at the following colour temperatures: 2042 K, 2200 K, 2353 K, 2600 K, 2800 K and 2853 K. The two scales agree within their standard uncertainties, about 10 K, at these colour temperatures.

## 6.2 Thermometry and pressure (R. Köhler, R. Pello)

The international comparison of the temperature of triple point of water cells, begun in 1994, is complete and measured differences are compatible with the combined standard uncertainties; it involved twelve national laboratories. The results are available in the form of a BIPM report which is also a working document for the 19th meeting of the CCT in September 1996.

The temperatures at which the triple point of water is realized in participating laboratories are generally within 0,1 mK, but larger differences are sometimes observed and one cell showed significant changes during the comparison. These results show that uncertainties arising from the realization of the triple point of water are significant in establishing a temperature scale and could well explain observed discrepancies among national temperature scales.

## 6.3 Calibration work

Five lamps of luminous intensity and five lamps of luminous flux were calibrated for the GUM (Poland). Three lamps of luminous intensity, thirteen lamps of luminous flux and seven lamps of distribution temperature were calibrated for the EZU (Czech Rep.). Three lamps of luminous intensity and three lamps of luminous flux were calibrated for the SP (Sweden). Two photodiodes were calibrated for spectral responsivity for the PSB (Singapore). Two platinum resistance thermometers were calibrated for the INM (Romania). During the year pressure gauges were calibrated for the Electricity, Mass and Ionizing radiation sections.

## 6.4 General work (R. Köhler, R. Goebel, A. Zarka)

Extension of the BIPM internal computer network has allowed more users access to e-mail and other services of the Internet. A server for a future BIPM "home page" on the world-wide-web has been installed together with a system of protection, a so-called firewall, which impedes unwanted access to BIPM computing facilities from the outside.

## 6.5 Publications, lectures, travel: Radiometry, photometry, thermometry and pressure section

### 6.5.1 External publications

1. BUTLER D.J., KÖHLER R., FORBES G.W., Diffraction effects in the radiometry of coherent beams, *Appl. Opt.*, 1996, **35**, 2162-2166.
2. KÖHLER R., GOEBEL R., PELLO R., Results of the international comparison of spectral responsivity of silicon photodetectors, NEWRAD 1994, *Metrologia*, 1996, **32**, 463-468.

3. GOEBEL R., KÖHLER R., PELLO R., Some effects of low-power ultraviolet radiation on silicon photodiodes, NEWRAD 1994, *Metrologia*, 1996, **32**, 515-518.
4. KÖHLER R., GOEBEL R., PELLO R., TOUAYAR O., BASTIE J., First results of measurements with the BIPM cryogenic radiometer and comparison with the INM cryogenic radiometer, NEWRAD 1994, *Metrologia*, 1996, **32**, 551-555.
5. GOEBEL R., YILMAZ S., KÖHLER R., The stability under vacuum of silicon trap detectors and their use as transfer instruments in cryogenic radiometry, *Appl. Opt.*, 1996, **35**, 4404-4407.
6. GOEBEL R., PELLO R., KÖHLER R., HAYCOCKS P., FOX N., Comparison of the BIPM cryogenic radiometer with a mechanically cooled cryogenic radiometer from the NPL, *Metrologia*, 1996, **33**, 177-179.
7. GOEBEL R., YILMAZ S., PELLO R., Polarization dependence of trap detectors, *Metrologia*, 1996, **33**, 207-213.
8. KÖHLER R., GOEBEL R., STOCK M., PELLO R., An International Comparison of Cryogenic Radiometers, In *Optical Radiation Measurements III (SPIE Proc. 2815)*, 1996, 22-30.
9. QUINN T.J., MARTIN J.E., Total radiation measurements of thermodynamic temperature, *Metrologia*, 1996, **33**, 375-381.

#### **6.5.2 BIPM report**

10. PELLO R., GOEBEL R., KÖHLER R., Report on the international comparison of water triple-point cells, *Rapport BIPM-96/8*, 1996, 46 p.

#### **6.5.3 Lectures and presentations**

R. Köhler gave a presentation entitled “Optical radiometry at the BIPM” at the NPLI (New Delhi, India), 31 October 1995.

R. Köhler gave a presentation entitled “Improving the accuracy of photometric base scales – how can we bring the accuracy of cryogenic radiometers into photometric standards ?” at a workshop on “New technologies for optical radiation measurements” during the CIE meeting in New Delhi (India), 2 November 1995.

R. Pello gave a presentation entitled “Le BIPM et la Convention du Mètre” at a meeting of the Rotary Club of Chaville (France), 27 March 1996.

R. Köhler gave a presentation entitled “An international comparison of cryogenic radiometers” at the annual meeting of the SPIE in Denver (U.S.A.), 5-9 August 1996.

#### **6.5.4 Travel (committees, visits to laboratories and institutions)**

R. Köhler visited:

- New Delhi (India), 30-31 October 1995, for discussions and a visit to the NPLI laboratories, and 1-8 November 1995, to attend a CIE meeting;

- Lisbon (Portugal), 4-5 March 1996, to assist as an observer at a EURO-MET meeting on thermometry;
- Turin (Italy), 11-12 March 1996, to assist as an observer at a EUROMET meeting on radiometry;
- Teddington (United Kingdom), 25-26 March 1996, for a joint CCT/CCPR working group meeting;
- Paris (France), 29 April-3 May 1996, for the calibration of tungsten ribbon lamps at the BNM-INM;
- Denver (U.S.A.), 5-9 August 1996, with R. Goebel, for the annual meeting of the SPIE;
- Ottawa (Canada), 12-13 August 1996, to visit the NRC;
- Vienna (Austria), 30-31 August 1996, for the Division 2 Meeting of the CIE and to participate in discussions of technical committees.

R. Goebel visited:

- the PTB (Braunschweig, Germany), 6-29 November 1995, for a cryogenic radiometer comparison;
- the NPL (United Kingdom), 15-16 January 1996, to deliver photometric lamps and visit the radiometry and photometry sections;
- Gaithersburg (U.S.A.), 12-13 August 1996, to visit the NIST.

R. Pello visited:

- the PTB (Braunschweig, Germany), 6-11 November and 28-29 November 1995, for a cryogenic radiometer comparison;
- the NPL (Teddington, United Kingdom), 11 June 1996, to deliver black samples for calibration of reflectivity and discussions on pressure comparisons;
- Leicester (United Kingdom), 12 June 1996, to deliver a Rank Taylor alignment telescope for repair.

## **6.6 Activities related to external organizations**

R. Köhler is a member of the CIE technical committee 2.29 "Measurements of Detector Linearity". He recently joined the technical committee 2.37 "Guide to photometry using detectors as transfer standards" and was invited to participate in the working group for the preparation of a new version of the "lighting vocabulary" of the CIE.

## **6.7 Visitors to the Radiometry, photometry, thermometry and pressure section**

### **6.7.1 Guest workers**

- Mr Cheong (SISIR, Singapore), visited the BIPM from 16 to 27 October 1995 to work in the temperature section.

