

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES



COMITÉ INTERNATIONAL
DES
POIDS ET MESURES

Procès-verbaux de la 83^e session
Report of the 83rd Meeting
1994

TOME 62

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

ISSN 0370-2596
ISBN 92-822-2138-5

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

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

AECL	AECL Research, Chalk River (Canada)
AIEA/IAEA	Agence internationale de l'énergie atomique/International Atomic Energy Agency
AIG/IAG	Association internationale de géodésie/International Association of Geodesy
ANSTO	Australian Nuclear Science and Technology Organisation, Menai (Australie)
AOS	Astronomiczne Obserwatorium Szerokosciowe (Pologne)
ASE/ESA	Agence spatiale européenne/European Space Agency
*ASMW	Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, Berlin (Allemagne)
BAM	Bundesamt für Materialforschung und- Prüfung, Berlin (Allemagne)
*BCM/CBNM	Bureau central de mesures nucléaires/Central Bureau for Nuclear Measurements, IMMR-CCE, Geel (Belgique), <i>voir</i> IMMR/IRMM
BCR	Bureau communautaire de référence de la Communauté économique européenne/Community Bureau of Reference of the Commission of the European Communities
BEV	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Vienne (Autriche)
BIPM	Bureau international des poids et mesures
BNM	Bureau national de métrologie, Paris (France)
BRGM	Bureau de recherches géologiques et minières, Orléans (France)
*CBNM	<i>voir</i> 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.

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
CEA	Commissariat à l'énergie atomique, Paris (France)
CEI/IEC	Commission électrotechnique internationale/International Electrotechnical Commission
CEM	Centro Español de Metrologia, Madrid (Espagne)
CENAM	Centro Nacional de Metrologia, Mexico (Mexique)
CERLAB	Centre inter laboratoires d'études et de réalisation, Paris (France)
CERN	Conseil européen pour la recherche nucléaire, Genève (Suisse)
CGPM	Conférence générale des poids et mesures
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)
CIPM	Comité international des poids et mesures
CITAC	Cooperation on International Traceability in Analytical Chemistry
CLEO	Conference on Lasers and Electro-Optics
CMI	Czech Institute of Metrology, Prague (Rép. tchèque)
CNAM	Conservatoire national des arts et métiers, Paris (France)
CNEA	Comisión Nacional de Energia Atomica, Buenos Aires (Rép. argentine)
CNES	Centre national d'études spatiales, Toulouse (France)
CNM	Centro Nacional de Metrologia, Queretaro (Mexique)
CNRS	Centre national de la recherche scientifique, Paris et Verrières (France)
CODATA	Committee on Data for Science and Technology
COM	Central Office of Measures, Varsovie (Pologne)
COMECON	Council for Mutual Economic Assistance
CPEM	Conference on Precision Electromagnetic Measurements
CRL	Communications Research Laboratory, Tokyo (Japon)
*CSAV	<i>voir</i> ISI
CSIR	(ex NPRL) Council for Scientific and Industrial Research, Division of Production Technology, Pretoria (Afrique du Sud)

CSIRO	(ex NML) Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Division of Applied Physics, Lindfield (Australie)
*CSMU	Československý Metrologický Ústav, Bratislava et Prague (Rép. slovaque et Rép. tchèque), <i>voir</i> CMI et SMU
DCN	Direction des constructions navales, Brest (France)
DFM	Danish Institute of Fundamental Metrology, Lyngby (Danemark)
DMA	Defence Mapping Agency, Saint-Louis (É.-U. d'Amérique)
EFTF	Forum européen fréquence et temps/European Frequency and Time Forum
ENEA	Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Rome (Italie)
ENS	École normale supérieure, Paris (France)
*EOLAS	Irish Science and Technology Agency, Dublin (Irlande), <i>voir</i> FORBAIRT
ESA	<i>voir</i> ASE
ETL	Electrotechnical Laboratory, Tsukuba (Japon)
EUROMET	European Collaboration in Measurement Standards
FGI	Finnish Geodetic Institute, Helsinki (Finlande)
FORBAIRT	(ex EOLAS) National Metrology Laboratory, Dublin (Irlande)
FTZ	Fernmeldetechnisches Zentralamt, Darmstadt (Allemagne)
GGTTS	CCDS Group on GPS Time Transfer Standards
GRGS	Groupe de recherches de géodésie spatiale
GSC	Geological Survey of Canada, Ottawa (Canada)
GSI	Geographical Survey Institute, Tsukuba (Japon)
HUT	Helsinki University of Technology, Helsinki (Finlande)
IAEA	<i>voir</i> AIEA
IAG	<i>voir</i> AIG
IAU	<i>voir</i> UAI
ICAP	International Conference on Atomic Physics
ICG	International Commission on the Geoid
ICRP	International Commission on Radiological Protection
ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurements
IEA	Instytut Energii Atomowej, Swierk (Pologne)
IEC	<i>voir</i> CEI
IEN	Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin (Italie)
*IER-EPFL	<i>voir</i> IRA
IFAG	Institut für Angewandte Geodäsie, Francfort (Allemagne)
IFE	Institut für Erdmessung, Hanovre (Allemagne)
IGC	International Gravity Commission

IGS	International Geodynamics Service
IMEP	Programme international d'évaluation des mesures de l'IMMR/International Measurement Evaluation Programme of the IRMM
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)
INETI	(ex LNETI) Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, Lisbonne (Portugal)
INM	Institut national de métrologie, Paris (France)
INPL	National Physical Laboratory of Israel, Jérusalem (Israël)
ION	Institute of Navigation, Alexandria, Va (É.-U. d'Amérique)
IPL	Institut de physique des lasers de l'Académie des sciences de Russie/Institute of Laser Physics, Academy of Sciences of Russia, Novosibirsk (Féd. de Russie)
IRA	(ex IER-EPFL) Institut de radiophysique appliquée, Lausanne (Suisse)
IRMM	<i>voir</i> IMMR
ISI	(ex CSAV) Institute of Scientific Instruments, Brno (Rép. tchèque)
ISO	Organisation internationale de normalisation/International Organization for Standardization
ISO/REMCO	Organisation internationale de normalisation, Comité pour les matériaux de référence/International Organization for Standardization, Committee on Reference Materials
ISO/TAG4	Organisation internationale de normalisation, Comité technique 4 (métrologie)/International Organization for Standardization, Technical Advisory Group 4 (Metrology)
ITRI	Industrial Technology Research Institute (Taiwan)
IUGG	<i>voir</i> UGGI
IUPAC	<i>voir</i> UICPA
IUPAP	<i>voir</i> UIPPA
JILA	Joint Institute for Laboratory Astrophysics, Boulder (É.-U. d'Amérique)
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

LCIE	Laboratoire central des industries électriques, Fontenay-aux-Roses (France)
LGC	Laboratory of the Government Chemist, Teddington (Royaume-Uni)
*LMRI	Laboratoire de métrologie des rayonnements ionisants, Saclay (France), <i>voir</i> LPRI
LNE	Laboratoire national d'essais, Orsay et Paris (France)
*LNETI	Laboratório Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, Lisbonne (Portugal), <i>voir</i> INETI
LNMRI	Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes, Rio de Janeiro (Brésil)
LPRI	(ex LMRI) Laboratoire primaire des rayonnements ionisants, Saclay (France)
LPTF	Laboratoire primaire du temps et des fréquences, Paris (France)
MRI	Metrology Research Institute, Helsinki (Finlande)
NAC	National Accelerator Centre, Faure (Afrique du Sud)
NAOT	(ex TAO) National Astronomical Observatory, Tokyo (Japon)
*NBS	National Bureau of Standards, Gaithersburg (É.-U. d'Amérique), <i>voir</i> NIST
NCM	National Centre of Metrology, Sofia (Bulgarie)
NCRRT	National Centre for Radiation Research Technology, Le Caire (Égypte)
NIM	Institut national de métrologie/National Institute of Metrology, Beijing (Rép. pop. de Chine)
NIST	(ex NBS) National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg (É.-U. d'Amérique)
NMi	(ex VSL) Nederlands Meetinstituut, Delft (Pays-Bas)
*NML	National Measurement Laboratory, Lindfield (Australie), <i>voir</i> CSIRO
NMS	National Measurement Service, Oslo (Norvège)
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration (É.-U. d'Amérique)
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 of Canada, Ottawa (Canada)
NRLM	National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba (Japon)
NRPA	(ex NSIS) Norwegian Radiation Protection Authority, Østerås (Norvège)

*NSIS	Norwegian Statens Institutt for Strålehygiene, Østerås (Norvège), <i>voir</i> NRPA
OCA	Observatoire de la Côte d'Azur, Grasse (France)
OCDE/OECD	Organisation de coopération et de développement économiques/ Organization for Economic Co-operation and Development
OECD	<i>voir</i> OCDE
OFMET	Office fédéral de métrologie/Eidgenössisches Amt für Messwesen, Wabern (Suisse)
OIML	Organisation internationale de métrologie légale
OMH	Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest (Hongrie)
OP	Observatoire de Paris (France)
OPRI	(ex SCPRI) Office de protection contre les rayonnements ionisants, Le Vésinet (France)
PKNM	Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakości, Varsovie (Pologne)
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig et Berlin (Allemagne)
PTTI	Precise Time and Time Interval Applications and Planning Meeting
*SCPRI	Service central de protection contre les rayonnements ionisants, Le Vésinet (France), <i>voir</i> OPRI
SMU	(ex CSMU) Slovenský Metrologický Ústav/Slovak Institute of Metrology, Bratislava (Rép. slovaque)
SP	(ex Statens Provningsanstalt) Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut/ Swedish National Testing and Research Institute, Borås (Suède)
SSDL	Secondary Standards Dosimetry Laboratories
SUN-AMCO	Symbols, Units and Nomenclature, Atomic Masses and Fundamental Constants, IUPAP Commission
*TAO	<i>voir</i> NAOT
TUG	Technical University, Graz (Autriche)
UAI/IAU	Union astronomique internationale/International Astronomical Union
UGGI/IUGG	Union géodésique et géophysique internationale/International Union of Geodesy and Geophysics
UICPA/IUPAC	Union internationale de chimie pure et appliquée/International Union of Pure and Applied Chemistry
UIPPA/IUPAP	Union internationale de physique pure et appliquée/International Union of Pure and Applied Physics
URSI	Union radioscopifique internationale/International Union of Radio Science
USNO	U.S. Naval Observatory, Washington DC (É.-U. d'Amérique)

VNIIFTRI	Institut des mesures physico-techniques et radiotechniques/All-Russian Research Institute for Physical, Technical and Radio-Technical Measurements, Moscou (Féd. de Russie)
VNIIM	Institut de métrologie D.I. Mendéléev/D.I. Mendeleev Institute for Metrology, Saint-Pétersbourg (Féd. de Russie)
VNIIOFI	Institut de recherche de Russie pour les mesures en optique physique/All-Russian Research Institute for Optophysical Measurements, Moscou (Féd. de Russie)
*VSL	Van Swinden Laboratorium, Delft (Pays-Bas), voir NMI

2. Sigles des termes scientifiques

Acronyms for scientific terms

ALGOS	Algorithme pour établir le TAI/Time-scale algorithm for TAI, BIPM
CCC	Comparateur cryogénique de courant/Cryogenic current comparator
EAL	Échelle atomique libre/Free atomic time scale
EHQ/QHE	Effet Hall quantique/Quantum Hall effect
EIT-90/ITS-90	Échelle internationale de température de 1990/International Temperature Scale of 1990
EXTRAS	Expérience « Maser à hydrogène dans l'espace » /Experiment on Timing, Ranging and Atmospheric Soundings
FTP	Protocole de transfert de fichiers (sur le réseau Internet)/File Transfer Protocol (on Internet)
GLONASS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
IDMS	Spectrométrie de masse avec dilution isotopique/Isotope Dilution Mass Spectrometry
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
ITS-90	voir EIT-90
JPO	Jet à pompage optique
LASSO	Laser Synchronization from Satellite Orbit
LID	Diffractomètre interférentiel à laser/Laser Interference Diffractionmeter
PRARE	Precise Range and Range-Rate Equipment
QHE	voir EHQ
QHR	voir RHQ
RHQ/QHR	Résistance de Hall quantifiée/Quantum Hall resistance

SI	Système international d'unités/International System of Units
SIR	Système international de référence pour les mesures d'activité d'émetteurs de rayons gamma et bêta purs/International Reference System for gamma- and pure beta-ray emitting radionuclides
TAI	Temps atomique international/International Atomic Time
TCB	Temps coordonné barycentrique/Barycentric Coordinate Time
TCG	Temps coordonné géocentrique/Geocentric Coordinate Time
TDCR	Rapport des coïncidences triples aux coïncidences doubles/ Triple to Double Coincidence Ratio Method
TT	Temps terrestre/Terrestrial Time
T2L2	Time Transfer by Laser Link
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 m²) du Pavillon de Breteuil (Parc de Saint-Cloud) mis à sa disposition par le Gouvernement français ; son entretien est assuré à frais communs par les États membres de la Convention du Mètre*.

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

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

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

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

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

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

Limitées à l'origine aux mesures de longueur et de masse et aux études métrologiques en relation avec ces grandeurs, les activités du Bureau international ont été étendues aux étalons de mesure électriques (1927), photométriques (1937), des rayonnements ionisants (1960), aux échelles de temps (1988) et à la quantité de matière (1993). 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 1994, 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.

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

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

Les comités consultatifs ont un règlement commun (*BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 1963, 31, 97). Chaque comité consultatif, dont la présidence est généralement confiée à un membre du Comité international, est composé de délégués de chacun des grands laboratoires de métrologie et des instituts spécialisés dont la liste est établie par le Comité international, de membres individuels désignés également par le Comité international et d'un représentant du Bureau international. Ces comités tiennent leurs sessions à des intervalles irréguliers ; ils sont actuellement au nombre de 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 Comité précédent (CCE) s'est occupé des questions de photométrie).
3. Le Comité consultatif de thermométrie (CCT), créé en 1937.
4. Le Comité consultatif pour la définition du mètre (CCDM), créé en 1952.
5. Le Comité consultatif pour la définition de la seconde (CCDS), créé en 1956.
6. Le Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI), créé en 1958. En 1969, ce comité consultatif a institué quatre sections : Section I (Rayons x et γ , électrons), Section II (Mesure des radionucléides), Section III (Mesures neutroniques), Section IV (Étalons d'énergie α) ; cette dernière section a été dissoute en 1975, son domaine d'activité étant confié à la Section II.
7. Le Comité consultatif des unités (CCU), créé en 1964 (ce comité consultatif a remplacé la « Commission du système d'unités » instituée par le CIPM en 1954).
8. Le Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées (CCM), créé en 1980.
9. Le Comité consultatif pour la quantité de matière (CCQM), créé en 1993.

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

- *Comptes rendus des séances de la Conférence générale des poids et mesures* ;
- *Procès-verbaux des séances du Comité international des poids et mesures* ;
- *Sessions des comités consultatifs*.

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).

Depuis 1965 la revue internationale *Metrologia*, éditée sous les auspices du Comité international des poids et mesures, publie des articles sur les principaux travaux de métrologie scientifique effectués dans le monde, sur l'amélioration des méthodes de mesure et des étalons, sur les unités, etc., ainsi que des rapports concernant les activités, les décisions et les recommandations des organes de la Convention du Mètre.

LISTE DES MEMBRES
DU
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
au 29 septembre 1994

Président

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

Secrétaire

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

Membres

3. W.R. BLEVIN, directeur de la Division of Applied Physics, CSIRO, P.O. Box 218, Bradfield Road, Lindfield NSW 2070, Australie.
Vice-président.
4. P.B. CLAPHAM, directeur du National Physical Laboratory, Teddington TW11 0LW, Royaume-Uni.
5. L. CROVINI, directeur de l'Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Strada delle Cacce 73, 10135 Turin, Italie. *Secrétaire-adjoint.*
6. GAO Jie, directeur par interim, Joint Laboratory of High Technology Metrology and Measurement, China State Bureau of Technical Supervision, BP 8010, Beijing 100088, Rép. pop. de Chine.
7. K.B. GEBBIE, directeur du Laboratoire de physique, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899, É.-U. d'Amérique.
8. E.S.R. GOPAL, directeur du National Physical Laboratory of India, Dr K.S. Krishnan Road, New Delhi 110012, Inde.
9. K. IIZUKA, c/o National Research Laboratory of Metrology, 1-1-4 Umezono, Tsukuba 305, Japon.
10. R. KAARLS, directeur du Nederlands Meetinstituut, P.O. Box 654, 2600 AR Delft, Pays-Bas.

11. O.V. LOUNASMAA, Low Temperature Laboratory, Helsinki University of Technology, Otakaari 3 A, SF-02150 Espoo, Finlande.
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. *Vice-président*.
15. R. STEINBERG, Département de physique et métrologie, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, 1101 Buenos Aires, Argentine.
16. Yu V. TARBEÉV, directeur général de l'Institut de métrologie D.I. Mendéléév, 19 Perspective de Moskovsky, 198005 Saint-Pétersbourg, Féd. de Russie.
17. J. VANIER, ancien directeur général de l'Institut des étalons nationaux de mesure, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa K1A 0S1, Canada.
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, The Warbuck, Kirk Michael, 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^{er} janvier 1995

Directeur : M. T.J. Quinn

Longueurs : M. J.-M. Chartier

M. R. Felder, Mme S. Picard, MM. L. Robertsson, L. Vitouchkine⁽¹⁾,
A. Zarka
Mme A. Chartier, M. J. Labot

Masse et grandeurs apparentées : M. R.S. Davis, M. A. Sakuma

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

Électricité : M. T.J. Witt

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

Radiométrie et photométrie : M. R. Köhler

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

Rayonnements ionisants : M. J.W. Müller

Mmes P. Allisy-Roberts, M. Boutillon, MM. V.D. Huynh, G. Ratel
MM. D. Carnet, C. Colas, L. Lafaye, 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. Angot, C. Dias-Nunes

Atelier de mécanique : M. J. Sanjaime
MM. B. Bodson, M. de Carvalho, J.-B. Caucheteux, J.-P. Dewa, A. Gama,
A. Montbrun, F. Perez, D. Rotrou,
MM. E. Dominguez⁽²⁾, C. Neves⁽²⁾

Directeur honoraire : M. P. Giacomo
Métrologiste principal honoraire : M. G. Leclerc
Métrologiste honoraire : M. H. Moreau

(1) Chercheur associé

(2) Également gardiens

ORDRE DU JOUR DE LA SESSION

1. Ouverture de la session ; quorum ; approbation de l'ordre du jour.
 2. Rapport du secrétaire et activités du bureau du Comité (octobre 1993 – septembre 1994).
 3. Composition du Comité.
 4. Convocation de la vingtième Conférence générale des poids et mesures.
 5. Comités consultatifs :
 - rapport du CCEMRI,
 - rapport du CCPR,
 - missions, présidence et composition du CCQM,
 - réunions futures.
 6. Travaux du BIPM : Rapport du directeur.
 7. Questions administratives et financières :
 - « Rapport aux gouvernements » pour 1993,
 - quitus pour 1993,
 - exercice 1994 en cours,
 - caisse de retraite du BIPM,
 - promotions.
 8. Questions diverses.
-

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

83^e session
(27-29 septembre 1994)

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES TENUES À SÈVRES

Présidence de M. D. Kind

Le Comité international des poids et mesures (CIPM) s'est réuni pour sa 83^e session le mardi 27, le mercredi 28 et le jeudi 29 septembre 1994. Il a tenu quatre séances.

Étaient présents : MM. BLEVIN, CLAPHAM, CROVINI, GAO, Mme GEBBIE, MM. GOPAL, IIZUKA, KAARLS, KIND, KOVALEVSKY, LOUNASMAA, PÂQUET, SIEGBAHN, SKÁKALA, TARBÉEV et QUINN (directeur du BIPM).

Assistaient aussi aux séances : M. GIACOMO (directeur honoraire du BIPM); M. PRESTON-THOMAS (membre honoraire du CIPM); Mlle MONPROFIT et Mme LE COZ (secrétariat).

Excusés : MM. STEINBERG et VANIER.

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

Le président ouvre la 83^e session du Comité international des poids et mesures et accueille les membres présents, en particulier les trois nouveaux membres, Mme Gebbie, la première femme membre du CIPM, M. Kaarls et M. Tarbéev, ainsi que MM. Giacomo et Preston-Thomas.

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

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

Une minute de silence est observée à la mémoire de Tomasz Plebanski, membre du CIPM depuis 1983, décédé le 20 août 1994, ainsi qu'à la mémoire de Fred Lehany, membre du CIPM de 1963 à 1980 et membre honoraire, décédé le 8 août 1994.

L'ordre du jour est adopté.

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

2. Rapport du secrétaire du CIPM (octobre 1993 - septembre 1994)

M. Kovalevsky, secrétaire du CIPM, présente le rapport suivant, qui combine l'ancien Rapport du secrétaire, par lequel il informe le Comité des événements qui concernent les États membres de la Convention du Mètre, des changements dans la composition du Comité et de la situation financière du BIPM, et le Rapport du bureau du Comité sur son activité au cours de l'année passée.

Le bureau s'est réuni trois fois durant l'année, deux fois au Pavillon de Breteuil et une fois à Boulder, Colorado, à l'occasion de la Conférence on Precision Electromagnetic Measurements (CPEM).

États membres de la Convention du Mètre

Le CIPM a été officiellement informé, en juillet 1994, de l'adhésion de l'État de Singapour à la Convention du Mètre; les États membres de la Convention du Mètre sont maintenant au nombre de 48.

Après la séparation en deux républiques de l'ancien État de Tchécoslovaquie à compter du 1^{er} janvier 1993, le bureau s'est demandé ce qu'il convenait de faire dans un tel cas au sujet du paiement de la contribution d'entrée à la Convention du Mètre.

Le bureau a proposé au Comité de décider, lors de la session de septembre 1994, d'exempter de la cotisation d'entrée mentionnée à l'article 11 (1875) de la *Convention du Mètre* les nouveaux États membres qui étaient précédemment membres de la Convention du Mètre du fait de leur appartenance à un ancien État membre. Le Comité est autorisé par l'article 11 à prendre une telle décision. Le Comité est appelé à approuver spécifiquement la position prise à l'égard des Républiques tchèque et slovaque, en l'occurrence de les exempter de contribution d'entrée à la Convention du Mètre, et aussi la proposition de leur demander, dans la *Notification* de 1995, de payer la différence entre la somme payée par la Tchécoslovaquie à la fin de 1992 pour 1993, et qui est maintenant calculée comme étant due par les deux républiques séparées en 1993.

Le bureau demande donc au Comité de prendre ces décisions.

Membres du Comité international

Le BIPM a été informé le 22 août 1994 du décès de Tomasz Plebanski, membre du CIPM depuis 1983. Le Comité regrettera profondément son absence, car ses avis étaient de grande valeur pour le Comité et son soutien au BIPM était sans faille. Nous avons aussi été informés du décès de Fred Lehany, membre honoraire du Comité international. Il a été directeur du National Measurements Laboratory à Sydney (Australie), membre du CIPM de 1963 à 1980 et président du Comité consultatif d'électricité de 1966 à 1980.

Le Comité a procédé à l'élection de trois nouveaux membres depuis la dernière session, ce sont Mme Katherine Gebbie, M. Robert Kaarls et M. Yuri Tarbéev. Mme Gebbie est directeur du Physics Laboratory du NIST (Gaithersburg), M. Kaarls est directeur du NMI (Delft) et M. Tarbéev est directeur du VNIIM (Saint-Petersbourg). M. Jan de Boer a présenté sa démission du Comité international en avril 1994, mettant ainsi fin à une étroite collaboration avec le CIPM qui a duré près de quarante ans, durant lesquels il fut pendant longtemps secrétaire du Comité international et président du Comité consultatif des unités. Lors de la précédente Conférence générale, peu après sa démission du poste de secrétaire du Comité international, M. J. Hamburger, président de l'Académie des sciences, lui a remis les insignes de la Légion d'honneur de la République française. Il a été élu membre honoraire du Comité international peu après sa démission.

Vingtième Conférence générale

Le bureau a discuté du projet de *Convocation* à la vingtième Conférence générale qui a été préparé par le directeur du BIPM et a approuvé, lors de la réunion qui s'est tenue à Boulder, le document qui a été distribué au Comité international en juillet 1994.

La *Convocation* à une Conférence générale qui doit se tenir en octobre doit être officiellement envoyée aux gouvernements des États membres au mois de décembre de l'année précédente. Le document définitif doit, toutefois, être approuvé par le Comité international lors de sa session de septembre. Dans la *Convocation*, les gouvernements des États membres sont invités à faire part au Comité international des vœux ou propositions qu'ils souhaitent soumettre à la Conférence générale au moins quatre mois avant la Conférence pour qu'ils soient transmis aux États membres. Le programme de travail du BIPM et les prévisions budgétaires détaillées pour la période de quatre ans couverte par la Conférence sont préparés en temps voulu pour être envoyés aux États membres au mois de mars qui précède la Conférence. La période de quatre ans couverte par la vingtième Conférence générale débutera le 1^{er} janvier 1997.