- Mr P. Zabarel (University Paris VII, Paris, France), visited the BIPM from March 1996 to September 1996, to work on the properties of photometers and to set up measurement facilities for the comparison of photometers during the international comparison.
- Dr M. Stock (PTB, Berlin, Germany), visited the BIPM from March 1996 to September 1996 to work on the cryogenic radiometer and the properties of trap detectors.
- Prof. P. Martin (University of British Columbia, Vancouver, Canada), joined the BIPM in July 1996 to work in the field of photometry on a radiometric realization of the candela. He will stay until June 1997.

### 6.7.2 Visitors

- Dr M. Nogueira Frota (INMETRO, Rio de Janeiro, Brazil), 19 October 1995.
- Mr V. Tan (SISIR, Singapore), 19 October 1995.
- Dr J. Nicholas (MSL, New Zealand), 19 October 1995.
- Dr A.I. Pokhodoun and Mrs A.G. Ivanova (VNIIM, St-Petersburg, Russian Fed.), 17 and 27 October 1995.
- Dr I. Olivier (CSIR, Pretoria, South Africa), 14 November 1995.
- Mrs S. Tanase-Gaita (INM, Romania), 4-6 December 1995.
- Mrs C. Niculescu (INM, Romania), 18-21 December 1995.

## 7. Ionizing radiation (J.W. Müller\* and M. Boutillon)

The work of the Ionizing radiation section is mainly devoted to international comparisons and to periodic calibration of secondary standards for countries which have no primary standards. In addition, several experimental studies are in hand to improve the accuracy of realization of some physical quantities, such as air kerma in the low-energy x-ray range and source activity.

### 7.1 Dosimetry (x and $\gamma$ rays, neutrons) (M. Boutillon and G. Ratel)

#### 7.1.1 X and $\gamma$ rays (M. Boutillon, P. Allisy-Roberts and D.T. Burns)

##### i) *Correction factor for electron loss in free-air chambers*

The principle of operation of the free-air chamber requires that all electrons come to rest in air. However, for many standards used at the high-energy end of their operating range the most energetic electrons can reach the walls of the chamber, which leads to a deficit in the charge collected. This is accounted for by applying a correction which is about 1 % at 250 kV for the BIPM standard.

---

\* Section head until 30 April 1996

In most laboratories, the values currently used for these corrections are derived from experiments made in the 1960s, although there is recent experimental evidence to suggest that these values underestimate the effect.

An alternative approach is to simulate the chamber geometry and radiation transport using the EGS4 Monte Carlo computer code which has been widely applied to problems in radiation dosimetry. Trial calculations using a Pentium processor computer indicate that a precision of better than 0,1 % is achievable. A study of possible errors in the calculations is in progress and will be followed by calculation of the correction at energies in the range 20 keV to 300 keV.

ii) *Reference qualities in the x-ray range*

As recommended by Section I of the CCEMRI, a strongly filtered ISO quality (40 kV, half-value layer = 2,71 mm Al) has been added to the set of reference qualities used for the comparison of air kerma standards and for calibration in the energy range. However, the air kerma rate obtained with this new quality is very low (0,02 mGy s<sup>-1</sup>) and the statistical uncertainty in the measurements is four times that obtained at the other reference qualities.

iii) *Ion recombination in free-air and cavity chambers*

With the objective of reducing one cause of uncertainty in the calibration of transfer instruments, an experimental study of ion recombination in various types of ionization chamber has begun. The results will be compared with those predicted by the Boag theory to obtain an experimental evaluation of the quotient  $\alpha / (k_+ k_-)$ , where  $\alpha$  is the recombination coefficient and  $k_+$ ,  $k_-$  are the mobilities of the positive and negative ions.

iv) *<sup>137</sup>Cs source*

The observed variation of the air kerma rate with geometry has been investigated. This rate is found to vary significantly with beam diameter and its variation with distance from the source differs significantly from the inverse square law. This is caused by imperfect collimation of the photon beam. To verify that this variation has no significant effect on calibration in terms of air kerma in the BIPM beam, several types of transfer chamber were calibrated in the reference plane (1 m from the source) with 11 cm and 20 cm beam diameters. For all chambers, the calibration factor varied by less than 0,05 %.

It was noted last year that the air kerma rate is decreasing slightly more rapidly than would be expected from the source half life of <sup>137</sup>Cs. To check that this is not important for calibrations, a transfer chamber of Shonka type has been calibrated periodically during the last two years: no significant shift in its response has been observed.

v) *Comparisons and calibrations at the BIPM*

Two comparisons of air kerma standards have been made in the <sup>137</sup>Cs beam. The first was with the BEV (Austria) and the second with the BNM-LPRI

(France). The previously reported preliminary result with the NIST (U.S.A.) has now been finalized. These results are shown in Table 7.1.

Three comparisons of air kerma standards in  $^{60}\text{Co}$  radiation have been made, with the BEV, the LNMRI (Brazil) and the NIST. The results are also shown in Table 7.1. The comparison with the NIST gave the same result, within the uncertainties, as that (0,9974,  $\sigma = 0,0055$ ) obtained in 1971.

TABLE 7.1  
*Comparisons of air kerma standards*

Laboratory	$^{137}\text{Cs}$		$^{60}\text{Co}$	
	$K_{\text{LAB}}/K_{\text{BIPM}}$	$\sigma_{(K_{\text{LAB}}/K_{\text{BIPM}})}$	$K_{\text{LAB}}/K_{\text{BIPM}}$	$\sigma_{(K_{\text{LAB}}/K_{\text{BIPM}})}$
BEV	0,9945	0,0028	1,0029	0,0025
LNMRI	—	—	1,0004	0,0023
BNM-LPRI	1,0019	0,0031	—	—
NIST	1,0017	0,0042	0,9982	0,0050

Comparisons of air kerma standards in  $^{137}\text{Cs}$  gamma radiation have now been made between the BIPM and four national laboratories, the BEV, the BNM-LPRI, the NIST and the OMH (Hungary). The results of these comparisons, between standards of different size and shape, show an overall agreement within 0,8 %, which is considered acceptable for radiation protection applications. These results, when compared with those obtained in the  $^{60}\text{Co}$  beam in previous years using the same standards (BEV, BNM-LPRI, OMH), give some indication that for each ionization chamber the wall correction factor may not be as reliable as generally assumed.

Several ionization chambers used as secondary standards of air kerma or absorbed dose to water have been calibrated in the x-ray and  $\gamma$ -ray beams for the BNM-LPRI, the LNMRI, the NSIS (Norway), the OFMET (Switzerland) and the SRPI (Sweden).

Active collaboration with the IAEA continues in support of its SSDL programme. Thermoluminescent dosimeters were irradiated in the BIPM water phantom (2 Gy absorbed dose) on six occasions. The results remain well within the 1 % uncertainty quoted by the IAEA.

Following the recommendations of the CCEMRI, the section has started work on the transfer system for absorbed dose measurement in high-energy photon beams.

### 7.1.2 Neutron measurements (G. Ratel)

The international comparison of neutron fluence measurements at 24,5 keV, using three Bonner spheres as transfer instruments, is continuing. Six laboratories (CIAE, ETL, NIST, NPL, PTB and VNIIM) are participating in this comparison which should be completed before the end of 1997. The BIPM facilities were transferred to a new location during the year and regular stability checks show that the results of the measurements have changed by less than 0,1 %.