Indications financières

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

Comptes	1991	1992	1993	1994
I. — Fonds ordinaires . .	11 681 069,08	12 431 411,07	12 113 526,07	18 931 178,64
II. — Caisse de retraite . .	14 546 368,84	15 364 041,35	16 395 611,25	17 555 532,69
III. — Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique .	75 627,81	172 765,56	171 995,64	0,00
IV. — Caisse de prêts so- ciaux	302 431,48	327 514,70	358 173,05	398 083,17
V. — Réserve pour les bâ- timents	0,00	0,00	0,00	0,00
VI. — Metrologia	0,00	0,00	0,00	0,00
VII. — Fonds de réserve pour l'assurance maladie .	0,00	0,00	728 727,58	1 165 671,44
Total	26 605 497,21	28 295 732,68	29 768 033,59	38 050 465,94

Questions diverses

Le bureau a discuté de questions diverses, telles que les résultats d'une nouvelle étude actuarielle de la Caisse de retraite du BIPM, les propositions relatives aux missions et à la composition du nouveau Comité consultatif pour la quantité de matière et de questions relatives au personnel du BIPM.

Suit une brève discussion sur le Rapport du secrétaire, le président notant que les points importants seront discutés en détail ultérieurement conformément à l'ordre du jour. M. Quinn rappelle aux membres que le CIPM doit approuver formellement l'exemption de contribution d'entrée des Républiques tchèque et slovaque à la Convention du Mètre, ainsi que des nouveaux États membres issus d'un ancien État signataire de la Convention du Mètre, conformément à l'article 11 de la *Convention du Mètre*. Le CIPM approuve à l'unanimité ces propositions.

3. Projet de convocation à la vingtième Conférence générale

M. Quinn présente au Comité international le projet de *Convocation* à la vingtième Conférence générale et il rappelle aux membres du CIPM que ce document doit être distribué aux États membres au moins six mois avant la prochaine Conférence générale, c'est-à-dire avant la fin de 1994. La discussion qui a lieu au sein du Comité est donc la dernière occasion de modifier ce document. Le bureau a reçu de nombreux commentaires qu'il a discutés avant la présente session, et il a préparé un nouveau projet de document.

Le texte fait l'objet d'une discussion détaillée. Il est décidé d'ajouter au chapitre 6, Rapport du président du Comité international sur les travaux accomplis, un nouveau projet de résolution A sur la nécessité d'utiliser les unités du SI dans les recherches sur les ressources terrestres, l'environnement, la sécurité humaine et les études connexes ; il est fondé sur la recommandation adoptée par le Comité consultatif de photométrie et radiométrie en septembre 1994. Les huit projets de résolution scientifiques sont discutés en détail et sont finalement approuvés. Les trois premiers sont fondés sur de précédentes recommandations des comités consultatifs ; ils ont été rédigés en termes plus généraux, en vue de souligner le rôle important joué par la métrologie et les organes de la Convention du Mètre dans les sciences, l'industrie, le commerce et l'environnement. Ce sont, le projet de résolution A mentionné ci-dessus, le projet de résolution B, sur la traçabilité des étalons au niveau mondial, et le projet de résolution C, sur le besoin de recherches métrologiques à long terme. Le projet de résolution D, sur la révision de la mise en pratique de la définition du mètre et le projet de résolution E, sur le contrôle de la stabilité du prototype international du kilogramme, sont approuvés, après quelques changements rédactionnels mineurs. Le projet de résolution F, sur la comparaison d'horloges à l'aide de techniques par laser visant des satellites, est approuvé. Des améliorations sont apportées au projet de résolution G, sur la métrologie en chimie, et au projet de résolution H, sur la suppression de la classe des unités supplémentaires dans le SI, qui sont finalement approuvés.

Le chapitre 17, sur la dotation annuelle du Bureau international des poids et mesures pour la période de 1997 à 2000, est discuté en détail, et de nombreux changements y sont apportés. Le projet de résolution I, sur la dotation du BIPM, est approuvé. Il est finalement décidé de demander une augmentation annuelle de la dotation de 5,5 %, sur la base d'une inflation estimée à 2 %.

4. Comités consultatifs

4.1 Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants

En l'absence, pour raisons de santé, de M. Vanier, président du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI), M. Quinn a présidé la 13^e session du CCEMRI. Il présente un bref rapport sur la réunion du CCEMRI qui s'est tenue au Bureau international des poids et mesures les 12 et 13 avril 1994.

Les rapports des trois sections y ont été présentés : Section I (rayons x et γ , électrons), Section II (mesure des radionucléides) et Section III (mesures neutroniques). La Section I a examiné le rapport sur des

comparaisons d'étalons de kerma dans l'air et de dose absorbée dans l'eau, et elle a discuté des travaux sur les étalons de mesure pour la radioprotection, la curiethérapie et les traitements industriels par irradiation. La Section II a présenté des comparaisons d'étalons de mesure de radionucléides et l'extension du Système international de référence (SIR) aux émetteurs bêta purs. Les activités des groupes de travail ont aussi été présentées. La Section III a examiné l'état d'avancement des comparaisons de neutrons thermiques et des mesures de fluence spectrale. Des membres du personnel du BIPM ont exposé certains de leurs travaux récents.

M. Quinn a principalement discuté du programme de travaux futurs, présentés par les présidents des groupes de travail dans leur rapport.

M. Simoën, président de la Section I, a insisté sur la proposition de mettre en place et conserver au BIPM un système pour les comparaisons de dosimétrie entre les laboratoires. Il a noté que les laboratoires nationaux souhaitent que le BIPM participe davantage à la dosimétrie des photons de haute énergie et du rayonnement bêta. Bien que le BIPM ne puisse pas installer un accélérateur dans ce but, M. Quinn est favorable à une collaboration étroite avec des laboratoires qui en sont équipés, comme, en particulier, le LPRI qui vient de s'équiper d'un nouvel accélérateur linéaire. L'augmentation envisagée des effectifs du groupe de travail du BIPM sur les rayons x et γ devrait rendre cette tâche possible. La collaboration avec le LPRI présenterait de grands avantages pour le BIPM, car c'est un moyen d'effectuer des travaux utiles et d'entretenir la compétence du personnel du BIPM à peu de frais.

M. Debertain, président de la Section II, a souligné l'importance des travaux sur les comparaisons de mesures de radionucléides et l'extension du SIR, et le rôle de ce dernier pour l'assurance de la qualité. M. Quinn a assuré que, dans la mesure du possible, les effectifs de cette section du BIPM seront maintenus, avec le plein appui du CIPM.

M. Lewis, président de la Section III, a rappelé que les comparaisons de mesures neutroniques effectuées par cette section continueront, bien que la participation du BIPM dans ce domaine arrive à son terme. L'abandon de cette activité permettra d'affecter les postes de M. Huynh et de M. Lafaye au groupe sur les rayons x et γ du BIPM, ainsi que le CIPM l'avait décidé en 1985.

Lors de la discussion sur les travaux dans le domaine des rayonnements ionisants, M. Quinn dit que la traçabilité n'est pas une fin en soi, mais un moyen d'accès à des mesures exactes. Il souligne combien il est important que les travaux effectués au BIPM soient de même qualité que ceux effectués dans les laboratoires nationaux. Le BIPM continuera donc à s'appuyer largement sur les avis que lui prodiguent les membres des laboratoires nationaux et en particulier ceux qui sont membres du CCEMRI.

M. Quinn conclut que cette réunion a été très utile. Le président ajoute que tous semblent satisfaits de la situation actuelle, et il remercie M. Quinn pour son action.

4.2 Comité consultatif de photométrie et radiométrie

M. Blevin, président du Comité consultatif de photométrie et radiométrie (CCPR) présente un bref rapport sur la 13^e session du CCPR qui s'est tenue les 14, 15 et 16 septembre 1994 au Bureau international des poids et mesures. Des représentants de dix-sept laboratoires nationaux de métrologie ont participé à cette réunion du CCPR, qui a été particulièrement animée.

Une des activités les plus marquantes du CCPR depuis la précédente session en 1990 a été la comparaison internationale de mesures de sensibilité spectrale de photodiodes au silicium, dont le BIPM est le laboratoire pilote. Un des points satisfaisants de cette comparaison était la stabilité des photodiodes utilisées comme instruments de transfert. Dans le domaine visible du spectre, les résultats de plusieurs laboratoires nationaux étaient en excellent accord et d'autres laboratoires ont pu utiliser les résultats de la comparaison pour identifier et éliminer des sources d'erreur systématiques. Dans le domaine de l'ultraviolet dans l'air, toutefois, des différences importantes et inexplicables entre les laboratoires participants ont été constatées. Il convient de poursuivre les travaux en vue d'expliquer ces mauvais résultats.

Le CCPR a aussi reçu un rapport du Groupe de travail sur la radiométrie pour l'ultraviolet dans l'air, comportant des recommandations sur les travaux futurs dans ce domaine. Il a adopté les recommandations qui lui ont été soumises et a demandé au groupe de travail de poursuivre ses travaux, sous la présidence de la PTB. Une comparaison pilote internationale organisée par ce groupe de travail a confirmé le besoin d'accroître l'exactitude des étalons et des techniques de mesure dans ce domaine.

Cinq nouveaux groupes de travail ont été constitués en vue d'organiser et de mettre en œuvre les comparaisons internationales de mesures suivantes pour la période de 1994 à 1998 :

1. Sensibilité lumineuse de photodiodes au silicium corrigées suivant $V(\lambda)$, le laboratoire pilote est le BIPM ;
2. Mesures de puissance rayonnante à l'aide de radiomètres cryogéniques, en utilisant comme instruments de transfert des récepteurs (diodes) au silicium montés en piège, le laboratoire pilote est le BIPM ;
3. Mesures d'intensité lumineuse et de flux lumineux fournis par des lampes, le laboratoire pilote est la PTB ;
4. Mesures de l'aire de diaphragmes utilisés en radiométrie, le laboratoire pilote est le NIST ; et
5. Mesures de luminance énergétique spectrale de lampes à ruban, le laboratoire pilote est le VNIIOFI ; si un intérêt suffisant se manifeste, le VNIIOFI organisera une comparaison dans ce domaine.

Le CCPR a souligné la nécessité de poursuivre les efforts pour s'assurer que toutes les mesures des paramètres clés relatifs aux études des ressources terrestres, de l'environnement et des problèmes connexes sont exprimés en fonction des unités les plus solidement établies, c'est-à-dire des unités du SI. Il a rédigé une recommandation à ce sujet à l'attention du CIPM. La Recommandation P 1 (1994), sur la nécessité d'utiliser les unités du SI pour exprimer les mesures des paramètres clés dans les recherches sur les ressources terrestres, l'environnement et les études connexes, a été discutée et approuvée par le CIPM. Cette recommandation étant de portée générale, le CIPM a décidé de la reprendre dans la *Convocation* à la vingtième Conférence générale, en termes plus généraux, comme projet de résolution A.

4.3 Comité consultatif pour la quantité de matière

En l'absence de M. Lyons, président du précédent Groupe de travail du CIPM sur la métrologie en chimie qui avait été établi par le CIPM en 1991, M. Quinn présente le rapport suivant, préparé en collaboration avec M. Lyons.

Rapport de M. Lyons et de M. Quinn

Lors de sa 82^e session en 1993, le CIPM a établi un Comité consultatif pour la quantité de matière (CCQM) et il en a défini les missions provisoires. Il a demandé à M. Lyons, président du Groupe de travail du CIPM sur la métrologie en chimie, d'entreprendre les consultations nécessaires avant de fixer définitivement ses missions et de proposer au Comité international une liste de membres lors de la session de septembre 1994.

Lors d'une réunion organisée au NIST les 5 et 6 juillet 1994, les résultats d'une première comparaison préliminaire entre laboratoires consacrée à des éléments lourds, organisée par le groupe de travail, ont été discutés. Les participants à cette réunion étaient d'abord appelés à discuter des missions provisoires du nouveau comité consultatif, et le cas échéant, à proposer des changements.

Le président a exposé les arguments qui ont conduit le Comité international à instituer un comité consultatif lors de sa précédente session (*BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 1993, 61, 16-19) et il a distribué les commentaires concernant ces missions provisoires qu'il avait préalablement reçus par écrit. Après une discussion approfondie, il a été proposé d'ajouter un paragraphe supplémentaire aux missions de ce comité faisant spécifiquement référence aux incertitudes de mesure. La création d'un comité consultatif a été bien accueillie et des propositions concrètes ont été faites en vue de ses activités initiales.

Les projets d'activité du comité consultatif sont en partie inspirés des résultats de la première comparaison préliminaire entre laboratoires effectuée par le groupe de travail : certaines de ces activités pourraient avoir une influence qui dépasse le cadre des laboratoires membres de ce comité consultatif. La première comparaison préliminaire entre laboratoires concernait l'étude d'éléments lourds dans l'eau par spectrométrie de masse avec dilution isotopique (IDMS). Les résultats, comme l'on pouvait s'y attendre, montrent que l'accord entre laboratoires n'était pas aussi étroit que ce que l'on pouvait espérer au vu des incertitudes données par chaque laboratoire. L'étude des informations détaillées présentées par les laboratoires participants montre que des différences importantes existent dans la pratique de la spectrométrie de masse par dilution isotopique entre les laboratoires. Elles peuvent être en grande partie supprimées assez aisément en suivant les procédures mises au point par les quelques laboratoires hautement spécialisés dans ce domaine. Le groupe de travail propose donc qu'un groupe de travail restreint soit constitué pour donner des directives en vue d'utiliser la spectrométrie de masse avec dilution isotopique d'exactitude élevée et, en même temps, pour étudier les facteurs qui limitent l'exactitude de cette méthode. Il semble qu'il n'existe aucun document admis au niveau international sur ce sujet. Les participants à cette réunion étaient d'avis qu'un tel document serait précieux, non seulement pour les laboratoires de métrologie qui ont participé à cette étude, mais encore pour la communauté plus large des chimistes spécialisés dans le domaine de la chimie analytique. Il a été souligné qu'un point clé de ce document serait le traitement des incertitudes inhérentes à la méthode. Le groupe de travail a aussi proposé qu'une deuxième comparaison entre laboratoires soit effectuée quand les directives seront prêtes, et qu'un ou plusieurs des laboratoires membres participent à une des études en cours organisées sous les auspices de l'Institut des mesures et matériaux de référence, dans le cadre du Programme international d'évaluation des mesures (IMEP). De cette manière, non seulement les travaux du groupe (et désormais du comité consultatif) serviront à donner des directives, mais encore les résultats des mesures seront directement reliés à ceux obtenus dans le cadre de programmes plus vastes d'assurance métrologique. Bien que l'on ne dispose que de premiers résultats préliminaires pour l'étude II (analyse de mélanges gazeux), ces derniers indiquent que la traçabilité au SI au niveau international peut être établie avec succès dans ce domaine et que des actions utiles similaires devraient se poursuivre.

Missions

Le Groupe de travail sur la métrologie en chimie recommande au CIPM les missions suivantes :

— conseiller le CIPM sur les questions liées à l'exactitude des analyses chimiques quantitatives et à leur traçabilité aux unités SI ;

— coordonner les activités des laboratoires nationaux de métrologie en vue d'établir cette traçabilité au plus haut niveau ;

— stimuler la compréhension du concept d'incertitude et de la nécessité d'associer la donnée d'une incertitude à la donnée du résultat d'une mesure chimique et, ce faisant, encourager l'établissement de la traçabilité, en tenant compte des initiatives prises par ailleurs au niveau régional ou international ;

— examiner la nécessité éventuelle de mettre en œuvre un programme de travail au BIPM pour soutenir cette action.

Activités recommandées

Le groupe de travail a considéré que les activités suivantes sont prioritaires pour le nouveau CCQM :

— établir des directives détaillées sur l'utilisation de la spectrométrie de masse avec dilution isotopique en métrologie et l'évaluation critique de son exactitude ;

— entreprendre une nouvelle comparaison internationale d'un élément inorganique en solution selon ces directives, en appliquant une méthode et une analyse statistiques appropriées ;

— entreprendre une comparaison internationale mettant en jeu l'analyse chimique organique ;

— établir un lien entre les comparaisons internationales d'éléments inorganiques en solution organisées sous les auspices du CCQM et les études entreprises dans le cadre de l'IMEP. Cette tâche pourrait être remplie par la participation aux études de l'IMEP d'au moins un laboratoire ayant mené à bien les études organisées par le CCQM. Cela impliquerait d'étendre les mesures effectuées par le CCQM à l'étude des effets de blanc et de matrice chimiques, effets dont la connaissance est nécessaire pour l'étude des échantillons comparés dans le cadre de l'IMEP ;

— stimuler la production et l'évaluation de quelques matériaux clés spéciaux pour les besoins spécifiques des comparaisons internationales du CCQM, comme par exemple certains étalons isotopiques ;

— mettre en œuvre une stratégie claire et concise destinée aux laboratoires membres du CCQM afin de diffuser leurs compétences métrologiques, et permettre ainsi d'établir les liaisons qu'implique la traçabilité le long de toute la chaîne de mesures au sein de leurs propres systèmes nationaux ou régionaux de mesures chimiques ;

— établir des critères scientifiques de sélection des méthodes d'analyse chimique primaires ou de référence ;

— attirer l'attention sur les problèmes spécifiques aux effets de blanc et de matrice chimiques.

Il est recommandé que ces points soient traités spécifiquement dans les discussions sur les directives relatives aux méthodes, aux critères particuliers, et aux stratégies de traçabilité.

Le président remercie M. Quinn pour son rapport et invite les membres du Comité à discuter de la présidence et de la composition du CCQM.

Présidence

Le président propose de nommer M. Kaarls président du nouveau comité consultatif, car il connaît bien ce domaine et sera compétent pour établir un lien entre la métrologie et la chimie. Le Comité approuve à l'unanimité cette proposition.

M. Kaarls répond qu'il est très heureux d'accepter la présidence du CCQM; il est convaincu que la compatibilité des mesures pourra être améliorée.

Composition

M. Quinn poursuit son rapport sur la composition du comité.

Il est proposé que le comité consultatif pour la quantité de matière soit composé des laboratoires suivants :

Bureau national de métrologie [BNM] : Laboratoire national d'essais [LNE], Paris.

Conseil national de recherches du Canada [NRC] : Institute for Environmental Chemistry, Ottawa.

Institut de métrologie D. I. Mendéléév [VNIIM], Saint-Petersbourg.

Institut national de métrologie [NIM]/National Research Centre for Certified Reference Materials [NRCCRM], Beijing.

Korea Research Institute of Standards and Science [KRISS], Taejon.

National Institute of Standards and Technology [NIST], Gaithersburg.

National Physical Laboratory [NPL]/Laboratory of the Government Chemist [LGC], Teddington.

National Research Laboratory of Metrology [NRLM]/National Institute of Material and Chemical Research [NIMC], Tsukuba.

Nederlands Meetinstituut [NMI], Delft.

Physikalisch Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig.

Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut [SP], Borås.

Institut des matériaux et mesures de référence [IMMR], Geel.

Union internationale de chimie pure et appliquée [UICPA].

Pour la République populaire de Chine, le Japon et le Royaume-Uni, où il existe des centres nationaux de mesures chimiques, M. Quinn propose que le laboratoire national de métrologie et l'institut national de chimie soient tous les deux membres.

Une discussion s'ensuit. En Allemagne, le BAM est probablement appelé à devenir l'institut national de chimie et il sera à ce moment-là proposé comme laboratoire membre, dit M. Kind. M. Clapham félicite M. Quinn pour son exposé et dit que les missions du groupe de travail sont

mieux définies que lors de la précédente session. Il observe que, dans le programme d'activités du CCQM, l'accent semble mis sur la spectrométrie de masse avec dilution isotopique, alors que les premiers travaux du groupe sur la gravimétrie ne sont pas mentionnés. Il est important selon lui de poursuivre ces travaux et de les relier aux travaux sur la spectrométrie de masse et aux autres méthodes. Ce n'est qu'en corrélant ces méthodes de référence primaires que l'on pourra établir un système de traçabilité cohérent et global à la mole. M. Kaarls dit qu'il a coordonné pour sa part des études gravimétriques et que les comparaisons sont à moitié terminées. Il pense également que l'on ne doit pas se concentrer uniquement sur la spectrométrie de masse avec dilution isotopique et, en accord avec M. Quinn, il est d'avis que les travaux sur les méthodes gravimétriques doivent se poursuivre et être inclus dans les activités du nouveau comité consultatif. M. Iizuka approuve les améliorations apportées à la définition des missions du comité, mais il aimerait que l'on insiste sur l'aspect « quantitatif » des mesures chimiques.

Après discussion, les missions et la liste des membres du CCQM sont approuvés.

4.4 Réunions futures des comités consultatifs

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

CCDM	pas avant 1996
CCDS	mars ou avril 1996
	Groupe de travail sur le TAI : 13 au 15 mars 1995
CCE	14 et 15 juin 1995
CCEMRI	Section I : 24 au 26 avril 1995 Section II : 9 au 11 mai 1995 Section III : 27 et 28 avril 1995
CCM	mai ou juin 1996
CCPR	aucune date n'est fixée
CCQM	19 au 21 avril 1995
CCT	1996
CCU	21 au 23 février 1995.

5. Travaux du BIPM : Rapport du directeur

5.1 Travaux du BIPM

M. Quinn introduit brièvement les travaux effectués depuis la précédente session du CIPM et invite les membres du personnel scientifique du BIPM à

présenter leurs travaux, en montrant, en particulier, comment ils contribuent à accomplir la mission principale du BIPM, qui est de fournir les bases physiques nécessaires pour assurer l'uniformité des mesures dans le monde (*BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 1984). Dans chaque domaine, cette mission est accomplie en établissant et en conservant les réalisations des unités du SI, en organisant des comparaisons internationales et par la recherche fondamentale. Il rappelle qu'une visite des laboratoires est organisée pour l'après-midi.

La section des longueurs présente ses travaux dans le domaine de l'interférométrie et des lasers asservis, en particulier la comparaison internationale à $\lambda = 633$ nm organisée en collaboration avec des groupes régionaux, les travaux de recherche qui sont effectués en collaboration avec le LPTF, l'ENS et l'INM/CNAM sur un nouvel étalon de longueur d'onde à $\lambda = 778$ nm, asservi sur le rubidium, étalon qui fait preuve d'une excellente stabilité à court terme et qui est un futur candidat susceptible d'être inclus dans la liste des radiations recommandées pour la réalisation de la définition du mètre, et, pour finir, les premiers résultats de la quatrième comparaison internationale de gravimètres absolus et relatifs, son déroulement et l'exactitude obtenue.

La section des masses présente les travaux effectués pour conserver et disséminer les étalons représentatifs de l'unité de masse au moyen de la fabrication d'étalons prototypes du kilogramme, de la vérification de prototypes à la demande, de l'étalonnage et de la comparaison d'étalons voyageurs de 1 kg en acier inoxydable. Les travaux de recherche sur la mise au point de balances et l'anélasticité, sur les mesures de masse volumique et de susceptibilité magnétique, sur l'analyse de surface et la stabilité des étalons de masse, et sur les limites fondamentales qui affectent les comparaisons de masse sont aussi décrits. Dans le domaine de la gravimétrie absolue, la collaboration avec le réseau gravimétrique français (dont Sèvres point A fait partie) se poursuit, et les mesures effectuées au Puy-de-Dôme sont présentées.

La section du temps présente le travail courant sur l'établissement et la dissémination du TAI et de l'UTC, les recherches fondamentales sur les algorithmes pour les échelles de temps, les méthodes de comparaison horaire (une amélioration d'un facteur deux a été constatée pour les comparaisons d'horloges utilisant le GPS), les pulsars (pour le contrôle de la stabilité à long terme du temps terrestre), la relativité générale et son rôle dans les comparaisons horaires d'exactitude élevée. Les méthodes de calcul du TAI seront discutées à la réunion du Groupe de travail du CCDS sur le TAI qui doit se tenir au mois de mars 1995; le BIPM va essayer d'écourter la durée du calcul du TAI tout en améliorant sa stabilité à long terme.

La section d'électricité a la responsabilité d'assurer la cohérence internationale des étalons électriques de base, au moyen de la conservation et de l'étalonnage de représentations des unités SI de tension et de résistance d'exactitude élevée. Une première comparaison d'étalons de Josephson de

10 V au moyen d'un dispositif transportable a été réalisée avec succès au LCIE. Des mesures de diodes de Zener de 10 V et une étude des effets de l'humidité sur la stabilité des étalons de tension électroniques de 1,018 V fondés sur des diodes de Zener ont été effectuées. Des travaux récents sur la mesure en courant alternatif de la résistance fondée sur l'effet Hall quantique à des fréquences pouvant atteindre plusieurs kilohertz sont exposés.

La section de radiométrie présente les résultats de la comparaison internationale de sensibilité spectrale de photodiodes au silicium qui s'est terminée en 1994, les recherches sur le vieillissement des récepteurs, et la comparaison préliminaire effectuée en collaboration avec l'INM avec le radiomètre cryogénique du BIPM. En photométrie, les travaux ont porté essentiellement sur l'étalonnage d'étalons de travail. En thermométrie, une comparaison internationale de points triples de l'eau a commencé. Dans le domaine des pressions, le manobaromètre du BIPM a été comparé à une balance de pression dans le cadre d'une comparaison de moyennes pressions organisée sous les auspices du CCM.

La section des rayonnements ionisants joue un rôle central dans la diffusion d'étalons pour la radiothérapie, la protection, les traitements industriels, et les essais dans le domaine des rayonnements ionisants. L'accent continue à être mis sur les comparaisons internationales. Dans le domaine de la dosimétrie, des mesures de dose absorbée d'une source de ^{60}Co et une comparaison de la nouvelle source de ^{137}Cs sont présentées. Une comparaison internationale de mesures de débit de fluence de neutrons a été réalisée, ainsi que des mesures de taux d'émission de neutrons, en collaboration avec le LPRI et le LNMRI. Le Système international de référence (SIR) a été étendu aux émetteurs bêta purs. Enfin, de nouveaux travaux sur les statistiques de comptage et sur la méthode de parité sont présentés, faisant appel aux nombres de Bernoulli.

Le président remercie les physiciens pour l'excellente présentation des travaux qu'ils ont effectués au cours de l'année passée et ceux qu'ils projettent d'entreprendre pour l'avenir.

Il retrace ensuite en quelques mots la carrière de M. Huynh qui travaille dans la section des rayonnements ionisants du BIPM depuis 1972 et qui prendra sa retraite au mois d'août 1995. Il le remercie au nom du CIPM et lui souhaite une heureuse retraite.

5.2 Dépôt des prototypes

La visite officielle au caveau où sont conservés les prototypes métriques a donné lieu au rapport suivant :

Visite du dépôt des prototypes métriques

PROCÈS-VERBAL

Le 28 septembre 1994, 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 Mademoiselle F. Glière, documentaliste au Secrétariat général des Archives nationales, 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	:	21,0 °C
température maximale*	:	21,0 °C
température minimale*	:	19,5 °C
état hygrométrique	:	67 %

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,
F. GLIÈRE

Le Président
du CIPM,
D. KIND

6. Questions administratives et financières

6.1 Questions administratives et financières

Le président accueille Madame 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 1993*, ainsi que le rapport de l'expert comptable pour 1993. Ces rapports sont approuvés à l'unanimité et quitus est donné au directeur et à l'administrateur du BIPM pour l'exercice 1993.

* depuis la dernière visite.

L'état d'avancement du budget pour l'exercice 1994 est présenté et approuvé.

M. Lounaasma demande pourquoi les comptes sont toujours présentés en francs-or, une monnaie qui n'a plus cours et il propose d'utiliser plutôt l'ECU. M. Quinn lui répond que le BIPM n'est pas une organisation européenne, et qu'il n'existe aucune monnaie ayant cours au niveau mondial. Il ajoute que 90 % des dépenses du BIPM sont effectuées en francs français, et que le fait de disposer d'une unité de compte dont la parité est fixe par rapport au franc français représente une protection considérable contre les fluctuations des monnaies. Le président estime que l'usage du franc-or est satisfaisant et qu'il est justifié de conserver les traditions.

M. Pâquet demande si l'on ne pourrait pas demander un paiement pour les publications du BIPM. Le secrétaire répond que ce ne serait pas une bonne chose, car cela réduirait la diffusion du SI, et de plus ce ne serait pas vraiment rentable.

En réponse à une question sur les coûts salariaux au BIPM, M. Quinn rappelle qu'il suit le plan qui avait été établi par le CIPM en 1992 : pour la période de 1992 à 1996, il avait été décidé que les dépenses salariales augmenteraient au maximum de 4 % par an (promotions et inflation comprises) mais que, du fait d'une réduction des effectifs pendant cette même période, l'augmentation de la masse salariale entre 1992 et 1996 ne serait pas supérieure à plus de 8,5 %, pour le personnel permanent. Il pense être à même de respecter ce chiffre. Il ajoute que durant les prochaines années, et 1995 en est un exemple, les dépenses salariales pourraient être momentanément supérieures, du fait de certains recrutements effectués antérieurement à certains départs en retraite, pour préparer l'avenir. De plus, il prévoit d'engager un ou deux chercheurs associés pour une durée limitée.

Un projet de budget pour 1995 est présenté et approuvé.

Le dernier document soumis au CIPM est le *Tableau de répartition de la dotation pour 1995* inclus dans la *Notification des parts contributives*.

L'Uruguay est ajouté à la liste des pays dont les contributions sont réparties parmi les autres pays, car il est maintenant en retard de trois ans dans le paiement de ses contributions (Article 6 (1921) du règlement annexé à la *Convention du Mètre*). Le gouvernement de Singapour est maintenant signataire de la Convention du Mètre.

M. Kaarls demande ce qui est fait au sujet des contributions arriérées des États membres. M. Quinn répond que les contributions arriérées continuent à paraître dans les comptes jusqu'à ce que les États membres en question les paient. Si elles ont été distribuées, tout paiement futur est d'abord utilisé pour rembourser l'avance faite par les autres États membres. Aucun mécanisme n'existe pour effacer ces contributions impayées et le gouvernement français, qui est dépositaire de la Convention du Mètre, a

BUDGET POUR 1995

RECETTES

	francs-or
<i>Recettes budgétaires :</i>	
1. Contributions des États	24 451 000
2. Intérêts des fonds	881 000
3. Taxes de vérification et recettes diverses	182 000
Total	<u>25 514 000</u>

DÉPENSES

<i>A. Dépenses de personnel :</i>	
1. Traitements	11 720 000
2. Allocations familiales et sociales	1 990 000
3. Assurance maladie	1 074 000
4. Assurance accidents	45 000
5. Caisse de retraite	2 110 000
	} 16 939 000
<i>B. Dépenses de fonctionnement :</i>	
1. Mobilier	30 000
2. Laboratoires et atelier	1 296 000
3. Chauffage, eau, énergie électrique	542 000
4. Assurances	93 000
5. Impressions et publications	260 000
6. Frais de bureau	455 000
7. Voyages et transports d'appareils	715 000
8. Entretien courant	399 000
9. Bureau du Comité	48 000
	} 3 838 000
<i>C. Dépenses d'investissement :</i>	
1. Laboratoires	2 808 000
2. Atelier de mécanique	171 000
3. Bibliothèque	306 000
	} 3 285 000
D. Bâtiments (gros travaux d'entretien et de rénovation)	386 000
E. Frais divers et imprévus	283 000
F. Fonds de réserve	783 000
Total	<u>25 514 000</u>

toujours considéré que rien ne l'autorise à agir de quelque façon que ce soit à ce sujet.

La *Notification des parts contributives* est approuvée.

6.2 Caisse de retraite du BIPM

M. Quinn présente un rapport qu'il a préparé au sujet de la Caisse de retraite du BIPM :

En 1983 le CIPM avait demandé à un actuaire de réaliser une étude du régime des pensions de retraite du BIPM. Celle-ci a été effectuée et les résultats ont été présentés au CIPM lors de sa session de 1984. Le Comité a discuté des résultats de cette étude et publié ses conclusions dans les Procès-verbaux (*BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 1984, 52, 26).

En résumé, le Comité avait conclu que la situation financière à l'époque était saine, mais qu'il serait nécessaire de trouver des fonds supplémentaires vers l'an 2000, et que la situation serait discutée à nouveau d'ici dix ans.

Dix ans ont passé depuis cette étude et, conformément à la suggestion du Comité en 1984, une nouvelle étude a été effectuée. Comme précédemment, il a été demandé à un actuaire d'examiner les fonds de la Caisse de retraite et de faire des prévisions tenant compte des besoins futurs pour les vingt prochaines années.

Les principaux résultats de l'étude actuarielle portent sur le nombre de retraités et sur le montant des pensions susceptibles d'être payées pendant la période couverte par cette étude. Le nombre de retraités devrait doubler, passant de 24 à environ 48 en 2010, époque à partir de laquelle ce nombre restera en moyenne constant, avec toutefois des fluctuations assez importantes. Le montant des pensions à payer augmentera dans une proportion plus forte durant cette même période, jusqu'en 2010, pour atteindre 3,2 fois le montant actuel des pensions. Cette augmentation relative du coût des pensions reflète l'augmentation relative du personnel hautement qualifié recruté depuis les années 1970. L'augmentation au BIPM du rapport entre le nombre de retraités et le nombre d'actifs (ce qu'on appelle le rapport actifs / retraités à charge) de 0,36 à 0,72 est comparable à celle qui est envisagée dans la plupart des pays occidentaux industrialisés*. Ce rapport est de 0,65 pour une population stationnaire.

La conséquence de cette augmentation importante du nombre de retraités, qui devrait se produire à partir de 1996, jointe aux effectifs constants (actuellement en régression) pendant les cinq prochaines années au moins, est que le financement actuel de la Caisse de retraite sera bientôt

* Voir un récent rapport de l'OCDE : OCDE/GD (93) 185, *Pension liabilities in the seven major economies*, par P. Van den Noord et R. Herd.

inadapté. En l'absence de toute action corrective, les dépenses excèderaient les recettes à compter de 1996 ou 1997, et le capital serait épuisé vers l'an 2003. Cette perspective est tout à fait inacceptable.

La Caisse de retraite est actuellement financée par une contribution budgétaire équivalant à 16 % des salaires (1 800 000 francs-or en 1994), par une contribution salariale de 9 % (1 000 000 francs-or en 1994) et par les intérêts perçus sur le capital (1 500 000 francs-or pour un capital de 18 000 000 francs-or en 1994). Les pensions de retraite qui seront versées en 1994 s'élèvent à environ 3 300 000 francs-or. L'excédent actuel des recettes sur les dépenses, d'environ 1 000 000 francs-or, augmente d'autant le capital qui sera de 19 000 000 francs-or à la fin de 1994.

Afin de faire face aux charges croissantes liées aux pensions prévues par l'actuaire, M. Quinn fait les propositions suivantes pour une augmentation progressive des fonds de la Caisse de retraite du BIPM : *a*) le 1^{er} janvier 1995, une somme de 4 000 000 francs-or sera transférée des réserves à la Caisse de retraite, portant ainsi son capital à environ 23 000 000 francs-or, et la contribution budgétaire au fonds de la Caisse de retraite sera augmentée de 16 % à 18 % de la masse salariale, 400 000 francs-or provenant des économies réalisées sur la Caisse d'assurance maladie seront aussi transférés à la Caisse de retraite et *b*) le 1^{er} janvier 1996 ainsi que toutes les années suivantes jusqu'en 2008 (ou jusqu'à ce que le Comité en décide autrement) la contribution budgétaire sera augmentée annuellement de 2 % de la masse salariale (soit environ 1 % du budget) jusqu'à atteindre un maximum de 46 % de celle-ci (23 % du budget). Il ne propose pas d'augmenter la contribution de 9 % payée par le personnel sur les salaires car cette somme est déjà au niveau — ou au-dessus — de celle payée dans la plupart des organisations internationales ou nationales. Si ces mesures sont mises en application, la Caisse de retraite devrait rester en équilibre pour un avenir prévisible.

Il est demandé à la vingtième Conférence générale d'augmenter annuellement le budget de 1 % pour les années 1997 à 2000 afin d'augmenter spécifiquement les fonds de la Caisse de retraite. Il est vraisemblable que la demande sera renouvelée lors des vingt-et-unième et vingt-deuxième Conférences générales en 1999 et 2003.

Après la discussion sur les fonds de la Caisse de retraite du BIPM, le CIPM approuve les propositions présentées par M. Quinn, et suivant une suggestion de M. Blevin, il demande qu'un nouveau rapport soit rédigé dans cinq ans, en 1999.

6.3 Allocations familiales et de logement

M. Quinn propose d'augmenter les allocations familiales et les allocations de logement à compter du 1^{er} janvier 1995 afin qu'elles soient au niveau de celles qui sont versées par les Organisations coordonnées. En

ce qui concerne les allocations familiales, cette augmentation constitue la deuxième moitié d'une augmentation de 7 % approuvée par le Comité en 1993, et qui devait s'effectuer en deux étapes. L'allocation de logement, versée uniquement au personnel placé au bas de l'échelle, n'a pas augmenté en termes réels depuis 1984 et elle est maintenant inférieure d'environ 10 % à celle versée par les Organisations coordonnées. Le secrétaire soutient cette proposition, qui est acceptée par le Comité.

6.4 Promotion

M. Quinn propose que Madame M. Boutillon, physicienne à la section des rayonnements ionisants, soit promue *physicien chercheur principal* au grade 12. Son curriculum vitae est distribué. Le CIPM approuve à l'unanimité sa nomination au grade de *physicien chercheur principal*.

6.5 Metrologia

Le président invite M. Blackburn, rédacteur de *Metrologia*, à assister à la réunion du CIPM pour discuter de *Metrologia*. M. Blackburn informe le CIPM que nombre d'articles d'une grande qualité sont en attente de publication dans *Metrologia*. La parution de *Metrologia* est plus régulière que les années précédentes, et les abonnements se maintiennent autour de 400, dont 40 nouveaux abonnements souscrits dans les milieux industriels aux États-Unis d'Amérique, en réponse à une campagne de publicité.

M. Quinn se déclare satisfait de *Metrologia*, notant que le nombre d'abonnés reste constant, ce qui n'est pas le cas de la plupart des journaux de physique, dont les abonnements ont chuté au cours des cinq dernières années. Il espère que lorsque les pays sortiront de la période de récession financière, *Metrologia* sera bien placée pour augmenter son nombre d'abonnés.

L'exercice 1994 en cours et le projet de budget pour 1995 sont présentés et approuvés. Les recettes de 1994 devraient être inférieures aux dépenses, pour un montant équivalent à environ 0,7 % du budget du BIPM, mais M. Quinn pense que les bénéfices apportés par *Metrologia* au BIPM dépassent largement les dépenses. M. Clapham félicite le BIPM pour les grandes améliorations apportées à *Metrologia* depuis que les droits ont été rachetés à Springer-Verlag. Son avis est aussi partagé par le président qui ajoute que les publications du BIPM sont importantes pour la réputation et l'efficacité du Bureau.

Le président félicite M. Blackburn pour *Metrologia*, revue dont la publication constitue une activité importante pour la réputation du CIPM.

7. Questions diverses

7.1 Membres du CIPM

Le président informe les membres du Comité qu'en raison du décès de Tomasz Plebanski, un siège est maintenant vacant au CIPM. Les notices d'éventuels candidats sont distribuées et discutées.

Depuis la démission de M. Jensen, le poste de secrétaire adjoint n'était plus pourvu au bureau du Comité. Afin d'assurer la continuité du bureau, le président propose de nommer M. Crovini au poste de secrétaire adjoint. Après un vote à bulletins secrets, M. Crovini est élu secrétaire adjoint ; il remercie ses collègues pour la confiance qu'ils lui témoignent et déclare qu'il fera de son mieux.

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

M. Kovalevsky présente le rapport de M. Guinot sur le Groupe de travail du CCDS sur l'application de la relativité générale à la métrologie, ainsi que l'introduction rédigée par T. Damour.

Ce groupe de travail est constitué de quinze personnes, y compris les représentants d'unions internationales comme l'UAI. Il a discuté de l'interprétation, de l'utilisation et de la réalisation des unités du SI dans le cadre de la théorie de la relativité générale, du principe d'équivalence d'Einstein, et des problèmes délicats d'espace-temps, ainsi que des systèmes de coordonnées de référence d'usage courant dans la métrologie du temps. C'est un problème réel et d'ordre pratique que d'introduire le vocabulaire employé en métrologie dans ce domaine, car il n'y a actuellement aucun consensus général. Durant la présentation des travaux du BIPM, P. Wolf a présenté le rôle de la relativité générale dans les comparaisons horaires et les limites inhérentes à l'incertitude liée à la rotation de la Terre et au géopotentiel. Comme il l'a dit précédemment, les définitions données par les unions astronomiques sont suffisantes actuellement pour travailler à une exactitude de 10^{-17} ou 10^{-18} . Un projet de rapport sera préparé par B. Guinot vers la fin de 1994 en vue d'être présenté à la prochaine session du CIPM.

M. Siegbahn suggère que l'étude soit étendue à d'autres unités du SI. M. Kovalevsky répond que les missions du groupe de travail n'ont pas été limitées à la métrologie du temps, et que cette étude concerne aussi les mesures de longueur.

7.3 Groupe de travail *ad hoc* du CCM sur les mesures d'humidité

M. Iizuka présente le rapport sur la première réunion du Groupe de travail *ad hoc* du CCM sur les mesures d'humidité qui s'est tenue à l'IMGC à Turin les 18 et 19 juillet 1994. La réunion était présidée par Peter Huang du NIST. La participation était élevée. La situation relative aux étalons d'humidité dans chaque laboratoire a été discutée. L'éventualité d'une comparaison internationale d'étalons de mesure d'humidité a été envisagée, mais aucune proposition concrète n'a été faite. Les participants étaient très motivés par une comparaison internationale de ce type au niveau mondial, et le groupe de travail a accepté de la préparer.

M. Crovini a aussi participé à cette réunion, l'IMGC effectuant des mesures d'humidité. L'attention a été attirée sur le fait que la connaissance des pressions de saturation n'est pas satisfaisante; il conviendrait de tenter de l'améliorer. Les échelles d'humidité et l'influence de l'humidité sur les analyses chimiques quantitatives ont été discutées, en tenant compte de la recommandation de l'OIML sur la spectrométrie de masse.

M. Iizuka ajoute que le CCM est préoccupé par l'obtention de valeurs exactes pour l'humidité de l'air, liées à des mesures de température et à des mesures chimiques. Il se demande si ce sujet ne devrait pas être attribué à un autre comité consultatif, comme le CCT. M. Crovini est du même avis et il est décidé que le CCT en sera chargé.

7.4 Groupe de travail *ad hoc* sur CCM sur la constante d'Avogadro

Lors de la CPEM qui s'est tenue à Boulder, M. Crovini a suggéré à M. Iizuka d'établir, sous les auspices du CCM, un Groupe de travail *ad hoc* sur la constante d'Avogadro, afin de discuter de la pureté et des caractéristiques du silicium ainsi que des désaccords dans les mesures de masse volumique des cristaux de silicium, et de manière générale de la coordination des travaux expérimentaux en cours dans un certain nombre de laboratoires. M. Kaarls remarque que cette question concerne aussi le CCQM. M. Tarbéev est lui aussi intéressé par la question, notant qu'il existe de nombreuses possibilités pour fabriquer du silicium, mais que l'équipement nécessaire est coûteux. Le président est d'avis de laisser le président du CCM décider s'il convient ou non de créer un tel groupe de travail. Après discussion, il est décidé qu'un groupe de travail *ad hoc* sur la constante d'Avogadro sera créé sous les auspices du CCM.

7.5 Groupe de travail du CCT sur les températures thermodynamiques

M. Crovini annonce la création d'un groupe de travail conjoint du CCT et du CCPR sur la détermination des températures thermodynamiques à haute température. Il souligne que les progrès réalisés en radiométrie ont

permis de mesurer directement la température thermodynamique sans faire appel aux techniques mentionnées dans l'EIT-90. M. Blevin est favorable à la création d'un tel groupe de travail, et il estime qu'il devrait être présidé par un membre du CCT. M. Quinn remarque que cette situation est très intéressante, car il avait toujours été dit que, si la température thermodynamique pouvait être mesurée directement, avec une exactitude acceptable, alors l'EIT-90 n'aurait plus de raison d'être. Ce pourrait être bientôt le cas pour les températures supérieures au point de l'argent, vers 960 °C. M. Crovini explique que les mesures selon l'EIT-90 sont dans tous les cas quasi thermodynamiques, c'est la raison pour laquelle la situation peut évoluer.

7.6 Prochaine session du CIPM

Le Comité décide que la prochaine session du CIPM se tiendra les 5 et 6 octobre 1995.

Le président clôt la 83^e session du CIPM et remercie tous les participants qui ont contribué au succès de cette réunion.

RAPPORT DU DIRECTEUR
SUR L'ACTIVITÉ ET LA GESTION
DU BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
(octobre 1993 - septembre 1994)

I. — PERSONNEL

Promotion et changement de grade

Rainer KÖHLER, *physicien*, a été nommé chef de la section de radiométrie, photométrie, thermométrie et pression à dater du 1^{er} novembre 1993 et promu *physicien principal*.

Engagements

Penelope ALLISY-ROBERTS, née le 27 novembre 1948, à Calcutta (Inde), précédemment directeur du service Medical Physics and Medical Engineering, au Southampton General Hospital, a été engagée comme *physicien* dans la section des rayonnements ionisants à dater du 1^{er} septembre 1994.

Manuel NONIS, né le 24 mars 1964, à Montreuil (Seine-Saint-Denis), précédemment dans une société privée, a été engagé comme *technicien* dans la section des rayonnements ionisants à dater du 1^{er} septembre 1994.

Réengagement

Alain ZARKA, précédemment *technicien* dans la section des longueurs, a été engagé à nouveau comme *assistant* dans cette même section à dater du 1^{er} septembre 1993, après une absence de quatre ans consacrés à passer un diplôme d'ingénieur à l'Institut polytechnique des sciences appliquées, Bagnole (France).

Départ

Jacques BONHOURE, *physicien principal*, chef de la section de radiométrie, photométrie, thermométrie et pression a pris sa retraite le 31 octobre 1993, après 41 ans de services dévoués et efficaces au cours desquels il a maintenu avec compétence le niveau de réputation du BIPM dans ces domaines.

II. — BÂTIMENTS

Grand Pavillon et Petit Pavillon

Peintures extérieures, poursuite de la remise en état des volets.

Observatoire

Combles du Nouvel Observatoire : aménagement d'une pièce climatisée pour les horloges et les équipements de comparaisons horaires.

Bâtiment des rayonnements ionisants

Repavement du chemin conduisant au bâtiment des rayonnements ionisants.

III. — TRAVAUX SCIENTIFIQUES

1. Remarques générales

L'amélioration de notre situation financière depuis 1992 déjà mentionnée dans le rapport de l'année précédente s'est confirmée; nous avons continué à recevoir des arriérés de contribution. En conséquence, il m'a été possible de ramener les investissements de laboratoire au niveau qui avait été prévu par le Comité en septembre 1993. Un événement marquant de l'année a été la comparaison internationale de gravimètres absolus et relatifs qui a lieu tous les quatre ans au BIPM et qui est organisée en liaison avec l'Union géodésique et géophysique internationale (UGGI). Dix gravimètres absolus et trente gravimètres relatifs ont participé à cette comparaison durant une période de trois semaines en mai et juin. Pendant une journée un symposium sur la gravimétrie a réuni une cinquantaine

de personnes qui, pour la plupart, participaient à la comparaison. Il est prévu que les comptes-rendus de ce symposium ainsi que les résultats de la comparaison de gravimètres, qui seront d'abord présentés à une réunion de l'UGGI, seront publiés dans un numéro spécial de *Metrologia* en 1995. Une importante contribution technique du BIPM à ces comparaisons, hormis les résultats obtenus avec nos propres gravimètres, est d'assurer la vérification des fréquences des horloges à rubidium et des lasers asservis intégrés dans chaque gravimètre absolu.

Dans la section des longueurs, le programme à long terme du BIPM pour les comparaisons de fréquence des lasers à $\lambda \approx 633$ nm s'est poursuivi avec des comparaisons multilatérales qui se sont déroulées l'une à Helsinki (Finlande), comparaison à laquelle trois pays nordiques ont pris part, et l'autre à Bratislava (Rép. slovaque) avec la participation de lasers provenant de neuf pays de l'Europe de l'Est. La collaboration avec l'ENS (Paris, France) sur la détermination d'une nouvelle valeur de la constante de Rydberg s'est poursuivie. Elle s'étend maintenant au LPTF (Paris, France) et à l'INM (Paris, France) pour réaliser des lasers asservis à $\lambda \approx 778$ nm utilisant les transitions à deux photons du rubidium entre $5S_{1/2}$ et $5D_{3/2}$. Les premiers résultats font apparaître une reproductibilité de la fréquence d'environ un ordre de grandeur meilleure que celle des lasers à $\lambda \approx 633$ nm et une stabilité de la fréquence encore supérieure. Une collaboration semblable portant sur des lasers asservis sur le rubidium a aussi débuté avec le SP (Borås, Suède), le MRI (Helsinki, Finlande) et l'HUT (Helsinki, Finlande). Ces travaux nous ont conduits à construire des instruments de mesure de longueurs d'onde destinés à contrôler la fréquence des lasers à semiconducteur. D'autres techniques pour asservir la fréquence des lasers, comme les résonances super-étroites dans la vapeur d'iode provoquées par la lumière polychromatique à $\lambda \approx 515$ nm, font l'objet de recherches. Le travail sur notre laser asservi à $\lambda \approx 10,6$ μm s'est poursuivi; cette année le travail a essentiellement porté sur l'interféromètre de Fabry-Perot et la construction de l'électronique d'asservissement. L'élaboration de tables des constantes hyperfines calculées de l'iode s'est poursuivie en collaboration avec l'INM (Paris, France).