## 7.2 Radionuclides (J.W. Müller and G. Ratel)

### 7.2.1 Activity measurements (G. Ratel)

#### i) Trial comparison of $^{204}\text{Tl}$ activity measurements

The initial results from the trial comparison of  $^{204}\text{Tl}$  activity measurements among six laboratories (BNM-LPRI, CIEMAT, NAC, NIST, PTB and BIPM) reported last year show a spread of 1,91 Bq/mg (3,4 % in relative value). The result from the CIEMAT was lower than the weighted mean value by about 2,5 %. The solution was considered to be suspect, so a new ampoule remaining from the batch used for the trial comparison was sent to the CIEMAT. Following measurement by the CIEMAT/NIST method a new result, in excellent agreement with those obtained by the other laboratories, was obtained.

The final results of the trial comparison analysed by four different methods are shown in Table 7.2. The overall range of the observed activity concentrations,  $a$ , is now 0,88 Bq/mg (1,58 % in relative value) and the unweighted and weighted means, as well as the median value, show agreement to better than 0,3 %. This illustrates the care needed in the preparation of samples used for the liquid-scintillation technique. To improve the homogeneity of the samples a shaker will be used before each BIPM measurement; a study of the effect of this procedure has begun. The full-scale comparison of activity measurements of a  $^{204}\text{Tl}$  solution is planned for the second half of 1996.

TABLE 7.2  
Final results of the trial comparison of  $^{204}\text{Tl}$ ;  
unweighted mean, weighted mean and median  
of the activity concentration measurements, with uncertainties

	$a$ /(Bq/mg)	$\sigma$ /(Bq/mg)
Mean value of the 9 results	55,47	0,10
Mean value of the CIEMAT/NIST method (5 results)	55,57	0,14
Weighted mean value of the 9 results	55,57	0,10
Weighted mean value for the CIEMAT/NIST method (5 results)	55,65	0,12
Median of the 9 results	55,53	0,11
Median for the CIEMAT/NIST method (5 results)	55,56	0,13

#### ii) Trial comparison of $^{192}\text{Ir}$

Ten laboratories (BNM-LPRI, BIPM, ETL, IIR, IRA, IRMM, KRIS, NPL, OMH and VNIIM) took part in the trial comparison of activity measurements of a solution of  $^{192}\text{Ir}$ , initiated by Section II of the CCEMRI last year. The solution, in the form of sodium chloro-iridate in 0,2 M hydrogen chloride, was pre-

pared, bottled and dispatched by the IRMM. The results of the comparison are being analysed.

iii) *Measurement of a  $^{192}\text{Ir}$  solution at the BIPM*

The  $^{192}\text{Ir}$  solution of high-carrier concentration provided by the IRMM was used to prepare a set of solid sources with masses ranging from 5 mg to 30 mg. The activity of these sources was measured in a gas-flow proportional counter. Coincidence and selective-sampling methods were used simultaneously. In each case an extrapolation to 100 % efficiency was made by taking measurements with successive layers of aluminium foils. The activity concentration was determined using two different windows over the gamma spectrum: first, by detecting every event above a threshold placed at 250 keV to eliminate the gamma rays arising from the electron-capture branch; second, by using a window of about 100 keV centred on the 316 keV gamma ray, for which the emission probability is highest.

The coincidence and selective sampling methods gave similar results; the measurements agree to better than 0,2 % and do not depend on the type of gamma discrimination. The results obtained for the threshold setting were always higher, by 0,8 %, than those obtained for the window setting. This systematic discrepancy is being investigated.

The final result for the activity concentration is 1085 Bq/mg with  $\sigma = 4$  Bq/mg which shows that the carrier concentration is suitable, despite being large.

iv) *EUROMET comparison of  $^{63}\text{Ni}$  and  $^{55}\text{Fe}$*

The second part of the comparison of activity measurements of solutions of  $^{63}\text{Ni}$  and  $^{55}\text{Fe}$  for EUROMET project 297 was organized by the BNM-LPRI early in 1996. Solutions of  $^{63}\text{Ni}$ , in the form of 3,6 mg/l of  $\text{Ni}^{2+}$  in hydrogen chloride 1 M, and  $^{55}\text{Fe}$ , in the form of 2,8 mg/l of  $\text{Fe}^{3+}$  in hydrogen chloride 1 M, were sent to the BIPM. For each radionuclide two sets of ten samples were prepared, one with Packard's scintillator Ultima Gold, the other with Beckman's scintillator Ready Safe. Two further sets of ten samples of tritiated water, quenched with increasing aliquots of nitromethane up to 90  $\mu\text{l}$ , were prepared with the same scintillators. All the sets were measured over a period of 200 hours to check the stability of the solutions. The samples prepared with Ultima Gold gave stable results whereas those prepared with Ready Safe decreased continuously. This indicates the need to check the scintillator prior to every measurement.

Using the CIEMAT/NIST method with the recommended values for the nuclear data, efficiencies of 50 % for  $^3\text{H}$ , 78 % for  $^{63}\text{Ni}$  and 52 % for  $^{55}\text{Fe}$  were measured. The final BIPM result for the activity measurements is 39,9 Bq/mg with  $\sigma = 0,1$  Bq/mg for  $^{63}\text{Ni}$  and 47,4 Bq/mg with  $\sigma = 0,3$  Bq/mg for  $^{55}\text{Fe}$ .

v) *International reference system for measuring the activity of gamma-ray emitting radionuclides (SIR)*

During the year, nine national laboratories (BNM-LPRI, ETL, IRA, IRMM, KRIS, LNMRI, OMH, PTB and RC) sent 13 ampoules to the BIPM for standardization by the SIR. Twelve radionuclides were measured:  $^{56}\text{Co}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{59}\text{Fe}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{67}\text{Ga}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{124}\text{Sb}$ ,  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{192}\text{Ir}$ . As of June 1996, 490 independent results have been entered in the registration tables of the SIR for 55 different gamma-ray emitters from 25 laboratories.

The comparison of pure  $\beta$  emitters has had to be postponed to free the liquid-scintillation counter for measurement of the solutions of  $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{63}\text{Ni}$  and  $^{204}\text{Tl}$ .

vi) *The BIPM pressurized gas proportional counter (I. Catayée\*)*

The pressurized proportional counter is used to measure radionuclides with a long metastable state, such as  $^{109}\text{Cd}$ . This counter can measure sources with different counting efficiencies simply by changing the pressure of the gas. However, there are difficulties associated with the pressure regulation, leakage of gas and temperature variations. Measurements are being made to characterize the sensitivity of the pressure regulator, to determine the relationship between pressure and voltage, and to assess the resolution achievable. To increase the resolution of the system the temperature of the gas in the reference container is being stabilized.

### 7.2.2 Detection of source impurities (C. Michotte)

The BIPM has an intermediate volume ( $60\text{ cm}^3$ ) Ge(Li) gamma-ray detector. This is being adapted to identify and quantify any contaminating radionuclide present in the ampoules used for comparisons. The efficiency of the detector will be calibrated between 50 keV and 3 MeV using SIR ampoules. It has been shielded to reduce the background level to 2 counts per second. An 8,4 mm lucite absorber placed between the ampoules and the detector removes  $\beta$  particles from the  $\gamma$  spectrum.

An electronic chain has been set up using a preamplifier, a spectroscopy amplifier and an analogue-to-digital converter connected to a personal computer used as a multichannel analyser. Integral linearity and stability of the chain are satisfactory. The resolution, full-width half maximum (FWHM), measured at 1,33 MeV with a shaping time of 2  $\mu\text{s}$  and a count rate of 3 kHz, is 2,3 keV. To check the reliability of the live time given by the multichannel analyser, the converter has been gated by a logic pulse formed with a known dead time. The activities obtained with and without this gate do not differ by more than 0,5 % if the proportion of the spectrum below the converter threshold is negligible.

Pile-up effects are important as they change the gamma peak area with the count rate. The area of a gamma peak must be defined to allow for different

---

\* Guest worker for a period of six months.

peak shapes and background. An evaluation of the various corrections to be applied is in progress.

### 7.2.3 Counting statistics (J.W. Müller)

Among recent reports in the field of counting statistics, one is entitled “An elementary determination of prime numbers”. Although no general recursion formula is known for prime numbers, a similar goal can actually be reached. The basic idea is as follows.

Since a prime number is an integer that cannot be divided (except by 1 and itself), a direct check of the primality of  $N$  is to divide it successively by all primes  $p_i \leq \sqrt{N}$ , which we assume to be known. This may become quite cumbersome. An equivalent but more elegant way is to use congruences by writing

$$N = r_i \pmod{p_i}, \text{ with } 0 \leq r_i \leq p_i - 1,$$

where the absence of divisibility corresponds to the condition

$$r_i \neq 0, \text{ for all } p_i.$$

Since residuals are additive, primes can also be located beyond  $N$ . Thus, the number

$$P = N + d$$

is only prime if

$$r_i + d \neq 0 \pmod{p_i}, \text{ for all } p_i.$$

By using “negative residues” (or “nessis”)

$$v_i = p_i - r_i,$$

the condition for  $P$  to be prime is

$$v_i \neq d, \text{ for all } p_i.$$

Hence, the required primes are determined by the values of  $d$  which do not occur in the listing of the nessi values of  $N$ . While the smallest value  $d$  gives the first prime after  $N$ , higher values  $d'$  correspond to the subsequent primes  $P' = N + d'$ . Therefore, once the initial set of residues  $r_i$  (or nesis  $v_i$ ) is known, all the prime numbers beyond  $N$  can be found by a simple inspection of the assembled nesi values  $v_i + kp_i$ , with  $k = 0, 1, 2, \dots$ , which involves only additions, and no divisions.

It is not difficult to transform this approach into a computer programme which then yields, for a given range  $(N; N + D)$ , all the prime numbers. The main requirement for the computer is its ability to store the primes up to  $(N + D)^{1/2}$ .

## 7.3 Publications, lectures, travel: Ionizing radiation section

### 7.3.1 External publications

1. ALLISY-ROBERTS P.J., The influence of ICRP on European legislation concerning medical radiation exposure, *International Congress on Radiation Protection* (Seibersdorf, Austria, IRPA), 1996, **1**, 207-209.

2. BOUTILLON M., Behaviour of transfer chambers in the low-energy x-ray range, *Metrologia*, 1996, **33**, 479-484.
3. BURNS D.T., DING G.X., ROGERS D.W.O.,  $R_{50}$  as a beam quality specifier for selecting stopping-power ratios and reference depths for electron dosimetry, *Med. Phys.*, 1996, **23**, 383-388.
4. BURNS D.T., DUANE S., McEWEN M.R., A new method to determine ratios of electron stopping powers to an improved accuracy, *Phys. Med. Biol.*, 1995, **40**, 733-739.
5. BURNS D.T., DUANE S., McEWEN M.R., Reply to comments on 'A new method to determine ratios of electron stopping powers to an improved accuracy', *Phys. Med. Biol.*, 1996, **41**, 787-788.
6. FARR R.F., ROBERTS P.J., *Physics for Medical Imaging*, London, Saunders, 1996, 276 p.
7. MICHOTTE C. *et al*, New limits for the  $^{19}\text{Ne}$  ( $p,\gamma$ )  $^{20}\text{Na}$  astrophysical reaction rate from direct measurements using radioactive beams, *Phys. Lett. B.*, 1996, **381**, 402-406.
8. MÜLLER J.W., Uncertainty of the calibration factor, Chapter 10 of *IAEA TRS 374* (Calibration of dosimeters used in radiotherapy); also in *SSDL Newsletter* (IAEA, Vienna), 1995, No. 33, 15-23.
9. MÜLLER J.W., Some aspects of metrological counting, In *Advances in metrology and its role in quality improvement and global trade* (ed. by B.S. Mathur, V.N. Ojha and P.C. Kothari), Narosa, New Delhi, 1996, 307-316.
10. RATEL G., Le système international de référence : origine et utilité, Proceedings of the 7th International Metrology Congress, Nîmes, Métrologie 95, 1995, 385-387.
11. SHARPE P.H.G., BURNS D.T., The relative response of Fricke, dichromate and alanine dosimeters to cobalt-60 and high energy electron beam radiation, *Radiat. Phys. Chem.*, 1995, **46**, 1273-1277.

### 7.3.2 BIPM reports

12. ALLISY-ROBERTS P.J., BOUTILLON M., DELAUNAY F., LEROY E., OSTROWSKY A., Comparison of the standards of air kerma of the BNM-LPRI and the BIPM for  $^{137}\text{Cs}$   $\gamma$  rays, *Rapport BIPM-96/6*, 1996, 8 p.
13. ALLISY-ROBERTS P.J., BOUTILLON M., LAMPERTI P., Comparison of the standards of air kerma of the NIST and the BIPM for  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  rays, *Rapport BIPM-96/9*, 1996, 8 p.
14. ALLISY-ROBERTS P.J., BOUTILLON M., RODRIGUES L.N., Comparison of the standards of air kerma of the LNMRI and the BIPM for  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  rays, *Rapport BIPM-96/3*, 1996, 8 p.
15. ALLISY-ROBERTS P.J., BOUTILLON M., WITZANI J., Comparison of the standards of air kerma of the BEV and the BIPM for  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  rays, *Rapport BIPM-95/5*, 1995, 9 p.
16. BOUTILLON M., Measuring conditions used for the calibration of ionization chambers at the BIPM, *Rapport BIPM-96/1*, 1996, 19 p.

17. BOUTILLON M., ALLISY-ROBERTS P.J., Measurement of air kerma and ambient dose equivalent in a  $^{137}\text{Cs}$  beam, *Rapport BIPM-96/7*, 1996, 12 p.
18. BOUTILLON M., REFEROWSKI Z., PAZ N., Comparison of the air kerma standards of the GUM and the BIPM in the low- and medium-energy x-ray ranges, *Rapport BIPM-96/2*, 1996, 11 p.
19. MÜLLER J.W., An elementary determination of prime numbers, *Rapport BIPM-96/5*, 1996, 7 p.