Dans la section des masses, une grande partie de notre travail de cette année a été consécutif à la troisième vérification des prototypes nationaux du kilogramme qui s'est terminée l'an dernier. Le BIPM a proposé aux pays membres de la Convention du Mètre qui ne possèdent pas de prototype en platine iridié d'effectuer une comparaison d'étalons en acier inoxydable. Cette comparaison a été faite. De plus, dans le cadre du Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées (CCM), une comparaison internationale d'étalons en acier inoxydable est organisée. Par ailleurs, la nouvelle balance à suspensions flexibles est en voie d'achèvement. Nous avons nettement progressé dans la compréhension des pertes dues à l'anélasticité dans les suspensions. Les études par pesée des propriétés superficielles des étalons en platine iridié polis à l'outil à pointe de diamant

ont été poursuivies. Nous avons amélioré nos moyens de caractérisation des étalons en acier inoxydable du point de vue magnétique et géométrique.

Dans la section du temps, les échelles de référence TAI et UTC ont été régulièrement calculées et publiées tous les mois dans *Circular T*. La production du *Rapport annuel de la section du temps du BIPM pour 1993*, volume 6, s'est faite beaucoup plus rapidement que les années précédentes. Les résultats définitifs pour 1993 sont disponibles, sous forme de fichiers lisibles par ordinateur, dans le FTP anonyme du BIPM sur le réseau Internet, depuis le 5 avril 1994, et les volumes imprimés ont été distribués au commencement du mois de mai 1994. L'intervalle de l'échelle de TAI est conservé très proche de la meilleure réalisation de la seconde du SI. Celle-ci est encore presque entièrement fondée sur les résultats d'un seul laboratoire, la PTB, où les étalons primaires CS1 et CS2 sont beaucoup plus exacts que partout ailleurs. Depuis avril 1993 la fréquence du TAI est demeurée constante par rapport aux étalons de la PTB, aucune correction de pilotage de la fréquence n'a donc été appliquée. L'utilisation quasi universelle du GPS pour les comparaisons d'horloges et l'accroissement du nombre des nouvelles horloges à césium HP 5071A ont considérablement amélioré la stabilité du TAI et de l'UTC. L'écart-type d'Allan du TAI est maintenant inférieur à 5×10^{-15} pour toutes les périodes de l'ordre de dix à quatre-vingts jours. Cette amélioration des résultats a beaucoup stimulé les discussions sur les évolutions possibles des méthodes de calcul et de dissémination du TAI et de l'UTC. Les recherches se poursuivent sur l'amélioration des liaisons horaires du GPS au moyen de l'étalonnage des retards horaires dans les récepteurs du GPS et grâce à notre participation aux expériences de comparaison horaire. Nous prenons une part active aux études et aux expériences qui font appel à d'autres techniques de comparaison horaire, en particulier à GLONASS, aux comparaisons bidirectionnelles et à LASSO. Une étude sur l'application de la théorie de la relativité aux comparaisons horaires, avec une exactitude de l'ordre de la picoseconde au voisinage de la Terre, s'est achevée avec succès et les résultats ont été publiés. Les travaux sur les échelles de temps fondées sur les pulsars se poursuivent.

Dans la section d'électricité, les premières comparaisons d'étalons de 10 V fondés sur un dispositif à effet Josephson ont été effectuées en transportant le système du BIPM au BNM/LCIE (Paris, France). Le résultat a fait apparaître une différence relative de seulement $1,2 \times 10^{-10}$ entre les deux étalons de 10 V à effet Josephson des deux laboratoires, avec une incertitude-type combinée totale de $1,2 \times 10^{-10}$. Pour les travaux sur le dispositif de 10 V à effet Josephson, nous avons mis au point un appareil de transfert de tension à faible bruit. Au mois de décembre 1993 nous avons transporté notre dispositif portable étalon de résistance à effet Hall quantique (EHQ), avec le cryostat, l'aimant et le pont de résistance, au BNM/LCIE et nous y avons effectué la première comparaison d'étalons à EHQ. Les résultats font apparaître un accord à quelques 10^{-9} près entre

les mesures faites avec les deux systèmes, avec une incertitude-type totale composée d'environ la même valeur. Les installations transportables à effet Josephson et à EHQ peuvent assurer la traçabilité entre laboratoires avec des exactitudes supérieures d'un ordre de grandeur ou plus à ce que l'on peut obtenir avec les étalons voyageurs traditionnels. D'importants progrès ont aussi été faits dans les mesures en courant alternatif de résistance de Hall quantifiée jusqu'à plusieurs kilohertz. À 1,6 kHz, on a observé des portions de plateaux de résistance effectivement plates à 1×10^{-8} près. De 1 Hz à 1,6 kHz les variations du rapport de la résistance de Hall quantifiée à la résistance d'un étalon en courant alternatif étaient inférieures à 2×10^{-7} . Pour quelques étalons de tension à diode de Zener de 1,018 V du type qui est le plus fréquemment utilisé en métrologie des tensions de haute précision, nous avons maintenant obtenu des résultats au sujet de la variation de la tension de sortie en fonction de l'humidité relative. Une diminution de 0,10 de l'humidité relative provoque une *augmentation* comprise entre 1,0 μ V et 1,5 μ V à la sortie de 1,018 V de certains étalons à diode de Zener. Notre programme de comparaisons bilatérales d'étalons électriques fondamentaux suscite un certain intérêt et cette année quatre laboratoires nationaux y participent.

Dans la section de radiométrie, photométrie, thermométrie et pression, la comparaison internationale de sensibilité spectrale de photodiodes au silicium, commencée en 1991, s'est achevée. Au cours de la comparaison on a constaté que les photodiodes semblent présenter un effet de vieillissement après exposition au rayonnement ultraviolet (UV). Des mesures ultérieures effectuées au BIPM ont montré que la variation de la sensibilité dépend essentiellement de la longueur d'onde du rayonnement UV et très peu du niveau d'irradiation. Il ne semble pas que cela soit un effet de surface. Un radiomètre cryogénique de type commercial a été acheté à la société Oxford Instruments. Il s'agit d'un nouveau type de radiomètre. De nombreuses caractéristiques de sa conception résultent de discussions qui se sont déroulées, à l'initiative du BIPM, entre les utilisateurs potentiels et les fabricants de ce type d'instrument. L'ensemble, qui a été installé au début de l'année 1994, est maintenant en état de marche et de nombreux essais sont effectués pour en étudier la répétabilité. Actuellement la répétabilité relative est de l'ordre de $2,5 \times 10^{-5}$ pour une série de six cycles de substitution électrique lors d'une mesure de puissance de rayonnement par comparaison avec l'ancienne référence radiométrique absolue du BIPM, un récepteur QED-200. Les résultats de séries de mesures portant sur plusieurs jours peuvent toutefois différer de 1×10^{-4} . Les raisons de ces différences ne sont pas connues et font l'objet de recherches en cours. En photométrie, les étalons de travail pour les mesures de température de répartition ont été comparés avec le groupe de lampes utilisées lors de la première comparaison internationale de température de répartition (1963-1964). Suite à une décision prise par le Comité consultatif de thermométrie (CCT) lors de sa 18^e session en septembre

1993, une comparaison de cellules à point triple de l'eau a été organisée. Des cellules ont été achetées aux États-Unis d'Amérique (Jarret) et en Russie (VNIIM). D'autres cellules, provenant de la République de Corée (KRISS), d'Italie (IMGC) et du Royaume-Uni (NPL) ont été envoyées au BIPM par ces laboratoires. Tous les points triples ont été mesurés au BIPM avant d'être envoyés par groupes aux laboratoires participants. À leur retour au BIPM les points triples seront tous à nouveau mesurés. Il est prévu que la comparaison soit achevée avant la prochaine réunion du CCT, prévue pour 1996. Le manobromètre du BIPM, qui a été révisé en 1993, est de nouveau en état de marche. À titre de vérification, on l'a comparé à une balance de pression qui prend part à une comparaison de moyennes pressions dans le cadre des activités du CCM. Les résultats des mesures récentes concordent dans la limite des incertitudes, soit environ à 1 Pa près.

Dans la section des rayonnements ionisants, les travaux sont divisés en deux grandes catégories, la dosimétrie et les radionucléides. Dans le domaine de la dosimétrie des rayonnements γ et x , des expériences ont été faites dans le faisceau de la source de ^{60}Co afin d'évaluer l'influence de facteurs comme la diffusion et l'uniformité du faisceau, le taux d'exposition et la profondeur dans l'eau sur la réponse des chambres d'ionisation étalonnées dans l'eau. Pour de petites chambres, l'influence de ces facteurs est faible. En utilisant la source de ^{60}Co , des comparaisons portant sur la mesure soit du kerma dans l'air soit de la dose absorbée dans le graphite ont été faites avec quatre laboratoires. La collaboration avec l'AIEA s'est poursuivie avec l'irradiation dans le fantôme d'eau du BIPM de six séries de trois dosimètres thermoluminescents. Une détermination est en cours du kerma dans l'air pour la nouvelle source de ^{137}Cs de 1 TBq en utilisant un étalon en graphite, semblable à celui qui est utilisé avec la source de ^{60}Co . La comparaison de mesures de fluence neutronique à 24,5 keV est en cours; elle se fait à l'aide de sphères de Bonner comme instruments de transfert. Un nouvel étalonnage de la source de neutrons du BIPM a été effectué de telle sorte que l'on peut effectuer deux étalonnages définitifs des sources neutroniques provenant de laboratoires français et brésilien. Dans le domaine des radionucléides, une comparaison restreinte de mesures d'activité du ^{204}Tl est en préparation; elle commencera au cours de l'automne de 1994. Le BIPM participe à une comparaison de mesures d'activité organisée dans le cadre d'EUROMET et utilisant la technique du scintillateur liquide, technique que le BIPM n'utilise que depuis peu. Depuis le mois d'octobre nous avons obtenu avec le Système international de référence (SIR) dix-neuf résultats nouveaux, portant sur des échantillons provenant de dix laboratoires, ce qui porte à un total de 449 résultats indépendants pour 53 émetteurs différents de rayonnement γ . Les travaux se poursuivent dans le domaine des statistiques de comptage où l'application de méthodes rigoureuses est d'une importance primordiale. Les résultats de ces travaux, effectués au BIPM pour les besoins immédiats de la métrologie des radionucléides, présentent un intérêt beaucoup plus

vaste comme le prouvent les contributions apportées au problème de l'évaluation des incertitudes.

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

1.1.1 Publications extérieures

QUINN T. J., News from the BIPM, *Metrologia*, 1994, **31**, 55-62.

QUINN T. J., Measure for measure, *Science and Public Affairs*, The Royal Society, London, Summer 1994, 42-48.

1.1.2 Rapport BIPM

QUINN T. J., Metrology, its role in today's world, *Rapport BIPM-94/5*, 1994, 37 pages.

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

T. J. Quinn s'est rendu (*voir* aussi section 3.9) à :

— Singapour, du 27 au 28 septembre 1993, où il a prononcé une conférence sur les activités du BIPM et la Convention du Mètre au Singapore Institute of Standards and Industrial Research ;

— Beijing (Rép. pop. de Chine), du 30 septembre au 8 octobre 1993, où il a prononcé une conférence sur les activités du BIPM à l'Institut national de métrologie ; il a aussi visité le National Laboratory of Chemical Metrology et l'Université de Beijing ;

— Tsukuba (Japon), du 9 au 15 octobre 1993, pour des discussions au National Research Laboratory of Metrology et à l'Electrotechnical Laboratory ; il a présenté à Tokyo à la Japanese Instrument Manufacturers Federation une conférence intitulée « Metrology, its role in today's world » ;

— Ottawa (Canada), les 26 et 27 octobre 1993 et les 9 et 10 juin 1994, pour assister aux réunions du NRC Advisory Board of the Institute for National Measurement Standards ;

— Gaithersburg (É.-U. d'Amérique), les 28 et 29 octobre 1993, pour des discussions au NIST ;

— Bruxelles (Belgique), le 29 novembre 1993, où il a présenté une conférence intitulée « The need for accuracy in measurements » lors d'un atelier organisé sous les auspices du Measurement and Testing Programme de la Commission de l'Union européenne ;

— Braunschweig (Allemagne), le 31 janvier 1994, pour des discussions à la PTB ;

— Geel (Belgique), le 22 février 1994, pour des discussions à l'Institut des matériaux et mesures de référence de la Commission de l'Union européenne ;

— Chicago (É.-U. d'Amérique), les 3 et 4 mars 1994, pour présenter une communication sur le rôle du CIPM dans la métrologie en chimie lors d'un atelier organisé par la CITAC (Cooperation on International Traceability in Analytical Chemistry) pendant la Conférence de Pittsburgh ;

— Londres (Royaume-Uni), le 8 mars et le 6 juin 1994, pour assister à des réunions de la Royal Society, Paul Instrument Fund, le 8 novembre et le 22 avril 1994, pour assister à des réunions du comité de rédaction de *Reports on Progress in Physics* ;

— Paris (France), le 8 mars 1994, à l'École normale supérieure où il a présenté une conférence intitulée « The kilogram and prospects for a new definition of the unit of mass », le 4 mai 1994, au CNAM, où il a présenté une conférence intitulée « The origins of thermometry and the development of temperature scales » et au Laboratoire Aimé Cotton, le 31 mai 1994, où il a présenté une conférence intitulée « The beam balance and certain gravitational experiments carried out with it » ;

— Turin (Italie), le 14 avril 1994 et le 13 juillet 1994, pour assister à des réunions du conseil scientifique de l'IMGC ;

— Teddington (Royaume-Uni), les 19 et 20 avril 1994, pour présenter une conférence intitulée « Accuracy and traceability in measurements » lors d'une réunion ayant pour sujet « Reference materials, bringing order out of chaos » organisée par le Laboratory of the Government Chemist ;

— Oslo (Norvège), les 19 et 20 mai 1994, où il a assisté à une réunion du comité de l'EUROMET ;

— Boulder (É.-U. d'Amérique), du 27 juin au 1^{er} juillet 1994, pour participer à la CPEM et présenter une communication avec D. Kind (PTB) intitulée « Metrology : Quo Vadis ? » ;

— Gaithersburg (É.-U. d'Amérique), les 5 et 6 juillet 1994, pour assister à une réunion du Groupe de travail du CIPM sur la métrologie en chimie.

D. A. Blackburn s'est rendu à :

— Braunschweig (Allemagne), les 6 et 7 avril 1994, pour des discussions à la PTB sur les problèmes posés par l'édition des revues scientifiques.

1.2 Activités en liaison avec des organismes extérieurs

T. J. Quinn assiste régulièrement aux réunions du conseil scientifique de l'IMGC (Turin) ; 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, de l'Advisory Committee of the NRC Institute for National Measurement Standards (Ottawa) et du Comité scientifique du Laboratoire de l'horloge atomique (Orsay). Il est membre du conseil de rédaction de *Reports on Progress in Physics*, l'une des publications de l'Institute of Physics ; il représente la Royal Society au Paul Instrument Fund. Il

est membre du Fundamental physics *ad hoc* working group de l'Agence spatiale européenne.

2. Longueurs (J.-M. Chartier)

2.1 Remarques générales

Le programme de comparaisons de lasers à $\lambda \approx 633$ nm, qui avait été établi il y a un certain nombre d'années déjà et conçu pour répondre aux besoins des groupes régionaux, a été encore étendu cette année. Six laboratoires de l'Europe du Nord se sont retrouvés pour une comparaison qui s'est déroulée à Helsinki (Finlande), neuf laboratoires de l'Europe de l'Est ont participé à celle de Bratislava (Rép. slovaque). La collaboration avec l'ENS (Paris, France) a continué et s'est étendue au LPTF (Paris, France) et à l'INM (Paris, France) en vue de construire des lasers asservis à $\lambda \approx 778$ nm utilisant les transitions à deux photons du rubidium entre les niveaux $5S_{1/2}$ et $5D_{3/2}$. Les premiers résultats font état d'une reproductibilité de la fréquence d'environ un ordre de grandeur supérieure à celle des lasers à $\lambda \approx 633$ nm et la stabilité de la fréquence est encore meilleure. Une collaboration semblable portant sur des lasers asservis à $\lambda \approx 778$ nm a aussi débuté avec le SP (Borås, Suède), le MRI (Helsinki, Finlande) et l'HUT (Helsinki, Finlande). Ces travaux nous ont conduits à construire des instruments de mesure de longueur d'onde destinés à contrôler la fréquence des lasers à semiconducteur. D'autres techniques pour asservir la fréquence des lasers, comme les résonances super-étroites dans la vapeur d'iode provoquées par la lumière polychromatique à $\lambda \approx 515$ nm, font l'objet de recherches. Une importante partie de notre temps cette année a été consacrée à la gravimétrie. Il fallait en particulier essayer notre gravimètre Axis et prendre part à l'organisation et au déroulement de la quatrième comparaison internationale de gravimètres. Pour celle-ci le BIPM a fourni la possibilité d'étalonner les horloges à rubidium et les lasers asservis. Le travail sur notre laser asservi à $\lambda \approx 10,6$ μm s'est poursuivi; cette année ce travail a essentiellement porté sur l'interféromètre Fabry-Perot et la construction de l'électronique d'asservissement. L'élaboration de tables des constantes hyperfines calculées s'est poursuivie en collaboration avec l'INM (Paris, France).

2.2 Mesures de longueur

2.2.1 Mesures de longueur classiques

Il n'y a eu aucune activité dans le domaine des mesures de longueur classiques cette année.

2.2.2 Diffractomètre interférentiel à laser (L. Vitouchkine)

De nombreux laboratoires nationaux travaillent sur des mesures de longueur de l'ordre du micromètre ($1\ \mu\text{m}$ à $1000\ \mu\text{m}$) et du nanomètre ($1\ \text{nm}$ à $1000\ \text{nm}$). Pour effectuer ces mesures, on utilise des microscopes optiques à grande résolution, des microscopes à faisceau d'électrons, des microscopes à balayage à effet tunnel et des microscopes à forces atomiques. On utilise des règles à traits courtes, spéciales, pour étalonner ces instruments de mesure. Afin d'étudier plus en détail les problèmes posés par la réalisation du mètre dans les domaines du micromètre et du nanomètre, l'étalonnage des instruments de mesure utilisés et leur comparaison, le BIPM a commencé à mettre au point un nouveau type de diffractomètre interférentiel à laser à grande résolution pour mesurer les règles à graduation périodique. Nous avons mis au point la maquette optique du diffractomètre interférentiel à laser (LID). Nous avons conçu les principales parties du dispositif expérimental destiné à mesurer le pas des réseaux de diffraction et des règles à graduation périodique pour étalonner les microscopes électroniques. Nous avons établi les spécifications d'un microscope optique spécial pour la mesure exacte des franges de la figure d'interférence dans le LID. Les plans de l'instrument ont été établis et sa fabrication a été prise en charge par Aozt Optis (Russie).

2.2.3 Instrument de mesure des longueurs d'onde (L. Robertsson, J.-M. Chartier, X. Ducret*)

Le domaine relativement large d'accord des lasers à semi-conducteur ou à solide augmente les chances de trouver de bonnes résonances moléculaires ou atomiques que l'on puisse utiliser pour asservir la fréquence des lasers. En contrepartie, une fois que l'on a identifié une résonance convenable, le domaine à l'intérieur duquel on doit la chercher est très large par rapport à la largeur de la résonance elle-même, aussi a-t-on besoin de connaître une valeur approximative de la longueur d'onde. Au cours de l'année qui vient de s'écouler, nous avons donc commencé à construire un équipement pour effectuer des mesures de longueur d'onde avec une résolution moyenne. Nous avons prévu d'avoir deux instruments différents. L'un est un λ damètre commercial fabriqué par la société Jaeger-Thomson et que cette société a donné au BIPM. C'est un interféromètre à comptage de franges automatique qui affiche en temps réel la valeur de la longueur d'onde du laser à étudier. La radiation laser de référence et la radiation laser de longueur d'onde inconnue traversent suivant des trajets spatialement séparés un interféromètre de Michelson dont les miroirs sont des réflecteurs trièdres montés sur une plateforme mobile. C'est J.L. Hall (JILA, Boulder, É.-U. d'Amérique) qui le premier a proposé ce

*. Stagiaire.

dispositif. Un nouveau dispositif électronique de comptage de franges est en construction ; il pourra être adapté pour l'utiliser avec d'autres types de lambdamètre. Le deuxième mesureur de longueur d'onde a été conçu au Bureau, avec une mécanique simplifiée ; il pourra être construit en plusieurs exemplaires suivant nos besoins. Le principe de cet instrument est fondé sur une combinaison de mouvements de rotation qui permet de produire un mouvement linéaire. Le moment cinétique des parties les plus massives est constant et donne alors un mouvement régulier du trièdre. Les essais préliminaires paraissent prometteurs.

2.3 Lasers

2.3.1 Lasers à argon asservis sur l'iode en cuve externe à $\lambda \approx 515$ nm

i) *Technique de spectroscopie en modulation de fréquence à bande latérale* (L. Robertsson, S. Picard)

Il y a eu peu d'activité expérimentale cette année sur la technique spectroscopique fondée sur la modulation de fréquence à bande latérale. En revanche ce procédé a été utilisé pour la recherche d'une technique spectroscopique de rechange (*voir* ci-après).

Les écarts entre les composantes hyperfines mesurés l'an dernier par battements ont été utilisés pour calculer la répétabilité de la fréquence du système de lasers. L'incertitude-type sur la mesure d'une composante dans une matrice comprenant environ 200 mesures est inférieure à 2 kHz.

ii) *Résonances super-étroites dans des champs de lasers tri-chromatiques* (L. Vitouchkine, L. Robertsson)

Le montage expérimental pour étudier l'interaction de faisceaux lasers tri-chromatiques (deux faisceaux-pompes et un faisceau-sonde se propageant en sens inverse) avec la vapeur d'iode à $\lambda \approx 515$ nm a été mis au point. Le profil spectral du coefficient d'absorption du faisceau-sonde a été mesuré :

a) lorsque les intervalles de fréquence entre les trois faisceaux lumineux étaient équidistants et étaient balayés simultanément en traversant la fréquence de transition ;

b) lorsque les fréquences des faisceaux-pompes étaient fixées symétriquement par rapport à la fréquence de la transition et la fréquence de la sonde était balayée en traversant la fréquence de transition.

Les espacements des fréquences entre les faisceaux étaient modifiés de quelques kilohertz à quelques mégahertz, c'est-à-dire dans un domaine de fréquence couvrant un facteur de 10^3 et centré géométriquement sur la valeur présumée des fréquences de Rabi. L'intensité des faisceaux-pompes et du faisceau-sonde étaient inférieures à celle de l'absorption saturée (30 mW/cm²). La valeur de la fréquence de Rabi (environ 100 kHz) était

estimée à partir des données concernant la durée de vie des sous-niveaux hyperfins de l'iode.

L'analyse théorique des résonances super-étroites se poursuit. Le modèle utilisé suppose que le coefficient d'absorption que l'on mesure dépend de la géométrie (faisceaux se propageant dans le même sens ou en sens inverse). Les calculs par ordinateur du coefficient d'absorption du faisceau-sonde pour des faisceaux-pompes ayant une intensité inférieure à l'intensité de saturation ont été faits au VNIIM (Saint-Pétersbourg, Russie).

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

Nous n'avons pas encore eu le temps d'essayer les nouveaux tubes laser courts conçus de façon à éviter le problème des modes parasites auquel nous nous sommes heurtés l'an dernier. Un projet de collaboration associant la PTB (Braunschweig, Allemagne), l'ISI (Brno, Rép. tchèque), l'OMH (Budapest, Hongrie) avec le BIPM et portant sur la réalisation d'un laser étalon asservi sur l'iode, pour la métrologie à $\lambda \approx 543$ nm, a été proposé à la Commission de l'Union européenne.

2.3.3 Lasers à He-Ne asservis sur l'iode à $\lambda \approx 612$ nm en cuve interne ou externe (L. Robertsson, J. Labot)

L'étude des décalages de fréquence liés à la géométrie et à la position du détecteur employé pour détecter le signal $3f$ des lasers asservis sur une cuve à iode externe s'est terminée [2]. On a trouvé que la répartition du signal $3f$ diffère d'une répartition gaussienne d'une façon qui dépend du décalage de la fréquence du laser. Cet effet ne peut être vu que lorsque la lumière du laser est en résonance avec la transition moléculaire. Si le détecteur employé ne détecte pas la totalité du faisceau cela peut, dans le pire des cas, entraîner des décalages de fréquence allant jusqu'à plusieurs dixièmes de la demi-largeur de la résonance. Des recherches semblables ont commencé avec des lasers à $\lambda \approx 612$ nm munis d'une cuve à iode interne. Les premiers résultats font apparaître des effets comparables pour ce type de laser.