### 7.3.3 Travel (committees, visits to laboratories and institutions)

J.W. Müller visited:

- New Delhi (India), 20-22 February 1996, where he attended the Conference on advances in metrology and its role in quality improvement and global trade, at the National Physical Laboratory of India, and gave a presentation on "Some aspects of metrological counting";
- Vienna (Austria), 30 September-4 October 1996, where he attended the 7th meeting of the IAEA SSDL Scientific Committee.

J.W. Müller and M. Boutillon attended the annual ICRU meeting, 12-16 August 1996, at the BIPM.

M. Boutillon, P.J. Allisy-Roberts and D.T. Burns visited the BNM-LPRI, Saclay (France), 3 April 1996, for the inauguration of the new linear accelerator.

P.J. Allisy-Roberts visited:

- London (United Kingdom), 26 October 1995, 8 March and 11 July 1996 for the U.K. Health and Safety Commission Ionising Radiation Advisory Committee; 7 November 1995 for her last Council meeting of the U.K. Society for Radiological Protection; 24 June to make a presentation and chair a session at a British Institute of Radiology Seminar;
- Brussels (Belgium), 11 December 1995, 4 March, 10 June and 20 August 1996 to participate in Article 31 Meetings on Medical Radiation Exposures;
- Teddington (United Kingdom), 24 February 1996, for the British Committee on Radiation Units;
- Luxembourg, 8 May 1996, for her final Article 31 Group meeting;
- Budapest (Hungary), 13-16 May 1996, for a meeting of the International Commission on Radiological Protection Committee 3 on medical exposures.

D.T. Burns visited:

- Teddington (United Kingdom), 9 May 1996, for discussions at the NPL on the implementation of EGS4 Monte Carlo code in the calculation of the electron loss correction.

- Montpellier (France), 10-14 June 1996, to attend a course on Radiation Transport Using EGS4.

M. Nonis visited Paris (France), 20 March 1996, for a technical training course on Modern oscilloscope capabilities and applications.

G. Ratel visited:

- Orsay (France), 12 October 1995, as Rapporteur for the doctoral presentation of Miss M.-N. Péron;
- Nîmes (France), 15-20 October 1995, to attend the 7th International Metrology Congress, Métrologie 95.

#### 7.4 Activities related to external organizations

J.W. Müller is a member of the Editorial Board of *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*. He is the BIPM representative at the ICRU. He is also a member of the SSDL Scientific Committee advising the IAEA, a member of the Scientific Committee “Mesures Physiques et Métrologie” of the BNM-INM (France) and a member of the ISO/TAG4 Working group on the expression of uncertainties.

M. Boutillon is a referee for *Physics in Medicine and Biology* and for the ICRU Reports.

P.J. Allisy-Roberts is a member of the European Commission’s Article 31 Group of experts, until Autumn 1996, and of the British Committee for Radiation Units. She is a referee for the annual review of the NPL programme in radiation metrology for the U.K. Department of Trade and Industry, and is a scientific member of the U.K. Health and Safety Commission’s ionising radiations advisory committee, until the end of 1996. Since 1993, she has been a member of Committee 3 of the International Commission for Radiological Protection and finishes her term at the beginning of 1997.

G. Ratel is the BIPM representative at the ICRM.

D.T. Burns is a member of the Electron Dosimetry Working Party of the Institution of Physics and Engineering in Medicine and Biology and is also a referee for *Physics in Medicine and Biology*.

#### 7.5 Visitors to the Ionizing radiation section

##### 7.5.1 Guest workers

- Dr L. Rodrigues (LNMRI, Brazil) stayed at the BIPM, 22 October-6 November 1995, for a comparison of  $^{60}\text{Co}$  air kerma standards and the calibration of two ionization chambers (x rays,  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{60}\text{Co}$ ).
- Mr E. Leroy (BNM-LPRI, France) worked at the BIPM, 5-13 December 1995, for a comparison of  $^{137}\text{Cs}$  air kerma standards.

- Miss I. Catayée, student at the University of Paris VII (Paris, France), stayed at the BIPM, 4 March-31 August 1996.

### 7.5.2 Visitors

- Mrs T.E. Sazonova (VNIIM, St. Petersburg, Russian Fed.), 11 October 1995.
- Dr M.-N. Péron and Dr Ph. Cassette (BNM-LPRI, Saclay, France), 25 October 1995.
- Mrs M. Koskinas (IPEN, São Paulo, Brazil), 14 November 1995.
- Dr J. MacDonald (Northwest Pacific Labs, Batelle, U.S.A.), 16 November 1995.
- Mr A. Ostrowsky (BNM-LPRI, Saclay, France), 5 December 1995.
- Ms D. Hainos and Mr J.-L. Picolo (BNM-LPRI, Saclay, France), 14 December 1995.
- Mr Ch. Dulieu and Mr J.-L. Picolo (BNM-LPRI, Saclay, France), 23 January 1996.
- Mr F. Delaunay (BNM-LPRI, Saclay, France), 6 February, 29 March and 5 June 1996.
- Mr Steiner (OFMET, Wabern, Switzerland), 28 March 1996.
- Ms Jileen Shobe (NIST, Gaithersburg, U.S.A.), 12 April 1996.
- Dr Ph. Cassette (BNM-LPRI, Saclay, France), 23 April 1996.
- Dr E. Günther (PTB, Braunschweig, Germany), 23 April 1996.
- Mrs R. Moning (OFMET, Wabern, Switzerland), 24 and 25 April 1996.
- Mr J.-J. Gostely (IRA, Lausanne, Switzerland), 30 April 1996.
- Mrs J. Pialat (NPRL, Pretoria, South Africa), 23 and 24 May 1996.
- Dr A.F. Bielajew (NRC, Ottawa, Canada), 5 June 1996.
- Mr M. Da Silva Dias (IPEN, São Paulo, Brazil), 24-28 June 1996.
- Mr M. Woods (NPL, Teddington, United Kingdom), 2 July 1996.
- Mr D.F.G. Reher (IRMM, Geel, Belgium), 2 July 1996.
- Mr G. De Rosny (Université Paris VII, France), 3 July 1996.
- Dr L. Grigorescu and Dr S. Doru (IFIN, Bucharest, Romania), 23 July 1996.
- Dr P. Andreo (IAEA, Vienna, Austria), 14 August 1996.

## IV. — PUBLICATIONS OF THE BIPM

### 1. General publications

Since October 1995 the following have been published:

*Procès-Verbaux des Séances du Comité International des Poids et Mesures*,  
Tome 63, 84th meeting, 1995, 220 p.

*Comité Consultatif d'Électricité*, 20th meeting, 1995, 76 p.  
*Annual Report of the BIPM Time Section* (1995), 1996, 8, 156 p.  
*Circular T* (monthly), 4 p.

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

Volume 32 of *Metrologia* was published in 1995 and early 1996. For this volume the four research issues were supplemented by two special issues. One supplement details the proceedings of the Fourth International Comparison of Absolute Gravimeters (ICAG 94), held at Sèvres (France) in May-June 1994. The other covers the 5th International Conference on Radiometry (NEWRAD'94) held in Berlin in September 1994.

In Volume 32, 123 articles were published: 33 regular research papers, 77 conference papers and 3 international reports. To complement the reports a new category, *International Comparisons*, was introduced, in which 8 items were published. The feature of *Book Reviews* was also relaunched in Volume 32, and 2 reviews appeared.