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

i) Comparaisons internes de lasers du BIPM

Les deux lasers portables BIPMP1 et BIPMP3, que l'on utilise normalement pour les comparaisons internationales effectuées hors du BIPM, ont été comparés plusieurs fois au laser fixe de référence BIPM4. Toutes les mesures de différence de fréquence se sont situées dans les limites de ± 5 kHz (soit $\pm 1 \times 10^{-11}$ en valeur relative).

La vérification de la fréquence du laser utilisé dans le gravimètre du BIPM a donné :

$$6 \text{ juin } 1994 \quad f_{\text{BIG}} - f_{\text{BIPM4}} = + 3,9 \text{ kHz}, \quad s = 3,2 \text{ kHz},$$

où s représente l'incertitude-type estimée.

ii) *Comparaisons internationales*

En juin 1992, au BIPM, une comparaison entre le CSMU (Prague, Rép. tchèque), représenté par les lasers PL3 et PL4, et le BIPM, représenté par les lasers BIPM4 et BIPM7, a donné les résultats suivants :

a) en utilisant la technique du troisième harmonique pour tous les lasers,

$$\begin{aligned} f_{\text{PL4}} - f_{\text{BIPM4}} &= + 10,9 \text{ kHz}, & s &= 0,2 \text{ kHz}, \\ f_{\text{BIPM7}} - f_{\text{BIPM4}} &= - 4,9 \text{ kHz}, & s &= 0,6 \text{ kHz}; \end{aligned}$$

b) en utilisant la technique du cinquième harmonique pour les lasers PL4 et BIPM7, ce qui est possible grâce à un système électronique du CSMU, et la technique du troisième harmonique pour le laser BIPM4,

$$\begin{aligned} f_{\text{PL4}} - f_{\text{BIPM4}} &= + 33,9 \text{ kHz}, & s &= 0,1 \text{ kHz}, \\ f_{\text{BIPM7}} - f_{\text{BIPM4}} &= + 31,8 \text{ kHz}, & s &= 3,0 \text{ kHz}. \end{aligned}$$

Cette année au BIPM, en utilisant un système électronique de notre fabrication et produisant les signaux du troisième et du cinquième harmonique pour le laser BIPM7, nous avons obtenu une différence de fréquence d'environ 22 kHz en passant d'un harmonique à l'autre. Les résultats donnent de façon systématique une fréquence supérieure lorsqu'on utilise le cinquième harmonique. Pour trouver une explication à ces résultats il nous faut poursuivre les expériences.

En octobre 1993, l'Institut de physique atomique (Bucarest, Roumanie) a apporté au BIPM un nouveau laser asservi, R01, pour essais. Bien que l'on ait constaté des améliorations par rapport au laser qui avait été apporté il y a deux ans, G. Popescu (Roumanie) et A. Zarka ont passé beaucoup de temps sur l'asservissement électronique. Finalement, le laser R01 a été comparé au laser BIPM7 et on a obtenu le résultat suivant :

$$f_{\text{R01}} - f_{\text{BIPM7}} = - 38,6 \text{ kHz}, \quad s = 1,3 \text{ kHz}.$$

En octobre 1993, trois pays et le BIPM ont pris part à une comparaison à Helsinki (Finlande). La Suède était représentée par le laser SP2 appartenant au SP (Borås); le Danemark par les lasers DK1 et DK2 appartenant au DFM (Lyngby); la Finlande par le laser MRI3 appartenant au Center for Metrology and Accreditation (Helsinki) et à l'HUT (Helsinki), et par les lasers HUA et HUB appartenant à l'Accelerator Laboratory de l'Université d'Helsinki; et le BIPM par le laser BIPMP3. Les différences de fréquence

obtenues entre chacun de ces lasers et le laser BIPMP3 sont données ci-après :

$$\begin{aligned}
 f_{\text{SP2}} - f_{\text{BIPMP3}} &= - 7,6 \text{ kHz}, & s &= 3,4 \text{ kHz}, \\
 f_{\text{DK1}} - f_{\text{BIPMP3}} &= - 9,8 \text{ kHz}, & s &= 3,7 \text{ kHz}, \\
 f_{\text{DK2}} - f_{\text{BIPMP3}} &= - 61,7 \text{ kHz}, & s &= 15,5 \text{ kHz}, \\
 f_{\text{MRI3}} - f_{\text{BIPMP3}} &= - 2,9 \text{ kHz}, & s &= 1,5 \text{ kHz}, \\
 f_{\text{HUA}} - f_{\text{BIPMP3}} &= - 0,5 \text{ kHz}, & s &= 0,9 \text{ kHz}, \\
 f_{\text{HUB}} - f_{\text{BIPMP3}} &= + 3,5 \text{ kHz}, & s &= 1,7 \text{ kHz}.
 \end{aligned}$$

Le décalage de fréquence du laser DK2 est certainement dû à une puissance très élevée dans la cavité.

En avril 1994, six pays et le BIPM ont pris part à une comparaison à Bratislava (Rép. slovaque). La République slovaque était représentée par le SMU (Bratislava), la République tchèque par le CMI (Prague) et l'ISI (Brno), la Hongrie par l'OMH (Budapest), la Russie par le VNIIM (Saint-Petersbourg), la Pologne par le COM (Varsovie), la Bulgarie par le NCM (Sofia). Le SMU avait aussi invité l'Ukraine qui était représentée par le KIM (Kharkov). On n'a pas encore effectué les calculs définitifs des différences de fréquence, mais les résultats bruts font apparaître des désaccords de fréquence qui sont à peu près du même ordre de grandeur que l'incertitude-type donnée dans la mise en pratique (1992), c'est-à-dire $2,5 \times 10^{-11}$ en valeur relative.

iii) *Autres comparaisons*

À Madrid, le BIPM a pris part à la première comparaison entre les deux étalons primaires du CEM (Madrid, Espagne); les résultats ont donné :

$$f_{\text{AXIS}} - f_{\text{SEXTANT/BIPM}} = - 17,5 \text{ kHz}, \quad s = 2,5 \text{ kHz},$$

soit après correction pour le décalage dû au courant continu :

$$f_{\text{AXIS}} - f_{\text{SEXTANT/BIPM}} = - 3,6 \text{ kHz}, \quad s = 3,0 \text{ kHz}.$$

Au BIPM, la fréquence de deux lasers asservis sur l'iode, qui sont habituellement utilisés sur le gravimètre absolu du GSI (Mizusawa, Japon), a été comparée au laser BIPM4, ce qui a donné :

$$\begin{aligned}
 f_{\text{NIKON}} - f_{\text{BIPM4}} &= - 62,5 \text{ kHz}, & s &= 5,0 \text{ kHz}, \\
 f_{\text{JAEGER/BIPM}} - f_{\text{BIPM4}} &= + 23,0 \text{ kHz}, & s &= 2,3 \text{ kHz}.
 \end{aligned}$$

2.3.5 Laser à diode asservi sur le rubidium à $\lambda \approx 778$ nm en utilisant les composantes hyperfines des transitions 5S-5D à deux photons (R. Felder, J. Åman*, A. Zarka)

i) Au LPTF (Paris, France), en collaboration avec l'INM (Paris, France) et le laboratoire Kastler-Brossel de l'ENS (Paris, France), nous avons mis au point deux dispositifs dans lesquels un laser commercial à diode GaAlAs est asservi en fréquence sur une composante hyperfine des transitions à deux photons $5S_{1/2}$ - $5D_{(3/2, 5/2)}$ dans le rubidium ($\lambda \approx 778$ nm). D'après les premiers résultats les caractéristiques métrologiques sont très prometteuses. La stabilité à court terme de la fréquence, exprimée en variance d'Allan, est d'environ $3/[10^{13} \times (\tau/s)^{-1/2}]$ jusqu'à 2000 s, la répétabilité de la fréquence est de $5,2 \times 10^{-13}$ et la différence de fréquence entre les deux dispositifs est de $4,4 \times 10^{-12}$. Un dispositif portable est en construction au BIPM; le montage des parties mécaniques, conçues et fabriquées par l'atelier du BIPM, est en cours.

ii) Un nouveau modèle de laser à semi-conducteur avec cavité étendue a été mis au point en collaboration avec le SP (Borås, Suède) et le MRI/HUT (Helsinki, Finlande). L'effort a été porté sur la stabilité passive, en particulier en ce qui concerne les dérives thermiques. Un laser de cette conception est utilisé dans des expériences de piégeage d'atomes au MRI; sa stabilité passive est de ± 4 MHz sur 1 heure (soit $\pm 2,5 \times 10^{-9}$). Cela est comparable aux meilleures valeurs que l'on trouve dans la littérature. Trois lasers de cette conception ont été construits au BIPM. Deux sont utilisés dans les expériences sur le rubidium. La partie mécanique, construite à l'atelier du BIPM, et le dispositif optique sont achevés; la mise au point de la partie électronique adaptée aux usages spéciaux de ce modèle est en cours. Les premières expériences sont prévues pour l'automne 1994. Plusieurs transitions dans le rubidium sont dans le domaine d'accord de ces lasers ($785 \text{ nm} \pm 15 \text{ nm}$). La technique de modulation électro-optique dans la cavité sera employée pour la spectroscopie en modulation de fréquence des transitions $5S_{1/2}$ - $5D_{(3/2, 5/2)}$ à deux photons ($\lambda \approx 778$ nm) dans une cavité résonante externe. On envisage aussi de faire quelques recherches sur la spectroscopie de saturation des transitions 5S-5P ($\lambda \approx 780$ nm et $\lambda \approx 795$ nm).

2.3.6 Lasers à He-Ne asservis sur le méthane à $\lambda \approx 3,39$ μm en cuve interne ou externe (R. Felder)

i) *Activités générales* (avec D. Rotrou)

La construction et l'étude des tubes de laser à He-Ne se poursuivent. Nous étudions actuellement un procédé qui permet l'utilisation de fenêtres

* Stagiaire.

de Brewster en saphir. Le verre spécial dont on a besoin pour cette expérience, ainsi que les renseignements techniques nécessaires, nous ont aimablement été donnés par M. Hallier (CNRS, Verrières, France). Le procédé Mallory de collage que nous avons étudié l'année précédente a été abandonné jusqu'à ce que nous connaissions la raison pour laquelle les échantillons de verre fluoré ont été endommagés. Une analyse est en cours par la société Le Verre Fluoré qui nous avait fourni ces composants optiques.

ii) *Collaboration avec d'autres laboratoires*

Une collaboration avec M. Gubin (Institut Lebedev, Moscou, Russie) et G. Cramer (PTB, Braunschweig, Allemagne) a été proposée à l'Association internationale pour la promotion de la coopération avec les scientifiques des États indépendants de l'ex-Union soviétique. La mise au point d'un laser portable à (He-Ne)/CH₄ à $\lambda \approx 3,39 \mu\text{m}$, dans lequel la structure magnétique hyperfine de la raie F₂² serait résolue, permettrait au BIPM de disposer d'une fréquence de référence avec une reproductibilité relative de quelques 10⁻¹³.

2.3.7 Laser à CO₂ à $\lambda \approx 10,6 \mu\text{m}$ à cuve externe contenant du SF₆
(S. Picard)

Le travail sur le laser à CO₂ asservi se poursuit; ce laser donne maintenant un faisceau gaussien d'une puissance de l'ordre de 1 W. Les composants optiques d'un interféromètre Perot-Fabry de 1,75 m de long ont été montés et nous avons observé la figure d'interférence caractéristique. Nous avons mesuré les fréquences propres des céramiques piézo-électriques. Quelques-uns des modules qui constituent le système électronique d'asservissement pour le laser et l'interféromètre sont déjà construits et les autres sont en construction. Après ajustement des montages optiques au cours du printemps 1994, nous espérons commencer à utiliser le SF₆. Nous remercions O. Acef et J.-P. Berthet pour leurs utiles conseils.

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

Nous mettons au point un montage pour mesurer la fréquence absolue des lasers à (He-Ne)/I₂ fonctionnant à $\lambda \approx 633 \text{ nm}$. Effectivement on peut déterminer leur fréquence avec une exactitude de quelques 10⁻¹², de façon simple, par comparaison avec la somme des fréquences émises par un laser à (He-Ne)/CH₄ à $\lambda \approx 3,39 \mu\text{m}$ et celle d'un laser à diode GaAlAs dont la fréquence est asservie sur une composante hyperfine des transitions 5S_{1/2}-5D_(3/2, 5/2) à deux photons dans le rubidium à $\lambda \approx 778 \text{ nm}$.

2.3.9 Cuves à iode

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

Cette année nous avons rempli douze cuves saturées (de type S) et quatre cuves non-saturées (de type N). La fréquence d'absorption de ces cuves a été étalonnée en utilisant la technique de la fréquence de battement ; pour la plupart ces cuves ont été vendues à des laboratoires de métrologie.

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

Les mesures de la concentration relative des impuretés dans les cuves à iode en verre, effectuées au moyen de la technique de fluorescence induite par laser à $\lambda \approx 502$ nm, se poursuivent. Depuis le précédent rapport nous avons mesuré le contenu relatif d'impuretés de vingt-cinq cuves ; certaines ont été envoyées à d'autres laboratoires. Un nouveau laser a été acheté et équipé d'une fibre optique. Le montage expérimental a été transporté dans un autre laboratoire et quelques parties ont été modifiées.

2.3.10 Structure hyperfine (S. Picard)

En collaboration avec A. Razet (INM, Paris, France) nous avons calculé une table des constantes hyperfines à partir de nombreuses mesures effectuées depuis plusieurs années.

2.3.11 Diodes lasers dans la partie rouge du spectre visible, avec I_2 comme référence (J. Åman, A. Zarka)

L'un des problèmes de l'utilisation des diodes lasers est la piètre qualité du faisceau dans la configuration étendue courante, y compris l'astigmatisme et l'ellipticité, ce qui rend difficile le contrôle des paramètres qui régissent la spectroscopie d'absorption dans la cavité. C'est pourquoi il n'est pas possible de construire des lasers compacts transportables. Une possibilité prometteuse vient de ce que ces diodes donnent accès à des composantes hyperfines de I_2 présentant une absorption plus forte et se situant en dehors du domaine d'accord du laser à He-Ne : on peut ainsi espérer réaliser des lasers possédant une plus grande stabilité. Nous avons construit un laser en nous inspirant du modèle utilisé pour les diodes lasers dans le proche infrarouge en l'adaptant pour le visible. Différentes techniques pour l'asservissement utilisant une cuve externe sont en cours d'étude. Citons entre autres la technique de spectroscopie par transfert de modulation, l'amélioration des cavités étudiées, et l'examen des composantes de I_2 à portée de battements avec les lasers à He-Ne, plus particulièrement celles des transitions 6-3, P(33). Quelques travaux de recherche sur d'autres configurations de la cavité laser utilisant la spectroscopie avec cuve interne se poursuivent. Les travaux sur les diodes

lasers dans le visible ont été faits en collaboration avec le SP (Borås, Suède) et le MRI/HUT (Helsinki, Finlande). À cet effet, le laser a été envoyé au SP (Borås, Suède) durant les mois de novembre et de décembre 1994 et a fait l'objet d'études effectuées avec la participation du MRI (Helsinki, Finlande).

2.4 Publications, conférences et voyages : section des longueurs

2.4.1 Publications extérieures

1. MILLERIOUX Y., TOUAHRI D., HILICO L., CLAIRON A., FELDER R., BIRABEN F., DE BEAUVOIR B., Towards an Accurate Frequency Standard at $\lambda \approx 778$ nm Using a Laser Diode Stabilized on a Hyperfine Component of the Doppler-Free Two-Photon Transitions in Rubidium, *Opt. Commun.*, 1994, **108**, 91-96.
2. ROBERTSSON L., Line-shape distortion due to self-focusing effects when using frequency modulation techniques in saturation spectroscopy, *J. Mod. Opt.*, 1994, **41**, 1327-1337.
3. VITUSHKIN L. F., ZELIKOVICH I. S., KOROTKOV V. I., PUL'KIN S. A., High Precision Measurements of the Groove Spacing of Diffraction Gratings Using the Interference Diffractometer and Study of the Quality of Diffraction Gratings, *Opt. Spectrosc.*, 1994, **77**, 129-135.

2.4.2 Rapport BIPM

4. PICARD S., Realization of a stabilized carbon dioxide laser system at the BIPM. Part I : Construction of the carbon dioxide laser, *Rapport BIPM-94/10*, 1994, 32 pages.

2.4.3 Conférences et exposés

J.-M. Chartier, P. Balling, J. Blabla, M. Ziegler et A. Chartier ont présenté à la CPEM'94 une affiche intitulée « International Comparison of $^{127}\text{I}_2$ Stabilized He-Ne Lasers at $\lambda \approx 633$ nm Using the Third and/or the Fifth Harmonic Locking Technique », *CPEM'94 Digest*, 1994, 329-330.

J.-M. Chartier, A. Chartier, J. Labot et W. Winters ont présenté une communication au Joint Symposium of the International Gravity Commission (IGC) and the International Commission on the Geoid (ICG) intitulée « Absolute Gravimeters: Status Report on the Use of Iodine-Stabilized He-Ne Lasers at $\lambda \approx 633$ nm ».

R. Felder, J.-J. Zondy, O. Acef, D. Touahri, A. Clairon, Y. Millerieux, F. Biraben, L. Julien et F. Nez ont présenté à l'EFTF'94 une communication intitulée « Absolute Frequency Measurements in the Visible and Near Infrared Ranges ».

R. Felder, L. Julien, F. Biraben, Y. Millerioux et P. de Natale ont présenté à la CPEM'94 une communication intitulée « Determination of the Rydberg Constant by Direct Frequency Measurement », *CPEM'94 Digest*, 1994, 400.

R. Felder, Y. Millerioux, D. Touahri, O. Acef, L. Hilico, A. Clairon, F. Biraben, B. de Beauvoir, L. Julien et F. Nez ont présenté à la CPEM'94 une communication intitulée « A Potential New Frequency/Wavelength Standard at 778 nm : Doppler-Free Two-Photon Transitions in Rubidium », *CPEM'94 Digest*, 1994, 169-170.

R. Felder, D. Touahri, J.-J. Zondy, O. Acef, L. Hilico, F. Nez, A. Clairon, Y. Millerioux, F. Biraben et L. Julien ont présenté à la CPEM'94 une affiche intitulée « LPTF Frequency Synthesis Chain : Results and Improvement for the Near Future », *CPEM'94 Digest*, 1994, 325-326.

R. Felder, B. Cagnac, B. de Beauvoir, F. Nez, F. Biraben, L. Julien, D. Touahri, M. Abed, L. Hilico, O. Acef, A. Clairon, J.-J. Zondy et Y. Millerioux ont présenté à l'ICAP 14 une affiche intitulée « High Resolution Spectroscopy and Absolute Frequency Measurement of 5S-5D Two-Photon Transitions in Rubidium ».

L. Robertsson, L. Vitushkin, S.V. Lazaryuk, S.A. Pul'kin et G. I. Toptygina ont présenté à la CPEM'94 à Boulder une affiche intitulée « Resonances with Sub-natural Line Width in Iodine Vapour Driven by a Polyharmonic Laser Light Field at $\lambda \approx 515$ nm », *CPEM'94 Digest*, 1994, 331-332.

L. F. Vitouchkine, V. I. Korotkov, et S. A. Pul'kin ont présenté à CLEO-Europe 94 une communication intitulée « High-precision measurement of the period of diffraction gratings using a laser interference diffractometer », *CLEO-Europe Digest*, 1994, 72.

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

J.-M. Chartier s'est rendu :

— à l'Accelerator Laboratory de l'Université d'Helsinki (Helsinki, Finlande), du 10 au 16 octobre 1993, pour participer à une comparaison de lasers ;

— au CEM (Madrid, Espagne), les 1^{er} et 2 mars 1994, à l'invitation de E. Prieto, et a vérifié le fonctionnement de deux lasers à He-Ne asservis sur l'iode à $\lambda \approx 633$ nm et du système de battement de fréquences ;

— au SMU (Bratislava, Rép. slovaque), du 9 au 23 avril 1994, pour des comparaisons de lasers asservis sur l'iode à $\lambda \approx 633$ nm impliquant neuf laboratoires ;

— au JILA (Boulder, É.-U. d'Amérique), du 25 juin au 2 juillet 1994, pour effectuer des comparaisons de lasers asservis sur l'iode à $\lambda \approx 633$ nm et participer à la CPEM'94 ;

— au CEM (Madrid, Espagne), du 25 juillet au 5 août 1994, dans le cadre d'un programme du BCR, pour effectuer des comparaisons de lasers asservis sur l'iode à $\lambda \approx 633$ nm concernant l'Espagne et le Portugal;

— à la réunion conjointe de l'IGC et de l'ICG (Graz, Autriche) avec L. Robertsson et L.F. Vitouchkine, du 11 au 15 septembre 1994.

R. Felder s'est rendu :

— au LPTF (Paris, France), où il a passé les deux tiers de l'année sur la mise au point d'un nouveau laser de référence à $\lambda \approx 778$ nm;

— au Laboratoire de l'horloge atomique (Orsay, France), le 3 novembre 1993;

— à la CPEM'94 (Boulder, É.-U. d'Amérique), du 27 juin au 1^{er} juillet 1994.

L. Robertsson s'est rendu :

— à une réunion d'EUROMET (Bruxelles, Belgique), les 2 et 3 novembre 1993;

— à l'Observatoire royal de Belgique (Bruxelles, Belgique), du 8 au 9 novembre 1993, avec T. Niebauer (Micro g Solutions, Colorado, É.-U. d'Amérique), pour effectuer des mesures absolues de g;

— à l'American Society for Precision Engineering (Tucson, É.-U. d'Amérique), du 6 au 8 avril 1994, pour le Spring Topical Meeting « Mechanisms and Controls for Ultra-Precision Motion »;

— au Steward Observatory, Université de l'Arizona (Tucson, É.-U. d'Amérique), le 7 avril 1994;

— à l'Optical Science Center (Tucson, É.-U. d'Amérique), le 8 avril 1994;

— à l'Edward L. Ginzton Laboratory à l'Université de Stanford (Stanford, É.-U. d'Amérique), le 11 avril 1994;

— au centre de recherche d'IBM (Almenden, É.-U. d'Amérique), le 12 avril 1994;

— à la société Light-Wave (Mountain View, É.-U. d'Amérique), le 13 avril 1994;

— à la CPEM'94 (Boulder, É.-U. d'Amérique), du 27 juin au 1^{er} juillet 1994.

S. Picard s'est rendue :

— au LPTF (Paris, France), le 6 mai 1994;

— au CNAM (Paris, France), le 15 septembre 1994, pour le colloque sur « Le mètre et la lumière ».

L. Vitouchkine s'est rendu :

— à l'Université de Bourgogne (Dijon, France), du 23 au 25 juin 1994, pour le Colloque européen sur la « Microscopie à champ proche »;

— au CERN (Genève, Suisse), du 18 au 23 juillet 1994, pour la réunion sur les systèmes mécaniques et d'alignement pour l'expérience en cours au grand anneau de collisions hadroniques;

— à la conférence CLEO-Europe 1994 (Amsterdam, Pays-Bas), du 28 août au 2 septembre 1994.

A. Zarka s'est rendu :

— à l'Association pour la recherche et l'utilisation des fibres optiques et de l'optique guidée (Saint-Étienne, France), du 23 au 26 novembre 1993.

2.5 Visiteurs de la section des longueurs

2.5.1 Stagiaires

M. G. Popescu (Institut de physique atomique, Bucarest, Roumanie), a séjourné au BIPM du 4 au 22 octobre 1993 pour une comparaison de lasers à $\lambda \approx 633$ nm entre son institut et le BIPM.

M. A. Kopaev (Sternberg Astronomical Institute of Moscow State University, Moscou, Russie) a séjourné au BIPM du 31 janvier au 11 février 1994 pour y faire des mesures relatives de g .

M. J. Åman (Chalmers University of Technology, Göteborg, Suède), a séjourné au BIPM du 7 février au 10 juin 1994 pour travailler sur les diodes lasers asservies sur le rubidium.

M. X. Ducret (Université Paris VII, Jussieu, Paris, France) a séjourné au BIPM, du 3 mars au 29 juillet 1994, pour travailler sur un système automatique de comptage de franges.

MM. M. Krantz et D. Åman (Chalmers University of Technology, Göteborg, Suède) ont fait un séjour de deux semaines au BIPM, du 18 au 29 avril 1994, pour travailler sur des techniques de détection afin d'étudier la répartition des signaux dans les faisceaux des lasers.

2.5.2 Visiteurs

M. Ubelmann (Université Paris XI, Orsay, France), 6 octobre 1993.

M. M. Viliesid Alonso (CNM, Queretaro, Mexique), 18 octobre 1993.

M. Mazé (Le Verre Fluoré, Rennes, France), 20 octobre 1993.

M. J. Blabla (CMI, Prague, Rép. tchèque), 25 octobre 1993, 18 et 19 janvier 1994.

M. V. B. Shilov et M. G. Tomilin (Russian Research Centre, Saint-Pétersbourg, Russie), 26 octobre 1993.

Mme N. Renard (CERLAB, Paris, France), 26 octobre 1993.

M. Y. Yordanov (Committee for Standardization and Metrology, Sofia, Bulgarie), 27 octobre 1993.

M. F. Bertinetto (IMGC, Turin, Italie), 9 décembre 1993.

M. Kazana (Secrétaire de l'Ambassade de Pologne en France, Paris, France), 7 janvier 1994.

M. M. Becker (IFAG, Francfort, Allemagne), 27 janvier 1994.

M. A. Brillet (Laboratoire de l'accélérateur linéaire, Orsay, France), 9 février 1994.

M. T. K. Chan (Hong Kong Government Standards and Calibration Laboratory, Hong Kong), 3 mars 1994.

M. B. Kalinowska-Sledzinska (Université technique de Varsovie, Varsovie, Pologne), 22 mars 1994.

M. I. Marson (Université de Trieste, Trieste, Italie), 29 mars 1994.

M. Van Rymbecke (Observatoire royal, Bruxelles, Belgique), 26 avril 1994.

MM. A. A. Mak et V. I. Ustyugov (Research Institute for Laser Physics, Saint-Pétersbourg, Russie), 29 avril 1994.

M. D. Rytz (Sandoz-Huningue Laboratory, Huningue, France), 29 avril 1994.

M. A. Le Floch (Université de Rennes, Rennes, France), 11 mai 1994.

M. A. Vitouchkine (VNIIM, Saint-Pétersbourg, Russie), 21 mai - 11 juin 1994.

MM. Bagayev et Goncharov (IPL, Novosibirsk, Russie), 30 mai 1994.

M. J. Mc Combie (Université de Nottingham, Royaume-Uni), 30 mai 1994.

M. M. Sargent (Microsoft, Tucson, É.-U. d'Amérique), 31 mai 1994.

M. P. Musikul, ministre délégué pour la Science, la technologie et l'environnement, et Mme A. Singhabhandhu, Department of Science Service (Bangkok, Thaïlande), 24 août 1994.

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

3.1 Introduction

Une grande partie de notre travail de cette année a été consécutif à la troisième vérification des prototypes nationaux du kilogramme qui s'est terminée l'an dernier. Le BIPM a proposé aux États membres de la Convention du Mètre qui ne possèdent pas de prototype en platine iridié d'effectuer une comparaison d'étalons en acier inoxydable. Cette comparaison a été faite. De plus, dans le cadre du CCM, une comparaison internationale d'étalons en acier inoxydable est organisée. Par ailleurs, la nouvelle balance à suspensions flexibles est en voie d'achèvement. Nous avons nettement progressé dans la compréhension des pertes dues à l'anélasticité dans les suspensions; les études par pesée des propriétés superficielles des étalons en platine iridié polis à l'outil à pointe de diamant ont été poursuivies; nous avons amélioré nos moyens de caractérisation des étalons en acier inoxydable du point de vue magnétique et géométrique. Enfin, le BIPM a accueilli pendant trois semaines des équipes venues procéder à une comparaison internationale de gravimètres absolus et relatifs.

3.2 Étalons de 1 kg en acier inoxydable (R. S. Davis, M.-J. Coarasa)

Des étalonnages d'étalons de 1 kg en acier inoxydable ont été faits pour les laboratoires suivants : BEV (Autriche), PKNM (Pologne), CEM (Espagne), CSIR (Afrique du Sud), NIM (Rép. pop. de Chine), Standards and Calibration Laboratory (Hong Kong) et INPL (Israël).

De plus, le BIPM a invité les États membres qui ne possèdent pas d'étalon national en platine iridié à participer à un étalonnage d'étalons nationaux en acier inoxydable. D'avril à juin 1994, le BIPM a étalonné six étalons en provenance d'Argentine (2), de Bulgarie, d'Irlande, de Nouvelle-Zélande et d'Uruguay. Trois de ces étalons avaient déjà été étalonnés au BIPM. Pour deux autres, leur volume avait été déterminé par le laboratoire national d'origine avec une exactitude suffisante. Quant au sixième, il était neuf, nous avons donc déterminé sa masse volumique avant de l'étalonner. Il s'est trouvé que ces six étalons étaient faits de cinq alliages différents entre eux et tous différents de celui des étalons de référence du BIPM en acier inoxydable.

Pour chaque étalon une détermination préliminaire de sa masse était effectuée à son arrivée. Les étalons étaient ensuite nettoyés et l'on surveillait l'évolution de leur masse après nettoyage. Après plusieurs semaines, les étalons étaient comparés aux étalons de travail du BIPM au cours d'une série de mesures qui s'est étendue sur plusieurs semaines. Pour toutes ces comparaisons de masse nous avons utilisé la balance Mettler HK 1000 MC, modifiée par le BIPM. Les mesures ont été achevées en juin 1994. De plus, en septembre 1994, un septième étalon a été étalonné pour la Thaïlande et comparé à cinq des précédents.

Parallèlement à ce travail, le BIPM organise une comparaison internationale d'étalons de 1 kg en acier inoxydable dans le cadre du CCM. Pour celle-ci il est prévu que deux étalons voyageurs de 1 kg seront envoyés aux laboratoires nationaux participants. Ces étalons voyageurs seront mesurés directement en fonction des étalons de référence en acier inoxydable que les laboratoires auront étalonnés par rapport à leur prototype national en platine iridié.

Il est prévu que douze laboratoires situés en Europe, en Asie, en Océanie et en Amérique du Nord prendront part à cette comparaison. Malheureusement les comparaisons ne pourront commencer qu'au cours de l'automne 1994. Les résultats définitifs devraient être disponibles deux ans après le début des comparaisons.

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

Presque toutes les parties mécaniques de la balance FB-2 et de l'échangeur de masses sont fabriquées et montées. Nous avons effectué plus de 2500 échanges automatiques de masses. L'erreur de centrage sur le plateau est toujours d'environ 25 μm ; elle ne dépend pas de l'étalon choisi parmi les huit étalons transportés par l'échangeur. Deux dispositifs

complémentaires ont été mis en place, l'un pour mesurer la sensibilité de la balance elle-même et l'autre pour ajuster la position d'équilibre en l'absence de l'asservissement. Le premier dispositif fait appel à deux masses auxiliaires de 1 mg chacune. Afin de vérifier la relation linéaire recherchée entre le courant d'asservissement et la variation de la masse, on peut ajouter ou retrancher ces masses auxiliaires de façon indépendante et automatique. Le second dispositif est un mécanisme manuel qui permet de compenser un déséquilibre compris entre -10 mg et 10 mg. Ce mécanisme est commandé de l'extérieur de la cage de la balance, ce qui permet d'effectuer les ajustements sans ouvrir l'enceinte. Maintenir la balance au voisinage de son équilibre mécanique minimise l'échauffement dû au courant d'asservissement. L'expérience acquise avec la balance FB-1 montre qu'un tel ajustement devient souhaitable si la position d'équilibre de la balance dérive, comme cela est toujours le cas lorsque l'on effectue des pesées dans le vide.

Bien que l'automatisation ne soit pas encore complètement installée, nous avons construit un détecteur différentiel optique avec son électronique associée. L'utilisation d'une diode laser asservie en puissance et fonctionnant à 5000 Hz permet d'obtenir un rapport signal sur bruit élevé en utilisant une détection synchrone. La rotation du fléau peut être ainsi mesurée avec une sensibilité d'environ 3×10^{-7} rad/mV.

Pour des pesées de très grande précision, les facteurs limitatifs sont la stabilité et l'homogénéité thermiques à l'intérieur de l'enceinte de la balance; nous avons donc effectué une étude sur les variantes possibles, en matière d'enceinte, pour en évaluer les caractéristiques thermiques à court et à long terme. Pour cette étude nous avons réalisé deux modèles d'enceinte grandeur nature. Le premier modèle consiste en une simple enceinte dont la température de la surface externe est contrôlée au moyen d'une circulation d'eau. Le second modèle consiste en une enceinte triple avec une circulation d'eau entre les surfaces interne et externe. À partir de cette étude, nous avons choisi le second modèle pour la balance FB-2, bien qu'il soit plus lourd et plus complexe. Les essais montrent que ce modèle donne une bonne stabilité à long terme d'environ 0,8 mK sur 24 heures et d'environ 0,2 mK sur 5 minutes (temps nécessaire pour une pesée). Le bénéfice le plus important toutefois est que ce modèle semble minimiser les gradients horizontaux même après un chauffage non homogène de l'extérieur : une puissance de 10 watts appliquée sur une petite surface de l'enceinte extérieure n'a pas produit une dérive significative de la température de l'air à l'intérieur de la triple enceinte et la différence de température horizontale est restée inférieure à 1 mK.

La construction de la balance devrait être achevée à la fin de 1994.

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

Après des études poussées faites à la pression atmosphérique, nous avons entrepris d'examiner la reproductibilité des pesées effectuées dans

l'air et dans le vide. Ces travaux, qui ont commencé au mois de juin 1992, se poursuivent avec les mêmes étalons en Pt-Ir qui ont des surfaces totales différentes et la même balance FB-1 (voir la description qui en est donnée dans le Rapport de 1992, p. 55). Nous avons effectué sept cycles entre le vide et la pression atmosphérique. Nous avons utilisé une pompe turbo-moléculaire pour maintenir une pression constante d'environ 1 Pa pendant toute la durée des mesures. Une série de mesures dans le vide ou dans l'air s'étendait généralement sur environ deux semaines mais après la troisième série de mesures dans le vide, la pression atmosphérique a été maintenue pendant environ 4 mois (voir Figure 3.1, les mesures marquées (1) et (2)). Entre la cinquième et la sixième pesées dans le vide les masses ont été conservées sous vide (100 Pa) pendant sept mois (voir Figure 3.1, les mesures marquées (3) et (4)). Les cercles blancs (pesées dans le vide) et les points noirs (mesures à la pression atmosphérique) correspondent à des résultats traités globalement par la méthode des moindres carrés pour en déduire les variations de la différence de masse en fonction de l'humidité relative, de la pression, de la température et du temps.

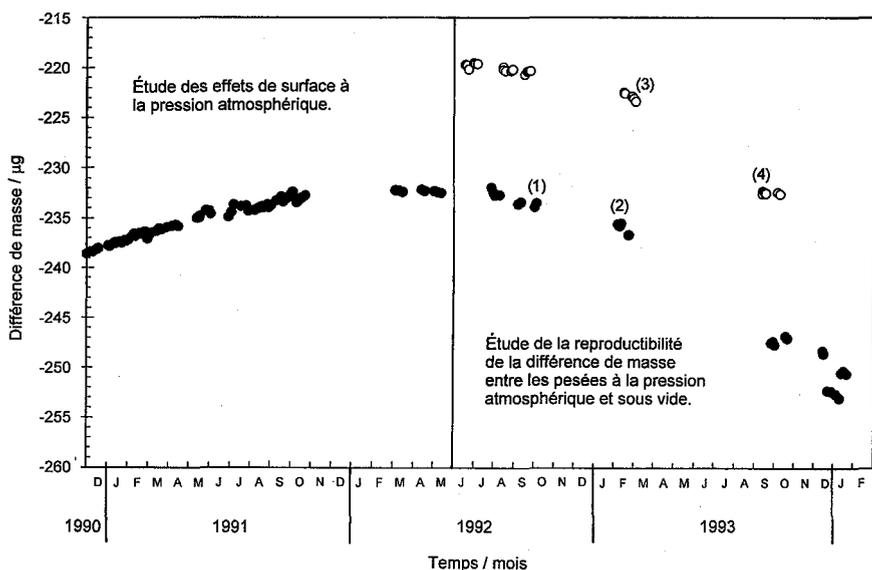


Fig. 3.1. — Évolution de la différence de masse en fonction du temps. Les cercles blancs (mesures sous vide) et les points (mesures à la pression atmosphérique) représentent les données utilisées pour obtenir, par la méthode de régression polynomiale des moindres carrés, l'évolution de la différence de masse en fonction de l'humidité relative, de la pression, de la température et du temps.

Il y a un accroissement apparent de 14 μg de la différence de masse entre les deux étalons lorsque l'on passe de l'atmosphère au vide (la masse *augmentant* en fonction de la surface totale). La reproductibilité des

variations de la différence de masse est d'environ 0,6 μg . Les variations observées de la différence de masse en fonction de la température sont semblables à celles dont il a été rendu compte en 1992. En ce qui concerne l'humidité et la pression, les coefficients sont maintenant environ 5 fois et 3 fois ceux que l'on a trouvés pour les mesures faites entièrement à la pression atmosphérique. D'après les points (3) et (4), on peut déduire un taux de perte par dégazage d'environ 1,5 μg par mois, mais le taux d'adsorption (tel qu'il apparaît entre les points (1) et (2)) se situe au-dessous de notre résolution.

Les recherches sur l'accroissement des coefficients d'humidité et de pression, ainsi que sur l'accroissement apparent de la différence de masse entre les mesures dans le vide et les mesures à la pression atmosphérique, se poursuivent. Au cours de l'année 1994, le fonctionnement de la balance FB-1 s'est lentement dégradé. Pour retrouver son fonctionnement normal, il a fallu procéder à une révision complète de cette balance, ce qui a pris environ deux mois.

3.5 Anélasticité des pivots flexibles et des rubans de torsion (T. J. Quinn, R. S. Davis, C. C. Speake*)

Nous avons fait des progrès considérables pour déterminer les pertes par anélasticité intrinsèque du cuivre-béryllium (Cu-Be) et pour comprendre les difficultés expérimentales rencontrées lorsqu'on conçoit des dispositifs qui atteignent la limite intrinsèque. La première étape a consisté à montrer de façon expérimentale que les pertes par anélasticité dans un ruban de torsion dépendent très peu de la charge jusqu'à ce qu'on atteigne 95 % de la charge de rupture. Le système de torsion est relativement simple à comprendre au niveau théorique et à réaliser au niveau expérimental. Ces résultats laissent à penser que l'amortissement dépendant de la contrainte que l'on avait observé précédemment dans les pivots flexibles en Cu-Be ne constitue pas une caractéristique intrinsèque du matériau. Cela a été confirmé en procédant à une série de mesures sur des lames flexibles sur lesquelles on augmentait la contrainte de deux façons : en augmentant la masse suspendue à la lame, ou en diminuant la largeur de la lame sans changer la masse suspendue. Les différences observées dans les résultats font apparaître des mécanismes de perte importants du point de vue du montage des lames flexibles. Nous attribuons maintenant ces pertes à un mécanisme d'« adhérence-glisement ». En tenant compte de ce phénomène, il est maintenant possible d'améliorer le montage des lames de façon à minimiser cet effet d'adhérence-glisement. Afin de vérifier la compréhension que nous avons de l'amortissement des pendules, nous

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

avons fabriqué un pendule simple avec une lentille de 1 kg, suspendu au moyen d'une lame flexible en Cu-Be et ayant une période de 1 s. Nous avons trouvé pour ce pendule, fonctionnant dans le vide, une valeur de Q égale à 4×10^6 , en bon accord avec la valeur calculée de $(4,2 \pm 2) \times 10^6$.

Le phénomène étant mieux compris, la construction de pivots flexibles pour la nouvelle balance du BIPM peut être simplifiée et nous pouvons maintenant espérer étudier les pertes intrinsèques dans les lames flexibles faites en monocristaux de silicium.

3.6 Spécification des alliages en acier inoxydable (R. S. Davis)

Nous avons mis au point une nouvelle méthode pour mesurer la susceptibilité magnétique des étalons de masse et pour déterminer s'ils ont une aimantation rémanente (*voir* Rapport de 1993). Depuis que ces travaux ont été publiés, un certain nombre de laboratoires ont demandé que ces mesures soient effectuées sur leurs étalons. Ces demandes sont en partie motivées par une nouvelle recommandation de l'Organisation internationale de métrologie légale (OIML) précisant que les étalons de masse en acier inoxydable de plus haut niveau doivent avoir une susceptibilité magnétique inférieure à une valeur spécifiée. Comme la méthode que le BIPM utilise pour mesurer la susceptibilité est nouvelle, une documentation complète traitant de son application à la métrologie des masses a été préparée et sera publiée sous forme de rapport BIPM.

Les étalonnages de masses au plus haut niveau d'exactitude font appel à une petite correction pour la différence d'altitude entre le centre de gravité de l'étalon et celui de la masse à étalonner (pour des étalons de 1 kg, la correction est de l'ordre de $3 \mu\text{g}$ par centimètre). Pour des étalons qui ne sont pas parfaitement cylindriques, la position du centre de gravité était auparavant estimée à partir des dimensions de l'étalon. On avait aussi construit une balance spéciale, dont l'utilisation était quelque peu pénible. Cette année, nous avons mis au point une technique extrêmement simple pour déterminer le centre de gravité avec une précision de $2 \mu\text{m}$ et une incertitude globale d'environ $40 \mu\text{m}$.

3.7 Nouveaux prototypes

L'IMGC a acquis le prototype n° 76 auprès du BIPM en 1993. Les derniers étalonnages ont été effectués et l'IMGC a pris possession de ce prototype et de ses accessoires en janvier 1994. Dans une commande groupée avec le NPL, le BIPM a acheté auprès de Johnson-Matthey Co. une quantité suffisante d'alliage de platine iridié pour construire quatre prototypes de 1 kg. Pour la première fois, cet alliage a été fondu au moyen d'un faisceau d'électrons.

3.8 Gravimétrie (A. Sakuma)

i) *Gravimètre du BIPM* (A. Sakuma)

Le gravimètre mis au point au BIPM par A. Sakuma a été remis en état à temps pour participer à la comparaison internationale de gravimètres [voir iii), ci-après]. Cela a comporté la remise en marche de l'horloge à rubidium et l'addition de dispositifs optiques pour évaluer la qualité de chaque lancement du miroir.

Au cours de l'été 1994 l'appareil a été utilisé pour effectuer des mesures en liaison avec le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM), Orléans (France). Cette campagne de mesures, dont les buts ont été exposés en 1992, est maintenant achevée. Elle a permis d'établir des bases de gravimétrie absolue au pied et au sommet du Puy-de-Dôme (France) (altitude 1464 m).

ii) *Gravimètre d'Axis Instruments* (L. Robertsson, L. Vitouchkine)

La coopération qui existe entre le BIPM et des sociétés commerciales actives dans le domaine de la métrologie, a permis d'acquérir un nouveau gravimètre FG5 auprès d'Axis Instruments. L. Robertsson a pris part à une session de formation à Boulder (É.-U. d'Amérique) au cours de l'été 1993; avec J. Faller au JILA, il a fait une première étude de l'influence de la rotation d'un trièdre en chute. Cet instrument a été livré au BIPM au mois de septembre 1993.

T. Niebauer, qui a travaillé avec l'ancienne société Axis Instruments, a passé trois mois au BIPM comme chercheur associé stagiaire. Il a effectué une série de mesures pour s'assurer du bon fonctionnement de l'instrument. Il a aussi amélioré le logiciel et inclus le moyen d'apporter une correction pour l'influence des marées océaniques. Au mois de novembre nous avons transporté ce gravimètre à Bruxelles pour faire des mesures pendant deux jours à l'Observatoire royal de Belgique.

La catapulte du gravimètre a été renvoyée au fabricant au commencement de l'année 1994 pour en modifier la conception; nous l'avons reçue en retour.

Ce gravimètre a fonctionné à la station L_4 pendant toute la durée de la quatrième comparaison internationale de gravimètres. Les résultats obtenus servent de témoin, ce qui permet de réduire l'incertitude due aux éventuelles fluctuations de l'accélération due à la pesanteur, dans les comparaisons qui ont concerné les autres gravimètres. Après l'achèvement de la comparaison, entre le 10 juin et le 8 juillet, ce gravimètre a été transporté successivement aux points A, A_2 , A_3 , A_8 , L_3 et L_4 afin de fournir une autre mesure, indépendante, du réseau de gravimétrie du BIPM.

iii) *Comparison internationale de gravimètres* (J.-M. Chartier, L. Robertsson, L. Vitouchkine)

Quatre nouvelles stations gravimétriques, L_1 - L_4 , ont été aménagées dans le laboratoire situé au sous-sol du bâtiment des lasers afin d'avoir suffisam-

ment de points de référence pour la quatrième comparaison internationale de gravimètres absolus et relatifs. Avant la comparaison, au cours de la période comprise entre le 27 janvier et le 11 février 1994, M. Becker (IFAG, Francfort, Allemagne), et A. Kopaev (Sternberg Astronomical Institute de l'université d'État de Moscou, Russie) et L. Vitouchkine ont effectué des mesures relatives de g et du gradient vertical de g , établissant ainsi les liaisons avec les points bien connus A_2 et A_3 .

La quatrième comparaison internationale, sous les auspices de l'AIG, s'est déroulée du 24 mai au 10 juin 1994. Dix gravimètres absolus y ont pris part; ils venaient des organismes suivants : IFE (Hanovre, Allemagne), IMGIC (Turin, Italie), FGI (Helsinki, Finlande), IFAG (Francfort, Allemagne), DMA (Saint-Louis, É.-U. d'Amérique), GSC (Ottawa, Canada), BEV (Vienne, Autriche), NOAA (Longmont, É.-U. d'Amérique), et BIPM (2 gravimètres). Le BIPM a fourni les fréquences d'étalonnage pour les horloges à rubidium, en utilisant comme référence son horloge à césium, et pour les lasers asservis, en utilisant un système portable à battements de fréquence dont la fréquence de référence était donnée par le laser portable BIPMP1. Sur les dix lasers qui ont été vérifiés, quatre étaient asservis en utilisant la technique à deux modes et six étaient asservis sur l'iode. Une trentaine de gravimètres relatifs, appartenant aux pays mentionnés plus haut ainsi qu'à la Belgique, à la Hongrie, au Japon et à la Russie, ont pris part à une comparaison consistant à relier les six points de référence utilisés pour les gravimètres absolus et quelques autres points situés dans le périmètre du BIPM. De plus, on a déterminé les gradients verticaux de g à ces six points de référence. Au cours de ces comparaisons un séminaire d'une journée s'est déroulé au BIPM. Les résultats obtenus avec les gravimètres absolus ont été rassemblés par I. Marson (Université de Trieste, Trieste, Italie) et G. Sasagawa (NOAA, Longmont, É.-U. d'Amérique); pour les gravimètres relatifs, les résultats ont été rassemblés par M. Becker (IFAG, Francfort, Allemagne). Au mois de septembre 1994, un rapport sera soumis à la conférence de l'AIG en Autriche. Les détails complets de ces comparaisons internationales feront l'objet d'une publication dans un numéro spécial de *Metrologia*.

3.9 Publications, conférences et voyages : section des masses

3.9.1 Publication extérieure

1. DAVIS R. S., Mass and Density, Measurement of, In *Encyclopedia of Applied Physics*, G. L. Trigg ed., VCH (Weinheim), 1994, 9, 335-348.

3.9.2 Conférences et exposés

T. J. Quinn a présenté une contribution intitulée « Stress-dependent damping in Cu-Be torsion and flexure suspensions at stresses up to 1,1 GPa » (co-auteurs C. C. Speake, W. Tew, R. S. Davis et L. M. Brown)

à la Workshop on Thermal Noise in Laser Interferometers (4 et 5 janvier 1994, Pasadena, Californie, É.-U. d'Amérique).

A. Picard a été invité à faire un exposé sur la « Conception et exploitation d'un comparateur d'étalons de masse à suspensions flexibles » devant le personnel de l'OFMET (Wabern, Suisse), 21 janvier 1994.

R. S. Davis a été invité à présenter un exposé sur « What have we learned from the third verification of national prototypes of the kilogram ? » devant le personnel de l'IMGC (Turin, Italie), 27 janvier 1994.

R. S. Davis et A. Picard ont fait un cours sur la métrologie des masses au niveau des étalons de 1 kg (25 au 27 avril 1994) pour deux visiteurs de l'ITRI (Taiwan).

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

R. S. Davis a participé à la réunion d'EUROMET rassemblant des responsables dans le domaine des masses (Borås, Suède, 19-22 janvier 1994); il a été invité à y faire un exposé sur les activités de la section des masses du BIPM. Il a aussi participé à plusieurs réunions d'EUROMET portant sur les programmes de travaux futurs.

T. J. Quinn et R. S. Davis ont participé à l'International Workshop on the Avogadro Constant and the Representation of the Silicon Mole (9-11 mars 1994, Turin, Italie). T. J. Quinn a présidé les séances d'ouverture et de clôture.

R. S. Davis a été invité chez Mettler-Toledo AG (Greifensee, Suisse) afin d'y installer le dispositif que le BIPM a conçu pour mesurer la susceptibilité magnétique (14-15 avril 1994). Il a aussi rendu visite à l'OFMET le 15 avril après-midi.

3.10 Visiteurs de la section des masses

MM. M. Mosca et F. Alasia (IMGC, Turin, Italie), 24 novembre 1993.

M. P. De Bièvre (IMMR, Geel, Belgique), 26 novembre 1993.

M. M. Kochsiek (PTB, Braunschweig, Allemagne), 9 février 1994.

MM. Y. Nakahori, Y. Kuroishi, T. Akiyama et T. Kimura (Geophysical Survey Institute, Tsukuba, Japon), 21 février-15 mars 1994.