In the year 1 January 1995 to 31 December 1995, 69 research papers were submitted for publication. Of these, 41 were published, 11 await publication, 15 were refused publication, 1 was withdrawn and, at 30 September 1996, 1 remained under consideration. From 1 January to 30 September 1996, 78 research papers were submitted. At 30 September 1996, 52 had been accepted, 8 had been refused and 18 remain under consideration.

Volume 33 takes the form of five research issues and one special issue, on Temperature Measurement, produced in memory of Luigi Crovini. The special issue was distributed at the Tempmeko Conference in September 1996.

## V. — MEETINGS AND LECTURES AT THE BIPM

### 1. Meetings

The CCQM met on 14 and 15 February 1996.

The CCDS met on 12 and 13 March 1996, preceded by the meeting of the CCDS working group on TAI on 11 March 1996.

The CCU met on 16 and 17 April 1996.

The CCM met on 29 and 30 May 1996, preceded by the meetings of its working groups on 27 and 28 May 1996.

The CCEMRI met on 27 and 28 June 1996.

The CCT met from 18 to 20 September 1996.

## 2. Lectures

The following lectures were given at the BIPM as part of the regular schedule of seminars:

- M.-N. Péron (CEN, Saclay, France): Réponse de scintillateurs liquides aux électrons, 25 October 1995.
- J. Azoubib: Utilisation des données des masers à hydrogène dans le calcul du TAI, 17 January 1996.
- F. Delahaye: Progrès au BIPM dans la métrologie de l'ohm et du farad, 28 February 1996.
- C. Michotte: Mesure d'une réaction nucléaire d'intérêt astrophysique, 27 March 1996.
- C. Man (CNRS, Orsay, France): Problèmes techniques liés à la détection des ondes de gravitation, 10 April 1996.
- M. Stock: Realization and comparison of three radiometric primary standards, 4 June 1996.
- J.-L. Picolo (BNM-LPRI, Saclay, France): Étalon primaire de  $^{222}\text{Rn}$  mis au point au BNM-LPRI, 12 June 1996.

## VI. — CERTIFICATES AND NOTES OF STUDY

In the period from 1 October 1995 to 30 September 1996, 56 Certificates and 2 Notes of Study were delivered.

For a list of Certificates and Notes, *see* page 98.

## VII. — ACCOUNTS

Details of the accounts for 1995 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 102-107.

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 retraite</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>

**Compte IV — Caisse de prêts sociaux**      **Account IV — Special loans fund**  
**Compte V — Réserve**      **Account V — Building reserve**  
**pour les bâtiments**

This account has had a balance of zero since 31 December 1989, with no changes registered since that date.

**Compte VI — Metrologia**      **Account VI — Metrologia**  
**Compte VII — Fonds de réserve**      **Account VII — Reserve fund**  
**pour l'assurance maladie**      **for medical insurance**

Two additional tables detail the payments made against budget in 1995 and the balance of accounts at 31 December 1995. This is done under the headings:

DÉTAIL DES DÉPENSES BUDGÉTAIRES

STATEMENT OF BUDGETARY  
EXPENDITURE

**Bilan au 31 décembre 1995**

**Balance at 31 December 1995**

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 = 1,814 52 French francs.

---



---

TABLE DES MATIÈRES  
TABLE OF CONTENTS

---

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

85<sup>e</sup> session (septembre 1996)  
85th Meeting (September 1996)

---

	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 des poids et mesures .....	XV
Liste du personnel du Bureau international des poids et mesures .....	XVII
Ordre du jour .....	XX
<b>Procès-verbaux des séances, 24, 25, 26 septembre 1996 .....</b>	<b>1</b>
1. Ouverture de la session ; quorum ; ordre du jour .....	1
2. Rapport du secrétaire et activités du bureau du Comité .....	2
3. Besoins à long terme de la métrologie .....	4
4. La Convention du Mètre et l'Organisation internationale de métrologie légale .....	7
5. Équivalence des étalons nationaux de mesure .....	8
6. Comités consultatifs .....	9
6.1 Comité consultatif pour la quantité de matière .....	9
6.2 Comité consultatif pour la définition de la seconde .....	11
6.3 Comité consultatif des unités .....	14
6.4 Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées ....	16
6.5 Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants .....	19
6.6 Comité consultatif de thermométrie .....	20
6.7 Réunions futures des comités consultatifs .....	22
6.8 Présidence des comités consultatifs .....	22
7. Travaux du BIPM : Rapport du directeur .....	23
7.1 Travaux du BIPM .....	23
7.2 Dépôt des prototypes .....	23

8. Questions administratives et financières .....	24
8.1 Questions administratives et financières .....	24
8.2 Allocations familiales .....	26
8.3 Metrologia .....	26
9. Composition du CIPM .....	26
9.1 Composition du CIPM .....	26
9.2 Élection du bureau du CIPM .....	26
10. Questions diverses : prochaine session du CIPM .....	28
<b>Recommandations adoptées par le CIPM à sa 85<sup>e</sup> session</b> .....	29
1 (CI-1996) : Coordination des systèmes satellitaires qui diffusent le temps ..	29
2 (CI-1996) : Multiples de deux pour les unités utilisées dans les techniques informatiques .....	30
3 (CI-1996) : Échelle de température au-dessous de 1 K .....	31
<b>Rapport du directeur sur l'activité et la gestion du Bureau international des poids et mesures (octobre 1995 – septembre 1996)</b> .....	33
I. Personnel. — Promotions et changements de grade (M. Boutillon, R. Goebel, L. Robertsson, F. Delahaye, R. Davis). Engagements (C. Michotte, D.T. Burns). Chercheur associé (L. Vitouchkine). Étudiante en doctorat (B. Rougeaux). Départs (A. Sakuma, G. Müller, L. Lafaye) ...	33
II. Bâtiments .....	34
III. Travaux scientifiques .....	34
1. Remarques générales .....	34
1.1 Publications, conférences et voyages ne concernant pas directement une section particulière .....	38
1.1.1 Publications extérieures .....	38
1.1.2 Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts) et conférences .....	38
1.2 Activités en liaison avec des organismes extérieurs .....	40
2. Longueurs .....	40
2.1 Remarques générales .....	40
2.2 Mesures de longueur : nanométrie .....	41
2.3 Lasers .....	41
2.3.1 Lasers à argon asservis sur l'iode à $\lambda \approx 515$ nm en cuve externe .....	41
2.3.2 Laser à Nd:YAG doublé à $\lambda \approx 532$ nm .....	42
2.3.3 Lasers à He-Ne asservis sur l'iode à $\lambda \approx 543,5$ nm en cuve externe .....	42
2.3.4 Lasers à He-Ne asservis sur l'iode à $\lambda \approx 612$ nm en cuve interne et externe .....	43
2.3.5 Lasers à He-Ne asservis sur l'iode à $\lambda \approx 633$ nm en cuve interne .....	43
2.3.6 Lasers à diode à cavité externe à $\lambda \approx 633$ nm .....	44