M. T. K. Chan (Standards and Calibration Laboratory, Hong Kong), 7-8 mars 1994.

M. M. Tanaka (NRLM, Tsukuba, Japon), 1^{er} avril 1994.

M. Y. Nezu (NRLM, Tsukuba, Japon), 8 juin 1994.

M. A. Shenhar (INPL, Jérusalem, Israël), 8 septembre 1994.

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 dans *Circular T* à parution mensuelle. On a considérablement accéléré la réalisation du *Rapport annuel de la section du temps du BIPM* pour 1993 (volume 6) par rapport aux années précédentes : les résultats définitifs de l'année 1993 ont en effet été disponibles dès le 5 avril 1994, sous la forme de fichiers informatiques accessibles par le réseau Internet dans le FTP anonyme du BIPM, et le volume imprimé correspondant a été distribué au début du mois de mai 1994. Ceci a demandé un effort important de la part de tout le personnel de la section du temps, mais répond aux demandes exprimées par les laboratoires nationaux.

La durée de l'intervalle d'échelle du TAI est régulièrement comparée aux meilleures réalisations de la seconde du SI. Deux étalons de fréquence à césium de conception nouvelle, utilisant une production et une détection optiques des atomes, ont été récemment évalués. Il s'agit des étalons :

— NIST 7, mis au point au NIST (Boulder, É.-U. d'Amérique), qui atteindrait une exactitude de l'ordre de 1×10^{-14} . Cependant, le calcul du bilan des incertitudes n'est pas encore publié et le BIPM n'a pas encore reçu de données établies à l'aide de cet étalon ;

— JPO (Jet à pompage optique), mis au point au LPTF (Paris, France), dont l'exactitude était de $1,1 \times 10^{-13}$ lors de sa première évaluation en mai 1993. Le BIPM a reçu et analysé des données fournies par JPO. Compte tenu de l'incertitude avancée, la fréquence du TAI est en accord avec celle du JPO. Au LPTF, il est prévu d'effectuer des modifications au JPO afin d'améliorer son exactitude.

Il s'ensuit que, comme lors des années précédentes, la conformité de l'intervalle unitaire du TAI avec la seconde du SI repose presque entièrement sur les données d'un seul laboratoire, la PTB, dont les étalons primaires sont bien plus exacts que les autres. Depuis avril 1993, la fréquence du TAI est restée constante par rapport à la fréquence des étalons de la PTB, aucune correction de pilotage n'a donc été appliquée.

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

La large utilisation des comparaisons de temps par le GPS (parmi les 45 laboratoires horaires qui participent au TAI, seuls 3 étaient encore reliés par Loran-C en avril 1994) et le remplacement extensif des anciennes horloges commerciales par les nouvelles HP 5071A et par des masers à hydrogène actifs et auto-asservis, ont contribué à l'évolution rapide de la qualité des données utilisées pour le calcul du TAI. Le bruit blanc de

mesure qui affecte les comparaisons d'horloge à distance est donc lissé par moyenne des données sur des périodes plus courtes que dix jours. De plus, l'utilisation d'horloges très stables a conduit à une amélioration spectaculaire de la stabilité du TAI et de l'UTC. En appliquant la technique du chapeau à N pointes aux données, obtenues en 1993 et au début de 1994, des comparaisons entre le TAI et les meilleures échelles de temps indépendantes du monde (celles établies au NIST, au VNIIFTRI, à l'USNO et à la PTB), on obtient les valeurs de stabilité suivantes (exprimées en écart-type d'Allan) :

$$\sigma_{y\text{TAI}}(\tau = 10 \text{ jours}) = 3,9 \times 10^{-15},$$

$$\sigma_{y\text{TAI}}(\tau = 20 \text{ jours}) = 3,2 \times 10^{-15},$$

$$\sigma_{y\text{TAI}}(\tau = 40 \text{ jours}) = 3,5 \times 10^{-15},$$

$$\sigma_{y\text{TAI}}(\tau = 80 \text{ jours}) = 4,9 \times 10^{-15}.$$

La stabilité du TAI et de l'UTC est donc meilleure que 5×10^{-15} . Il semble aussi que l'intervalle de base du calcul, égal à l'heure actuelle à 60 jours, puisse être diminué. Le délai d'accessibilité au TAI serait réduit d'autant. Compte tenu de cette nouvelle situation, nous avons entrepris des essais de calcul définitif du TAI chaque mois, en utilisant une nouvelle version de l'algorithme ALGOS et les données réelles collectées depuis le début de 1992. Les résultats sont encourageants et il a été décidé que le groupe de travail du CCDS sur le TAI devait se réunir en mars 1995 pour discuter de ce nouvel algorithme.

Il est intéressant de noter que la même étude de stabilité, réalisée en utilisant l'EAL plutôt que le TAI, conduit aux résultats suivants :

$$\sigma_{y\text{EAL}}(\tau = 10 \text{ jours}) = 3,9 \times 10^{-15},$$

$$\sigma_{y\text{EAL}}(\tau = 20 \text{ jours}) = 3,2 \times 10^{-15},$$

$$\sigma_{y\text{EAL}}(\tau = 40 \text{ jours}) = 3,1 \times 10^{-15},$$

$$\sigma_{y\text{EAL}}(\tau = 80 \text{ jours}) = 4,0 \times 10^{-15}.$$

La stabilité du TAI se dégrade donc, pour des durées d'intégration allant de 40 à 80 jours, par rapport à celle de l'échelle atomique libre EAL. Ceci est probablement dû à l'unique correction de pilotage de fréquence apportée en 1993, au mois d'avril, et dont l'amplitude était de 5×10^{-15} . Il est clair que ce saut de fréquence était trop important par rapport à l'ordre de grandeur des fluctuations de l'EAL. Il s'ensuit que les corrections de pilotage doivent être petites (probablement de l'ordre de 1×10^{-15} à 2×10^{-15}), et qu'elles ne peuvent être utiles qu'à une modification de la fréquence du TAI à très long terme.

Du fait de la très haute stabilité des nouvelles horloges commerciales et des masers à hydrogène, il nous semble qu'il est maintenant temps de songer à effectuer des modifications profondes de l'algorithme du TAI. La réunion prochaine du groupe de travail du CCDS sur le TAI, prévue pour mars 1995, représente une excellente occasion pour de telles discussions.

Nous avons donc entrepris d'étudier, sur des données réelles, les points suivants :

- calcul définitif du TAI tous les 30 jours plutôt que tous les 60 jours ;
- introduction, dans la prédiction de fréquence des masers à hydrogène, d'une évaluation de leur dérive de fréquence ;
- modification de la limite supérieure des poids ;
- modification de la procédure de détermination des poids, qui repose, pour l'instant, sur des variations systématiques de fréquence à signature annuelle, phénomène qui tend à disparaître maintenant ;
- danger que représente une trop importante participation d'un type unique d'horloges, les HP 5071A ;
- avantages à changer le cycle de base des mesures de 10 jours à 1 jour ;
- avantages à augmenter ou diminuer le nombre d'horloges qui participent.

Toutes ces études seront rapportées en détail, mais on s'attend déjà à ce que le groupe de travail recommande de réduire l'intervalle de calcul définitif du TAI et d'utiliser mieux les masers à hydrogène.

En collaboration avec D. W. Allan, Allan's TIME (Green Fountain, Utah, É.-U. d'Amérique), le BIPM a proposé, en décembre 1993 [1], la réalisation en temps réel, nommée UTCp, d'une prédiction de l'UTC. Dans ce projet, un UTC informatique, UTCs, serait calculé chaque jour à partir des données d'un petit nombre d'horloges, environ dix, choisies parmi les meilleures. L'UTCs servirait à piloter une horloge physique qui délivrerait en temps réel l'UTCp. Celui-ci serait ensuite accessible aux utilisateurs par l'observation de systèmes globaux de satellites. Pour l'instant, aucun essai n'a été entrepris car nous n'avons pas de données journalières d'horloges à notre disposition. L'opportunité de ce projet, avec ses avantages et inconvénients pour l'ensemble des utilisateurs, sera discutée lors de la réunion du groupe de travail du CCDS sur le TAI en mars 1995.

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

La section du temps du BIPM est intéressée par toute méthode de comparaison d'horloges ayant une exactitude potentielle de l'ordre de la nanoseconde. Nous prenons donc part aux expériences utilisant le système GLONASS, le LASSO, les comparaisons horaires par aller et retour sur des satellites géostationnaires, et l'ExTRAS (Experiment on Timing, Ranging and Atmospheric Soundings, expérience aussi désignée sous l'expression « maser à hydrogène dans l'espace »), bien que la méthode des vues simultanées strictes des satellites du GPS reste celle qui est la plus utilisée pour l'établissement du TAI.

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° 22 a été implanté dans les récepteurs de temps du GPS le 13 décembre 1993 et le programme n° 23 entrera en vigueur le 30 juin 1994. Le BIPM collecte les données brutes et les traite de manière unifiée. Le BIPM utilise un réseau international de liaisons par le GPS qui s'articule selon deux liens à longue distance, entre le NIST et l'OP et entre le NAOT et l'OP, complétés par des réseaux locaux en forme d'étoile à l'échelle des continents. Pour les comparaisons à longue distance, les données sont corrigées à l'aide de mesures ionosphériques prises sur place, et d'éphémérides précises des satellites produites par l'IGS (International Geodynamics Service). La précision d'une mesure est de l'ordre de 2 ns pour les courtes distances et de l'ordre de 4 ns pour les longues distances.

Depuis plusieurs années le BIPM publie, dans *Circular T*, une évaluation des différences de temps quotidiennes [UTC – temps du GPS], obtenues à partir des seules données des satellites du bloc I. Depuis avril 1994, il n'est possible d'observer qu'un seul satellite du bloc I, aussi les valeurs quotidiennes [UTC – temps du GPS] sont-elles maintenant obtenues en lissant les données des satellites du bloc II qui ont une élévation supérieure à 30°. Les résultats sont moins précis (écarts-type journaliers de l'ordre de 12 ns au lieu des 3 ns obtenus auparavant) car l'accès sélectif est continuellement activé. Bien que nous ayons déjà montré qu'une restitution précise du temps du GPS était réalisable en utilisant les données de récepteurs multi-canaux qui décodent le code P [2], il n'est pas encore possible d'utiliser cette méthode car nous n'avons pas encore de source régulière et fiable de telles données.

Une part importante de nos activités courantes consiste en la vérification des retards internes différentiels entre les récepteurs du GPS fonctionnant de manière régulière dans les laboratoires qui participent au TAI, ou, sur demande spéciale, dans d'autres laboratoires. Deux campagnes d'étalonnage différentiel de récepteurs ont été réalisées au début de 1994 : d'une part entre le NPL (Teddington, Royaume-Uni) et l'OP (Paris, France), en janvier-février 1994 [17], d'autre part entre le NIST (Boulder, É.-U. d'Amérique) et l'OP, en février-mars 1994 [18]. Une autre campagne d'étalonnage a été réalisée en juin 1994, entre l'USNO (Washington DC, É.-U. d'Amérique) et l'OP, mais n'est pas encore publiée. Un circuit d'étalonnage différentiel en Europe, partant de l'OP et se terminant dans ce même laboratoire en passant par l'OCA (Grasse, France), le TUG (Graz, Autriche), le FTZ (Darmstadt, Allemagne), la PTB (Braunschweig, Allemagne), le NMi/VSL (Delft, Pays-Bas) et le NPL (Teddington, Royaume-Uni), est aussi prévu pour les mois de septembre et octobre 1994.

On continue à vérifier 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. L'écart à la fermeture présente encore un biais de quelques nanosecondes, pour les moyennes journalières, biais que l'on peut déterminer avec une précision meilleure qu'une nanoseconde. Avec le temps, les éphémérides précises des satellites fournies par l'IGS ne cessent de s'améliorer, ce qui explique l'amélioration observée dans la détermination de l'écart à la fermeture. Quant au biais résiduel, il résulte probablement d'erreurs dans les coordonnées des stations et dans l'utilisation de mesures ionosphériques obtenues à partir de récepteurs double-fréquence qui ne décodent pas. De tels systèmes sont sensibles aux effets de trajets multiples qui induisent des biais dans des directions particulières [5]. Ces biais ne sont pas moyennés quand on travaille sur la fermeture autour du monde car les seules observations utilisées sont celles qui correspondent aux directions est et ouest. Nous cherchons maintenant à évaluer ces biais.

Dans le cadre du Groupe de travail du CCDS sur la normalisation des comparaisons d'horloges utilisant le GPS (GGTTS), le BIPM a produit un effort considérable afin d'écrire noir-sur-blanc les directives techniques pour la normalisation du logiciel des récepteurs de temps du GPS, ainsi qu'un nouveau format pour les fichiers de données [6, 19]. La mise en œuvre de telles directives devrait aider à atteindre un niveau d'exactitude meilleur que la nanoseconde dans les comparaisons horaires par vues simultanées du GPS. En pratique, la mise au point des logiciels normalisés s'effectue au NIST; on en prévoit l'utilisation généralisée dans le monde pour la fin de 1994.

L'estimation du retard troposphérique constitue une autre de nos préoccupations. À l'heure actuelle, les récepteurs de temps du GPS utilisent des modèles simples de la troposphère que l'on considérait, encore très récemment, comme étant capables de fournir une estimation du retard troposphérique avec une incertitude de 1 ns à 2 ns. Cependant, des comparaisons réalisées récemment entre ces modèles et un modèle semi-empirique utilisant des mesures climatiques, ont montré des différences de plusieurs nanosecondes pour les régions humides et chaudes du globe [7]. Le travail sur ce sujet continue au BIPM.

4.3.2 Global Navigation Satellite System (GLONASS)

Des valeurs de [UTC – temps du GLONASS] sont publiées régulièrement dans la *Circular 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 a l'intention de produire, à la fin de l'année 1994, un programme international expérimental d'observation en vues simultanées des satellites du GLONASS.

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 troisième fois à Teddington (Royaume-Uni) les 20 et 21 octobre 1993. La réunion de Teddington a été consacrée à l'échange d'informations concernant l'exercice d'entraînement qui s'est déroulé en août 1993. On y a passé en revue l'équipement de chaque laboratoire et les modems disponibles, et l'on s'est mis d'accord sur un format unique pour l'échange des données. On a enfin organisé une campagne d'essai.

La campagne d'essai est une expérience de comparaison d'horloges par aller et retour sur le satellite Intelsat V-A(F13), stationnaire à 307°E, impliquant à la fois des laboratoires européens et nord-américains. Elle a débuté en janvier 1994 et doit durer un an. Les stations terrestres impliquées seront étalonnées, en septembre-octobre 1994, par utilisation d'une station portable. En même temps les équipements de réception de temps du GPS de ces laboratoires seront étalonnés différemment par transport d'un récepteur de temps du GPS fourni par le BIPM (voir 4.3.1). Ces étalonnages devraient permettre de vérifier les estimations qui ont été faites antérieurement à propos de l'exactitude de la technique par aller et retour.

4.3.4 Laser Synchronization from Satellite Orbit (LASSO)

Le BIPM a pris part à une expérience comparative de deux techniques de comparaison d'horloges, l'une utilisant des lasers visant un satellite (LASSO), et l'autre des vues simultanées des satellites du GPS, expérience réalisée entre le Texas et la France [8]. Les résultats de l'étalonnage des équipements laser des deux sites impliqués devraient être disponibles à la fin de 1994. On devrait pouvoir en déduire, pour la première fois, une estimation de l'exactitude de la technique LASSO.

4.3.5 Experiment on Timing Ranging and Atmospheric Soundings (ExTRAS)

L'expérience ExTRAS consiste à placer à bord d'un satellite météorologique russe, Meteor-3M, dont le lancement est prévu au début de 1997, deux masers à hydrogène actifs et auto-asservis. La communication entre les horloges du bord et les stations au sol est assurée par une liaison micro-onde utilisant la technique PRARE (Precise Range and Range-Rate Equipment), et par une liaison optique du type T2L2 (Time Transfer by Laser Link). Les techniques PRARE et T2L2 sont des versions améliorées des méthodes habituelles de comparaison par aller et retour et par LASSO. Associées à l'excellente stabilité à court terme des masers à hydrogène du bord, ces techniques devraient permettre de résoudre tout un ensemble

de problèmes scientifiques et techniques dans les domaines du temps, de la navigation, de la géodésie, de la géodynamique et de la physique de l'atmosphère terrestre.

En ce qui concerne la métrologie du temps, nous avons étudié les applications de l'expérience ExTRAS en tentant d'évaluer des bilans d'incertitude [10] : l'exactitude potentielle de l'expérience devrait se traduire par des incertitudes de l'ordre de 500 ps (1σ) pour la dissémination du temps et les comparaisons d'horloges terrestres.

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

L'application de la théorie de la relativité aux comparaisons d'horloges situées dans le voisinage de la terre a été développée à un niveau d'exactitude de l'ordre de la picoseconde. Les résultats ont été publiés [10, 11, 12] et présentés aux réunions PTTI 1993 et EFTF 1994.

Actuellement on s'occupe plus particulièrement de l'application de la théorie de la relativité à la syntonisation, à un niveau d'exactitude de 10^{-18} , d'une horloge par rapport au Temps coordonné géocentrique (TCG). Pour des horloges situées sur la terre, on est limité à une exactitude de quelques 10^{-17} à cause d'effets géophysiques mal connus (essentiellement le potentiel sur le géoïde). Cependant, tous les termes peuvent être calculés avec un niveau d'exactitude de 10^{-18} pour les horloges qui sont à bord de satellites terrestres [13]. Les résultats de ce travail permettront d'établir un cadre relativiste complet pour la réalisation du TCG avec un niveau de stabilité de 10^{-18} et pour la datation d'un événement en TCG avec une exactitude atteignant la picoseconde. Ceci devrait être suffisant pour profiter de tous les développements, en matière de technologie des horloges et de méthode de comparaisons horaires, attendus pour les années à venir.

Notre contribution au Groupe de travail du CCDS sur l'application de la relativité générale à la métrologie, a consisté en de nombreuses discussions avec B. Guinot, président de ce groupe de travail. Nous participons aussi à la préparation d'un texte qui constituera une partie du rapport final de ce groupe.

4.5 Pulsars (G. Petit, P. Tavella**)

Les pulsars milliseconde peuvent être utilisés comme des horloges stables, dont on peut traiter les données par un algorithme optimisé pour la stabilité afin d'établir une échelle de temps. Nous avons travaillé

* Étudiant en doctorat

** Stagiaire.

à comprendre comment une telle échelle de temps des pulsars peut être réalisée et quelles implications elle aurait sur le temps atomique. Un point important est qu'une échelle de temps des pulsars pourrait permettre de transférer d'une époque à une autre l'exactitude de la seconde atomique. Cela permettrait de remédier à certaines conséquences des pannes éventuelles des étalons atomiques.

Une collaboration est établie avec différents groupes de radioastronomes engagés dans les observations de pulsars, afin d'obtenir des données réelles. La section du temps leur a fourni, en mai 1994, la dernière version de sa réalisation en temps différé du temps terrestre, TT(BIPM94), et leur a occasionnellement apporté une aide. De plus, le corrélateur développé avec le CNES (Toulouse, France) (*voir* 4.6.2) pour la radio-interférométrie à très longue base a été adapté de manière à pouvoir obtenir des données de chronométrage des pulsars à partir de données radioastronomiques habituelles [14]. On étudie maintenant l'application de cette technique à l'obtention de données de nouveaux pulsars.

4.6 Autres activités

4.6.1 Laboratoire de temps (C. Thomas)

L'équipement du BIPM comprend un récepteur du temps du GPS, modèle TTR-4P commercialisé par la firme Allen-Osborne Associates. Cet appareil double fréquence, à plusieurs canaux de réception, à décodage du code P et qui rassemble la meilleure technologie disponible sur le marché, est actuellement comparé aux récepteurs traditionnels, à code C/A, en fonctionnement au BIPM. Les résultats sont décevants : le TTR-4P n'est pas plus stable que les récepteurs mono-fréquence qui travaillent en tandem avec un système de mesure ionosphérique. De plus, on le soupçonne de présenter une sensibilité anormale à la température extérieure. On continue donc à tester cet appareil.

Depuis janvier 1994, le BIPM dispose d'une horloge à césium commerciale HP 5071A de très haute stabilité, qui nous a été prêtée par la société Hewlett-Packard.

L'Institut géographique national (Saint-Mandé, France) a établi un réseau géodésique au BIPM. Ce réseau présente une précision interne de quelques millimètres et permet de déterminer les coordonnées des centres de phase des antennes du GPS avec une exactitude de l'ordre du centimètre dans un système de référence géocentrique [20].

4.6.2 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 astronomie. 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 le CNES (Toulouse, France) et l'Observatoire de Paris [15]. Nous participons aussi à l'organisation d'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., ALLAN D. W., A real-time prediction of UTC, In *Proc. 25th PTTI*, 1993, 217-230.
2. THOMAS C., The use of the AOA TTR-4P GPS receiver in operation at the BIPM for real-time restitution of GPS time, In *Proc. 25th PTTI*, 1993, 183-195.
3. LEWANDOWSKI W., GPS Common-View Time Transfer, In *Proc. 25th PTTI*, 1993, 133-148.
4. WEISS M. A., PETIT G., SHATTIL S., A comparison of GPS broadcast and DMA precise ephemerides, In *Proc. 25th PTTI*, 1993, 293-306.
5. THOMAS C., PETIT G., MOUSSAY P., Comparison between different dual-frequency GPS receivers measuring ionospheric delay for time and frequency applications, In *Proc. 8th EFTF*, 1994, 1012-1028.
6. ALLAN D. W., THOMAS C., Technical Directives for Standardization of GPS Time Receiver Software, *Metrologia*, 1994, **31**, 69-79.
7. LEWANDOWSKI W., GRUDLER P., BAUMONT F., Study of tropospheric correction for GPS common-view time transfer between the BIPM and the OCA, In *Proc. 8th EFTF*, 1994, 981-997.
8. LEWANDOWSKI W., PETIT G., BAUMONT F., FRIDELANCE P., GAIGNEBET J., GRUDLER P., VEILLET C., WIAN T. J., KLEPCZYNSKI W. J., Comparison of LASSO and GPS time transfers, In *Proc. 25th PTTI*, 1993, 357-366.
9. THOMAS C., UHRICH P., ExTRAS impact on time metrology, *ESA Report*, 1994, 17 pages.
10. PETIT G., WOLF P., Relativistic theory for picosecond time transfer in the vicinity of the Earth, In *Proc. 25th PTTI*, 1993, 205-215.
11. PETIT G., WOLF P., Relativistic theory for picosecond time transfer in the vicinity of the Earth, *Astron. Astrophys.*, 1994, **286**, 971-977.
12. PETIT G., WOLF P., Relativistic theory for picosecond time transfer in the vicinity of the Earth, In *Proc. 8th EFTF*, 1994, 407-416.
13. WOLF P., PETIT G., Realization of TCG, TT and TCB, using hyperstable clocks : limits from geophysical and astronomical constants, In *Journées 1994 Systèmes de Référence Spatio-Temporels*, 1994, 41-46.

14. PETIT G., FAYARD T., Validation of the CNES VLBI correlator and its use for millisecond pulsar astrometry, In *Proc. 9th meeting on European VLBI for geodesy and astrometry*, 1993, 129-132.
15. FAYARD T., PETIT G., The CNES VLBI soft-correlator, In *Proc. 9th meeting on European VLBI for geodesy and astrometry*, 1993, 123-128.
16. PETIT G., FAYARD T., A Programmable VLBI Correlator Using Parallel Computing, In *VLBI Technology, Progress and Future Observational Possibilities*, Sasao T., Manabe S., Kemeya O., Inoue M. eds, Terra Scientific Pub., 1993, 332-337.

4.7.2 Rapports BIPM

17. THOMAS C., MOUSSAY P., Determination of differential time correction between the GPS time receivers located at the Paris Observatory, Paris, France, and the National Physical Laboratory, Teddington, United Kingdom, *Rapport BIPM-94/2*, 1994, 12 pages.
18. THOMAS C., MOUSSAY P., Determination of the differential time correction between the GPS time receivers located at the Paris Observatory, Paris, France, and the National Institute of Standards and Technology, Boulder, Colorado, USA, *Rapport BIPM-94/3*, 1994, 12 pages.
19. THE GROUP ON GPS TIME TRANSFER STANDARDS, Technical Directives for Standardization of GPS Time Receiver Software, *Rapport BIPM-93/6*, 1993, 32 pages.
20. PETIT G., Détermination d'un réseau géodésique au BIPM, liaison avec le système de référence ITRF, *Rapport BIPM-94/8*, 1994, 5 pages.

4.7.3 Conférences et exposés

W. Lewandowski a participé aux réunions du Comité civil du GPS à Salt Lake City (Utah, É.-U. d'Amérique), les 20 et 21 septembre 1993, et à Falls Church (Virginie, É.-U. d'Amérique), les 2 et 3 juin 1994. Il y a présenté des résultats d'études récentes sur les comparaisons d'horloges par le GPS, le GLONASS, le LASSO et la méthode par aller et retour. Il a aussi donné un exposé sur le sujet « Common-View Time Transfer : Uncertainty Sources, Practical Operational Requirements, and Experimental Results » le 1^{er} décembre 1993 à Marina Del Rey (Californie, É.-U. d'Amérique), lors de la 25^e réunion du PTTI.