2.3.7	Lasers à diode asservis sur le rubidium à $\lambda \approx 778$ nm en utilisant les composantes hyperfines des transitions 5S-5D à deux photons .....	46
2.3.8	Lasers à He-Ne asservis sur le méthane à $\lambda \approx 3,39$ $\mu\text{m}$ en cuve interne et externe .....	47
2.3.9	Laser à $\text{CO}_2$ à $\lambda \approx 10,6$ $\mu\text{m}$ avec une cuve externe contenant du $\text{SF}_6$ .....	47
2.3.10	Chaîne de synthèse de fréquences pour mesurer la fréquence absolue des lasers à He-Ne asservis sur l'iode à $\lambda \approx 633$ nm .....	47
2.3.11	Cuves à iode .....	48
2.3.12	Structure hyperfine .....	48
2.3.13	Systèmes pilotés par ordinateur .....	48
2.4	Publications, conférences et voyages : section des longueurs .....	49
2.4.1	Publications extérieures .....	49
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 .....	53
2.5.1	Stagiaires .....	53
2.5.2	Visiteurs .....	53
3.	Masse et grandeurs apparentées .....	54
3.1	Introduction .....	54
3.2	Étalons en acier inoxydable .....	54
3.3	Poursuite des travaux sur la balance HK 1000 .....	55
3.4	Nouvelle balance à suspensions flexibles .....	55
3.5	Anélasticité dans les rubans de torsion .....	56
3.6	Prototypes en platine iridié .....	56
3.7	Gravimétrie .....	57
3.8	Publications, conférences et voyages : section des masses .....	59
3.8.1	Publications extérieures .....	59
3.8.2	Rapport BIPM .....	59
3.8.3	Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts) ...	59
3.9	Visiteurs de la section des masses .....	59
3.9.1	Stagiaire .....	59
3.9.2	Visiteurs .....	60
4.	Temps .....	60
4.1	Temps atomique international (TAI) et Temps universel coordonné (UTC) .....	60
4.2	Algorithmes pour les échelles de temps .....	60
4.2.1	Stabilité de l'EAL .....	60
4.2.2	Exactitude du TAI .....	61
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 .....	65

4.4	Application de la relativité générale à la métrologie du temps . . . .	65
4.5	Pulsars . . . . .	66
4.6	Radio-interférométrie à très longue base . . . . .	67
4.7	Publications, conférences et voyages : section du temps . . . . .	67
4.7.1	Publications extérieures . . . . .	67
4.7.2	Conférences et exposés . . . . .	68
4.7.3	Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts) . . . .	69
4.8	Activités en liaison avec des organismes extérieurs . . . . .	70
4.9	Visiteurs de la section du temps . . . . .	71
5.	Électricité . . . . .	71
5.1	Résumé des travaux de la section d'électricité . . . . .	71
5.2	Potentiel électrique . . . . .	72
5.2.1	Effet Josephson . . . . .	72
5.2.2	Analyse spectrale des nanovoltmètres et des étalons de tension . . . . .	73
5.3	Résistance électrique : comparaisons sur place d'étalons de résistance de Hall . . . . .	74
5.4	Mesures d'impédance . . . . .	74
5.4.1	Mise au point de ponts en courant alternatif pour l'étalonnage d'étalons de capacité . . . . .	74
5.4.2	Mesures de la résistance de Hall quantifiée à des fréquences de l'ordre du kilohertz . . . . .	75
5.5	Comparaisons bilatérales d'étalons électriques au BIPM . . . . .	75
5.6	Étalonnages de routine . . . . .	76
5.6.1	Équipement . . . . .	76
5.6.2	Étalonnages . . . . .	77
5.7	Publications, conférences et voyages : section d'électricité . . . . .	77
5.7.1	Publications extérieures . . . . .	77
5.7.2	Conférences et exposés . . . . .	77
5.7.3	Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts) . . . .	78
5.8	Activités en liaison avec des organismes extérieurs . . . . .	78
5.9	Visiteurs de la section d'électricité . . . . .	79
5.9.1	Stagiaires . . . . .	79
5.9.2	Visiteurs . . . . .	79
6.	Radiométrie, photométrie, thermométrie et manométrie . . . . .	79
6.1	Radiométrie, photométrie . . . . .	79
6.2	Thermométrie et manométrie . . . . .	81
6.3	Travaux d'étalonnage . . . . .	81
6.4	Divers . . . . .	81
6.5	Publications, conférences et voyages : section de radiométrie, photométrie, thermométrie et manométrie . . . . .	82
6.5.1	Publications extérieures . . . . .	82
6.5.2	Rapport BIPM . . . . .	82
6.5.3	Conférences et exposés . . . . .	82
6.5.4	Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts) . . . .	83

6.6 Activités en liaison avec des organismes extérieurs .....	84
6.7 Visiteurs de la section de radiométrie, photométrie, thermométrie et manométrie .....	84
6.7.1 Stagiaires .....	84
6.7.2 Visiteurs .....	84
7. Rayonnements ionisants .....	84
7.1 Dosimétrie (rayons x et $\gamma$ , neutrons) .....	85
7.1.1 Rayons x et $\gamma$ .....	85
7.1.2 Mesures neutroniques .....	87
7.2 Radionucléides .....	87
7.2.1 Mesures d'activité .....	87
7.2.2 Détection des impuretés de sources .....	90
7.2.3 Statistiques de comptage .....	91
7.3 Publications, conférences et voyages : section des rayonnements ionisants .....	92
7.3.1 Publications extérieures .....	92
7.3.2 Rapports BIPM .....	92
7.3.3 Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts) ....	93
7.4 Activités en liaison avec des organismes extérieurs .....	94
7.5 Visiteurs de la section des rayonnements ionisants .....	95
7.5.1 Stagiaires .....	95
7.5.2 Visiteurs .....	95
IV. Publications du BIPM .....	96
1. Publications générales .....	96
2. Metrologia .....	96
V. Réunions et exposés au BIPM .....	97
1. Réunions .....	97
2. Exposés .....	97
VI. Certificats et notes d'étude .....	98
VII. Comptes .....	102

### 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, 24, 25, 26 September 1996</b> .....	119
1. Opening of the meeting; quorum; agenda .....	119
2. Report of the Secretary and activities of the bureau of the Comité ....	120
3. Long-term needs relating to metrology .....	121

4. The Convention du Mètre and the Organisation Internationale de Métrologie Légale .....	125
5. Equivalence of national measurement standards .....	126
6. Comités Consultatifs .....	127
6.1 Comité Consultatif pour la Quantité de Matière .....	127
6.2 Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde .....	128
6.3 Comité Consultatif des Unités .....	131
6.4 Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées ...	133
6.5 Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants .....	135
6.6 Comité Consultatif de Thermométrie .....	136
6.7 Future meetings of the Comités Consultatifs .....	138
6.8 Presidency of the Comités Consultatifs .....	138
7. Work of the BIPM: Report of the Director .....	139
7.1 Work of the BIPM .....	139
7.2 Dépôt des prototypes .....	139
8. Administrative and financial affairs .....	140
8.1 Administrative and financial affairs .....	140
8.2 Family allowances .....	142
8.3 Metrologia .....	142
9. Membership of the CIPM .....	142
9.1 Membership of the CIPM .....	142
9.2 Election of the bureau of the CIPM .....	142
10. Other business : next CIPM meeting .....	143
<b>Recommendations adopted by the CIPM at its 85th meeting .....</b>	<b>145</b>
1 (CI-1996): Coordination of satellite systems providing timing .....	145
2 (CI-1996): Binary multiples of units used in information technology .....	146
3 (CI-1996): Temperature scale below 1 K .....	147
<b>Director's Report on the Activity and Management of the Bureau International des Poids et Mesures (October 1995 – September 1996) .....</b>	<b>149</b>
I. Staff. — Promotions and changes of grade (M. Boutillon, R. Goebel, L. Robertsson, F. Delahaye, R. Davis). Appointments (C. Michotte, D.T. Burns). Research fellow (L. Vitushkin). Research student (B. Rougeaux). Departures (A. Sakuma, G. Müller, L. Lafaye) .....	149
II. Buildings .....	150
III. Scientific work .....	150
1. General introduction .....	150
1.1 Publications, lectures, travel not directly related to individual sections .....	153
1.1.1 External publications .....	153
1.1.2 Travel (committees, visits to laboratories and institutions) and lectures .....	154

1.2	Activities related to external organizations .....	155
2.	Length .....	155
2.1	General remarks .....	155
2.2	Length measurement: nanometrology .....	156
2.3	Lasers .....	157
2.3.1	Iodine-stabilized argon lasers at $\lambda \approx 515$ nm using external cells .....	157
2.3.2	Doubled Nd:YAG laser at $\lambda \approx 532$ nm .....	157
2.3.3	Iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda \approx 543,5$ nm using external cells .....	157
2.3.4	Iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda \approx 612$ nm using internal and external cells .....	158
2.3.5	Iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda \approx 633$ nm using internal cells .....	159
2.3.6	External cavity diode lasers at $\lambda \approx 633$ nm .....	159
2.3.7	Rubidium-stabilized diode lasers at $\lambda \approx 778$ nm using the hyperfine components of 5S-5D two-photon transitions ..	161
2.3.8	Methane-stabilized He-Ne lasers at $\lambda \approx 3,39$ $\mu\text{m}$ using internal and external cells .....	162
2.3.9	CO <sub>2</sub> lasers at $\lambda \approx 10,6$ $\mu\text{m}$ using an external cell containing SF <sub>6</sub> .....	162
2.3.10	Frequency synthesis chain for measuring the absolute frequency of iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda \approx 633$ nm ..	162
2.3.11	Iodine cells .....	163
2.3.12	Hyperfine structure .....	163
2.3.13	Computing systems .....	163
2.4	Publications, lectures, travel: Length section .....	164
2.4.1	External publications .....	164
2.4.2	BIPM report .....	165
2.4.3	Lectures and presentations .....	165
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 .....	168
3.	Mass and related quantities .....	169
3.1	Introduction .....	169
3.2	Stainless-steel standards .....	169
3.3	Continuing studies of the HK 1000 balance .....	169
3.4	New flexure-strip balance .....	170
3.5	Anelasticity in torsion strips .....	170
3.6	Platinum-iridium prototypes .....	171
3.7	Gravimetry .....	171
3.8	Publications, lectures, travel: Mass section .....	173
3.8.1	External publications .....	173
3.8.2	BIPM report .....	173
3.8.3	Travel (committees, visits to laboratories and institutions) ..	173

3.9 Visitors to the Mass section .....	174
3.9.1 Guest worker .....	174
3.9.2 Visitors .....	174
4. Time .....	174
4.1 International Atomic Time (TAI) and Coordinated Universal Time (UTC) .....	174
4.2 Algorithms for time scales .....	174
4.2.1 EAL stability .....	175
4.2.2 TAI accuracy .....	175
4.3 Time links .....	176
4.3.1 Global Positioning System (GPS) .....	176
4.3.2 Global Navigation Satellite System (GLONASS) .....	177
4.3.3 Two-way time transfer .....	178
4.4 Application of general relativity to time metrology .....	179
4.5 Pulsars .....	179
4.6 Very Long Baseline Interferometry .....	180
4.7 Publications, lectures, travel: Time section .....	180
4.7.1 External publications .....	180
4.7.2 Lectures and presentations .....	181
4.7.3 Travel (committees, visits to laboratories and institutions) ..	182
4.8 Activities related to external organizations .....	183
4.9 Visitors to the Time section .....	183
5. Electricity .....	184
5.1 Summary of the work of the Electricity section .....	184
5.2 Electrical potential .....	184
5.2.1 Josephson effect .....	184
5.2.2 Spectral analysis of nanovoltmeters and voltage standards ..	186
5.3 Electrical resistance: on-site comparisons of quantum Hall resistance standards .....	186
5.4 Impedance measurements .....	187
5.4.1 Development of AC bridges for the calibration of capacitance standards .....	187
5.4.2 Measurements of the quantized Hall resistance at kilohertz frequencies .....	187
5.5 Bilateral comparisons of electrical standards at the BIPM .....	188
5.6 Routine calibrations .....	189
5.6.1 Equipment .....	189
5.6.2 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 .....	191
5.9.1 Guest workers .....	191

5.9.2 Visitors .....	191
6. Radiometry, photometry, thermometry and pressure .....	191
6.1 Radiometry, photometry .....	191
6.2 Thermometry and pressure .....	193
6.3 Calibration work .....	193
6.4 General work .....	193
6.5 Publications, lectures, travel: Radiometry, photometry, thermometry and pressure section .....	193
6.5.1 External publications .....	193
6.5.2 BIPM report .....	194
6.5.3 Lectures and presentations .....	194
6.5.4 Travel (committees, visits to laboratories and institutions) ..	194
6.6 Activities related to external organizations .....	195
6.7 Visitors to the Radiometry, photometry, thermometry and pressure section .....	195
6.7.1 Guest workers .....	195
6.7.2 Visitors .....	196
7. Ionizing radiation .....	196
7.1 Dosimetry (x and $\gamma$ rays, neutrons) .....	196
7.1.1 X and $\gamma$ rays .....	196
7.1.2 Neutron measurements .....	198
7.2 Radionuclides .....	199
7.2.1 Activity measurements .....	199
7.2.2 Detection of source impurities .....	201
7.2.3 Counting statistics .....	202
7.3 Publications, lectures, travel: Ionizing radiation section .....	202
7.3.1 External publications .....	202
7.3.2 BIPM reports .....	203
7.3.3 Travel (committees, visits to laboratories and institutions) ..	204
7.4 Activities related to external organizations .....	205
7.5 Visitors to the Ionizing radiation section .....	205
7.5.1 Guest workers .....	205
7.5.2 Visitors .....	206
IV. Publications of the BIPM .....	206
1. General publications .....	206
2. Metrologia .....	207
V. Meetings and lectures at the BIPM .....	207
1. Meetings .....	207
2. Lectures .....	208
VI. Certificates and Notes of Study .....	208
VII. Accounts .....	208

---

IMPRIMERIE STEDI  
PARIS 18<sup>e</sup>

---

Dépôt légal : Imprimeur, 1997, n° 5244  
ISBN 92-822-2151-2  
ISSN 0370-2596

ACHEVÉ D'IMPRIMER : SEPTEMBRE 1997

Imprimé en France