G. Petit a fait une présentation sur les échelles de temps atomique et le chronométrage des pulsars lors de la session JA1 de l'Assemblée générale de l'URSI à Kyoto (Japon), le 27 août 1993. Il a aussi fait deux présentations sur les développements actuels des méthodes de comparaison d'horloge et sur l'analyse des données de pulsars milliseconde réalisée au BIPM, lors de la session JD8 de l'Assemblée générale de l'UAI à La Haye (Pays-Bas), le 20 août 1994.

C. Thomas a fait une conférence sur le temps à Lyon (France) dans le cadre d'une exposition culturelle intitulée « Le temps, l'homme et l'univers ». Elle a aussi donné un cours de deux jours sur la métrologie du temps au Centre d'essais de la Méditerranée (Toulon, France).

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

W. Lewandowski s'est rendu :

— à Salt Lake City (Utah, É.-U. d'Amérique), du 22 au 24 septembre 1993, pour assister à la 6^e réunion internationale de la Satellite Division de l'Institute of Navigation (ION GPS-93);

— à Teddington (Royaume-Uni), les 20 et 21 octobre 1993, pour participer à la réunion du Groupe de travail du CCDS sur les comparaisons horaires par aller et retour sur satellite;

— à Marina Del Rey (Californie, É.-U. d'Amérique), du 29 novembre au 2 décembre 1993, pour assister à la 25^e réunion du PTTI;

— à Laguna Hills (Californie, É.-U. d'Amérique), le 3 décembre 1993, pour visiter la compagnie 3S Navigation et discuter des comparaisons horaires par le GLONASS;

— à Munich-Weihenstephan (Allemagne), du 9 au 11 mars 1994, pour assister au 8^e Forum européen fréquence et temps et pour participer à la réunion du Groupe de coordination du LASSO;

— à Washington DC (É.-U. d'Amérique), du 28 mai au 1^{er} juin 1994, pour une campagne d'étalonnage différentiel du GPS entre l'USNO et l'OP.

P. Moussay s'est rendu :

— à Teddington (Royaume-Uni), du 3 au 11 février 1994, pour une campagne d'étalonnage différentiel des récepteurs du temps du GPS fonctionnant au NPL et à l'OP.

G. Petit s'est rendu :

— à Kashima (Japon), le 23 août 1993, et à Koganei (Japon), le 24 août 1993, pour discuter avec les chercheurs du CRL;

— à Kyoto (Japon), du 25 août au 2 septembre 1993, pour assister à la 24^e Assemblée Générale de l'URSI;

— à Kyoto (Japon), du 6 au 10 septembre 1993, pour assister à un symposium, organisé conjointement par l'URSI et l'UAI sur la technologie du VLBI;

— à Bad Neuenahr (Allemagne), du 30 septembre au 1^{er} octobre 1993, pour assister à la 9^e réunion sur l'astronomie et la géodésie européenne;

— à Toulouse (France), du 14 au 16 décembre 1993, du 10 au 12 janvier 1994, du 16 au 19 mai 1994, du 27 au 29 juillet 1994 et les 30 août et 1^{er} septembre 1994 pour traiter des données de pulsars au CNES;

— à Munich-Weihenstephan (Allemagne), du 9 au 11 mars 1994, pour assister au 8^e Forum européen fréquence et temps;

— à Paris (France), les 13 et 14 juin 1994, pour assister aux Journées 1994 sur les Systèmes de référence spatio-temporels ;

— à Boulder (Colorado, É.-U. d'Amérique), du 27 juin au 1^{er} juillet 1994, pour assister à la réunion de la CPEM'94 ;

— à La Haye (Pays-Bas), du 18 au 22 août 1994, pour assister à la 22^e Assemblée générale de l'UAI.

C. Thomas s'est rendue :

— à Noordwijk (Pays-Bas), les 29 et 30 juin 1993 pour participer à l'atelier sur les masers à hydrogène dans l'espace, organisé par l'ESA ;

— à Marina Del Rey (Californie, É.-U. d'Amérique), du 29 novembre au 3 décembre 1993, pour assister à la 25^e réunion du PTTI ;

— à Toulouse (France), le 18 février 1994, pour participer à une réunion sur le Complément européen au GPS, qui s'est tenue au CNES ;

— à Paris (France), le 10 mars 1994, pour participer au Conseil scientifique national du Service international de la rotation de la terre ;

— à Paris (France), le 26 avril 1994, pour participer à une réunion sur l'expérience ExTRAS, organisée par l'ESA.

P. Wolf s'est rendu :

— à Noordwijk (Pays-Bas), les 29 et 30 juin 1993, pour participer à l'atelier sur les masers à hydrogène dans l'espace, organisé par l'ESA ;

— à Londres (Royaume-Uni), du 6 au 8 octobre 1993, pour travailler avec le Prof. I. W. Roxburgh et A. G. Polnarev au Queen Mary and Westfield College ;

— à Meudon (France), le 29 octobre 1993, et à Paris (France), le 8 mars 1994, pour assister à des journées de conférences et de discussion sur les expériences en gravimétrie, organisées par le Groupe de recherche sur la gravitation ;

— à Marina Del Rey (Californie, É.-U. d'Amérique), du 29 novembre au 3 décembre 1993, pour assister à la 25^e réunion du PTTI ;

— à Paris (France), les 13 et 14 juin 1994, pour assister aux Journées 1994 sur les Systèmes de référence spatio-temporels.

4.8 Activités en liaison avec des organismes extérieurs

W. Lewandowski participe aux travaux de l'UGGI et représente le 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. Il est membre du Conseil scientifique du GRGS (France), et membre du Comité national français de géodésie et géophysique.

C. Thomas est membre du Comité national français de géodésie et géophysique.

4.9 Visiteurs de la section du temps

4.9.1 Stagiaire

P. Wolf a poursuivi son stage de Postgraduate Research Student dans la section du temps, commencé le 5 octobre 1992.

4.9.2 Visiteurs

M. R. S. Foster (NRL, Washington DC, É.-U. d'Amérique), le 4 octobre 1993.

M. M. A. Weiss (NIST, Boulder, É.-U. d'Amérique), du 4 au 7 mars 1994.

M. D. W. Allan (Allan's TIME, Green Fountain, Utah, É.-U. d'Amérique), le 14 mars 1994.

M. J. Nawrocki (AOS, Borowiec, Pologne), le 23 mars 1994.

M. D. Sennedot (DCN, Brest, France), le 18 mai 1994.

M. Y. Mervin (DCN, Brest, France), le 21 juin 1994.

MM. J. Lopez et J. Figueroa (CENAM, Mexico, Mexique), le 21 juillet 1994.

M. L. Breakiron (USNO, Washington DC, É.-U. d'Amérique), le 7 septembre 1994.

M. A. Shenhar (INPL, Jérusalem, Israël), le 8 septembre 1994.

5. Électricité (T. J. Witt)

5.1 Résumé des travaux de la section d'électricité

Parmi les points marquants des activités de cette année 1993-1994 se trouve la première comparaison directe d'étalons à réseau de jonctions de Josephson de 10 V au moyen d'un appareillage Josephson transportable. Cette comparaison a été faite au BNM/LCIE (Fontenay-aux-Roses, France). L'écart relatif mesuré était seulement de $1,2 \times 10^{-10}$ entre les étalons Josephson de 10 V des deux laboratoires avec une incertitude-type relative totale de $1,2 \times 10^{-10}$. Un instrument de transfert de tension à faible bruit a été réalisé pour être utilisé avec le réseau Josephson de 10 V. En décembre 1993, nous avons emporté au BNM/LCIE notre étalon de résistance à effet Hall quantique (étalon EHQ), appareillage transportable comprenant le cryostat, l'aimant supraconducteur et le pont de mesure de résistances, et nous avons mené à bien la première comparaison sur place d'étalons

EHQ. L'écart relatif était seulement de quelques 10^{-9} entre les mesures faites avec les deux systèmes, avec une incertitude type relative totale de la même valeur. Les étalons transportables à effet Josephson et à EQH permettent donc tous deux d'établir la traçabilité entre laboratoires avec des précisions meilleures, par un ordre de grandeur ou plus, que celles obtenues à l'aide des étalons voyageurs traditionnels.

Des progrès importants ont été faits dans la mesure de la résistance de Hall quantifiée (RHQ) en courant alternatif jusqu'à des fréquences de plusieurs kilohertz. À 1,6 kHz, on a observé des portions de plateaux de résistance sur lesquelles les variations relatives restent inférieures à 1×10^{-8} . De 1 Hz à 1,6 kHz, les variations relatives du rapport entre la RHQ et la résistance d'un étalon spécialement construit pour l'usage en courant alternatif n'ont pas dépassé 2×10^{-7} .

Les mesures de la variation de la tension de sortie en fonction de l'humidité sur des étalons à diode de Zener de 1,018 V, du type le plus communément employé dans les laboratoires de métrologie, ont maintenant donné des résultats. Sur les deux étalons Zener que nous avons étudiés, une diminution de l'humidité relative de 0,10 provoque une *augmentation* de la tension de sortie de 1,0 μV ou de 1,5 μV .

Les laboratoires nationaux sont intéressés par notre programme de comparaisons bilatérales d'étalons électriques de base et quatre laboratoires y ont participé cette année.

5.2 Potentiel électrique

5.2.1 Effet Josephson (D. Reymann)

Une partie importante de notre temps a été consacrée au système de mesures utilisant le réseau de jonctions de Josephson de 10 V. Nous avons construit une nouvelle source de tension de 10 V à faible bruit pour servir de dispositif de transfert entre un étalon Zener et le réseau de 10 V. Ce dispositif permet de découpler de façon efficace le réseau du bruit dû à l'étalon Zener et améliore la stabilité des marches de tension. Il est constitué d'une source électronique de courant produisant 10 mA à travers deux résistances de 80 Ω et de 1000 Ω montées en séries. Un jeu de huit piles à mercure est utilisé comme référence pour améliorer la stabilité de la tension aux bornes de ces deux résistances d'un facteur 450 par rapport à la source seule. Une différence de potentiel de 10 V à faible bruit est obtenue aux bornes de la résistance de 1000 Ω , qui n'est pas constante, mais dérive régulièrement d'environ 4 $\mu\text{V}/\text{h}$. Cette valeur, bien qu'acceptable, est environ trois fois supérieure à la valeur attendue et nous essayons de trouver un fabricant de piles plus stables. Le bruit de crête à crête du dispositif de transfert est de 40 nV. Le circuit est placé dans une enceinte thermorégulée; les commutateurs inverseurs et connexions pour le réseau, l'étalon Zener et le détecteur sont à faible force électromotrice thermique.

Des incertitudes-types relatives de quelques 10^{-9} ont été obtenues avec ce dispositif, en majeure partie dues à l'instabilité des étalons Zener.

Pour vérifier l'exactitude de notre système à réseau de 10 V, et pour démontrer la faisabilité des comparaisons d'étalons Josephson de 10 V par transport de l'équipement du BIPM, nous avons fait une comparaison en deux parties avec le BNM/LCIE. Au cours de la première partie, des étalons de Zener de 10 V furent échangés et mesurés le même jour dans chacun des deux laboratoires; la différence relative mesurée et l'incertitude-type relative ont été respectivement égales à 5×10^{-9} et 3×10^{-9} . Au cours de la seconde partie, l'équipement du BIPM a été transporté au LCIE; les comparaisons ont été faites soit à l'aide du dispositif de transfert du BIPM, soit directement; le résultat, exprimé comme la différence entre les valeurs qui seraient attribuées à un même étalon de 10 V par les deux laboratoires, et l'incertitude-type totale sont :

$$U_{\text{BNM/LCIE}} - U_{\text{BIPM}} = 1,2 \text{ nV} \quad s = 1,2 \text{ nV.}$$

Ceci correspond, en valeur relative, à $(1,2 \pm 1,2) \times 10^{-10}$.

Au cours de notre travail sur les réseaux de 10 V, nous avons parfois observé des tensions parasites en série avec la tension de Josephson. Ces tensions, de l'ordre de quelques microvolts, augmentent avec la puissance des micro-ondes. Elles semblent dues au redressement du courant micro-onde au niveau des contacts imparfaits entre les réseaux et les fils des montures. Les contacts semblent se dégrader au cours du temps, et des méthodes ont été mises au point pour les vérifier. Un démontage permet quelquefois de restaurer leur qualité.

5.2.2 Étude des effets de l'humidité sur les étalons à diode de Zener (T. J. Witt)

Deux enceintes régulées en humidité ont été construites pour étudier la variation en fonction de l'humidité de la tension de sortie de 1,018 V d'étalons Zener. Comme il était nécessaire de stabiliser l'humidité relative avec précision et pendant des périodes de 60 jours ou plus, une électronique de régulation a été construite qui utilise des capteurs capacitifs sélectionnés et étalonnés. Les étalons Zener que nous avons étudiés sont du type utilisé pour les mesures par effet Josephson dans les laboratoires nationaux et comme étalons voyageurs par la plupart des laboratoires qui envoient des étalons Zener à mesurer au BIPM. Bien que ne les utilisant pas pour nos propres mesures par effet Josephson à 1,018 V, les étalons Zener font l'objet de mesures, faites avec le dispositif du BIPM et celui de l'autre laboratoire, dans la routine actuelle des comparaisons internationales d'étalons Josephson.

Des mesures de la tension de sortie en fonction de l'humidité relative ont été faites sur deux de nos trois étalons Zener. Pour le premier on

a observé un changement de la tension de sortie de $-1,5 \mu\text{V}$ après une augmentation de l'humidité relative de 0,43 à 0,52, puis de $+1,0 \mu\text{V}$ après une diminution de 0,50 à 0,40. La durée nécessaire pour que la tension atteigne sa valeur finale, à $1/e$ près, a été de 19 jours dans le premier cas et de 30 jours dans le second. On a observé pour le second étalon Zener des comportements qualitativement similaires. Un tel comportement peut être la cause d'erreurs significatives lors d'étalonnages ou de comparaisons entre laboratoires.

5.2.3 Réduction des forces électromotrices thermiques des relais électro-mécaniques (T. J. Witt)

Le comparateur automatique de piles étalons a maintenant été en service depuis plus de dix ans. Comme attendu lors de la conception de l'appareil, les forces électromotrices thermiques des relais contenus dans la partie critique de la mesure des tensions ont augmenté au cours de cette longue période. En outre, on a observé des augmentations de quelques dizaines de nanovolts de ces forces électromotrices, d'une série à la suivante, au cours de séries de mesures consécutives de groupes de piles. Les deux phénomènes sont probablement dus à l'usure des contacts des relais. On a décidé de réduire la conduction thermique entre la bobine et les contacts sensibles des relais et de remplacer les contacts d'origine en rhodium doré par des contacts en cuivre doré. Des essais intensifs ont été faits sur des périodes de plus de 24 heures et on n'a pas observé, pour les forces électromotrices thermiques, de tendance à augmenter au cours du temps. La valeur moyenne de ces forces électromotrices était de 0 nV avec une incertitude-type de 2 nV.

5.3 Résistance électrique (F. Delahaye)

5.3.1 Comparaisons internationales d'étalons de résistance fondés sur l'effet Hall quantique

L'étalon de résistance fondé sur l'effet Hall quantique (EHQ) transportable du BIPM, étalon qui a été assemblé en 1992-1993, a été apporté au BNM/LCIE en décembre 1993. L'équipement transporté comprend deux échantillons pour l'effet Hall quantique montés sur une canne cryogénique, un cryostat contenant un aimant supraconducteur avec un anticryostat, et un pont fondé sur un comparateur de courants alternatifs de fréquence 1 Hz fonctionnant à température ambiante. Trois résistances étalons de 1Ω , 100Ω et $10\,000 \Omega$ ont été également apportées au BNM/LCIE et mesurées avec les étalons EHQ des deux laboratoires. Ainsi, et pour la première fois, il a été possible de comparer les résultats de mesures réalisées avec deux étalons EHQ entièrement distincts en un même lieu et de façon pratiquement simultanée. Une telle comparaison ne

dépend plus de la stabilité d'étalons voyageurs de résistance transportés entre les mesures. Le manque de stabilité de ces étalons était jusqu'à présent la source principale d'incertitude lors des comparaisons de mesures précises fondées sur l'effet Hall quantique. Le pont de mesure de rapport de résistance du BIPM fonctionne à 1 Hz. Le BNM/LCIE utilise un pont fondé sur un comparateur cryogénique de courant (CCC) fonctionnant en courant continu. Il est donc essentiel de connaître la différence des valeurs de résistance en courant continu et à 1 Hz pour les trois étalons utilisés et d'appliquer les corrections correspondantes avant de comparer les résultats des mesures du BIPM et du BNM/LCIE. Ces différences ont été évaluées au BIPM en mesurant chacune des résistances en fonction de la résistance de Hall quantifiée avec le pont transportable fonctionnant à 1 Hz et avec le pont à CCC du BIPM fonctionnant en courant continu. Pour les résistances utilisées, la différence relative entre le courant continu et 1 Hz est faible, de l'ordre de quelques 10^{-9} pour les étalons de 100Ω et de $10\,000 \Omega$ et de 1×10^{-8} pour l'étalon de 1Ω .

Un rapport présentant les résultats détaillés de cette comparaison a été présenté à la conférence CPEM'94. Les résultats sont tout à fait satisfaisants : l'écart relatif entre les deux laboratoires est de l'ordre de quelques 10^{-9} , ce qui est compatible avec l'incertitude estimée, qui est du même ordre. En particulier, les valeurs attribuées à la résistance étalon de 100Ω , qui a été rattachée directement à la résistance de Hall quantifiée correspondant au nombre quantique $i = 2$, sont en accord à 2×10^{-9} près avec une incertitude-type totale de 3×10^{-9} .

5.3.2 Mesures de la résistance de Hall quantifiée en courant alternatif à des fréquences de l'ordre du kilohertz

Le projet commencé l'année dernière et ayant pour but l'étalonnage de condensateurs étalons en fonction de la résistance de Hall quantifiée a été poursuivi. On a mené des investigations afin de déterminer si les échantillons de Hall peuvent être utilisés comme étalons de résistance en courant alternatif à des fréquences de l'ordre de 1 kHz. Le rapport entre la résistance de Hall quantifiée ($12\,906 \Omega$ pour $i = 2$) d'une hétérostructure à base de GaAs et une résistance de référence pour courant alternatif (de type Vishay) de même valeur nominale a été mesuré pour des fréquences de 1 Hz à 1,6 kHz. À 1 Hz les mesures ont été faites avec le pont à comparateur de courant alternatif. De 400 Hz à 1,6 kHz elles ont été faites avec un pont coaxial incluant un diviseur de tension inductif de rapport 1/1. Le pont coaxial a été spécialement conçu pour être utilisé avec des résistances de Hall quantifiées définies comme des impédances à quatre paires de bornes. Les résistances quantifiées de deux hétérostructures provenant d'une même galette ont été comparées par substitution dans le pont coaxial.

Les premiers résultats sont encourageants. Pour des fréquences jusqu'à au moins 1,6 kHz et pour un courant de valeur efficace $40 \mu\text{A}$ les plateaux

de résistance de Hall des deux échantillons présentent une région plate pour laquelle la résistance est indépendante de l'induction magnétique à 1×10^{-8} près. Des mesures précises, réalisées avec l'induction magnétique ajustée à une valeur correspondant au centre de la région plate, ont montré que le rapport entre la résistance de Hall du premier échantillon et la résistance de référence varie de moins de 2×10^{-7} de 1 Hz à 1,6 kHz, une partie significative de la variation étant probablement due aux variations avec la fréquence de la résistance de référence elle-même. Les résistances quantifiées des deux échantillons sont en accord à 1×10^{-8} près de 1 Hz à 800 Hz mais à 1,6 kHz une différence significative et quelque peu instable, de valeur moyenne 3×10^{-8} , a été observée. Un autre problème est l'existence de résonances assez aiguës entre 2 kHz et 3 kHz, pour lesquelles la résistance quantifiée apparente s'écarte de sa valeur nominale de quelques 10^{-6} . Ces résonances sont interprétées comme des résonances mécaniques des fils soudés sur l'échantillon sous l'effet de la force d'Ampère due au passage du courant alternatif en présence d'une induction magnétique élevée (10 T). Des travaux complémentaires sont nécessaires pour résoudre ces problèmes.

5.4 Comparaisons bilatérales d'étalons électriques au BIPM (T. J. Witt)

Un schéma de comparaisons bilatérales d'étalons électriques a été introduit l'an dernier (*voir* Rapport du directeur 1993) comme moyen de comparaison plus rigoureux permettant aux laboratoires qui le désirent de montrer la traçabilité de leurs étalons électriques de base à ceux du BIPM. Les résultats et incertitudes en seront publiés, sous forme de tableaux dans les *Procès-verbaux du CIPM* et dans *Metrologia*. Les tableaux ci-dessous donnent les résultats des comparaisons bilatérales faites depuis l'année dernière. Comme d'habitude, ceux-ci sont donnés sous la forme $Q_{LAB} - Q_{BI}$, différence entre les valeurs de la quantité Q (tension ou résistance) attribuées à un étalon par le laboratoire désigné et par le BIPM. La quantité s représente l'incertitude-type totale combinée de la comparaison. La colonne de droite indique si, à la suite de la comparaison, le laboratoire a choisi de modifier la valeur attribuée à sa référence de manière à ramener à zéro la différence $Q_{LAB} - Q_{BI}$.

ÉTALONS DE TENSION

Laboratoire	Date	1,018 V		10 V		change- ment
		$(U_{LAB} - U_{BI})/\mu V$	$s/\mu V$	$(U_{LAB} - U_{BI})/\mu V$	$s/\mu V$	
INETI (Lisbonne)	1992-12-11	0,23	0,29			oui
BEV (Vienne)	1993-08-21			5,0	6,4	non
BEV (Vienne)	1993-09-13	- 0,10	0,70			non
FORBAIRT (Dublin)	1994-03-27			0,31	2,5	non
FORBAIRT (Dublin)	1994-03-31	- 0,09	0,51			non

ÉTALONS DE RÉSISTANCE

Laboratoire	Date	1 Ω		10 k Ω		change- ment
		$(R_{LAB} - R_{BI})/\mu\Omega$	s/ $\mu\Omega$	$(R_{LAB} - R_{BI})/c\Omega$	s/c Ω	
BEV (Vienne)	1993-08-21	0,05	0,30	0,02	0,65	non
NMS (Oslo)	1993-12-14	0,057	0,085			oui
INETI (Lisbonne)	1994-01-19	0,18	0,37			non
FORBAIRT (Dublin)	1994-03-28	0,03	0,40	0,06	0,80	non

5.5 Étalonnages de routine

Cette année les étalonnages courants ont porté sur le matériel suivant : piles nues pour l'Autriche et la Bulgarie ; piles dans une enceinte thermorégulée pour l'Égypte ; étalons à diode de Zener de 1,018 V ou de 10 V pour l'Autriche, la Belgique, le Brésil, l'Irlande, le Portugal et la République tchèque ; résistances de 1 Ω pour la Belgique, la Bulgarie, l'Irlande, la Norvège et la République tchèque ; résistances de 10 k Ω pour la Belgique, la Bulgarie, l'Irlande et la République tchèque.

5.6 Publications, conférences et voyages : section d'électricité

5.6.1 Publications extérieures

1. REYMANN D., FELLER U., DE LA COURT P., WITT T. J., Comparisons of the Josephson Voltage Standard of the BIPM with those of the OFM and the NMi, *Metrologia*, 1993, **31**, 45-48.
2. REYMANN D., LO-HIVE J.-P., GENEVÈS G., A Comparison of One Volt Josephson Junction Array Voltage Standards Driven by a Common Microwave Source, *Metrologia*, 1993, **31**, 35-37.

5.6.2 Conférences et exposés

T. J. Witt a donné deux conférences intitulées « Le BIPM et les unités SI » et « Quelques activités du BIPM dans le domaine des comparaisons internationales » à l'atelier de formation du centre de métrologie du Commonwealth de l'Inde au NPLI (New Delhi, Inde), le 26 mai 1994. Il a donné une conférence intitulée « Quelques comparaisons internationales faites par le BIPM » à l'IEN (Turin, Italie), le 25 juillet 1994.

T. J. Witt, F. Delahaye et D. Reymann ont participé à la CPEM'94 (Boulder, É.-U. d'Amérique), du 27 juin au 1^{er} juillet 1994, et y ont été auteurs ou co-auteurs des communications suivantes :

« A review of realizations and comparisons of Josephson array voltage standards » (T. J. Witt), invité, *CPEM'94 Digest*, 1994, 262 ;

« A study of the stability of some Zener-diode based voltage standards » (T. J. Witt, D. Reymann et D. Avrons), *CPEM'94 Digest*, 1994, 274-275 ;

« A transfer device for 10 V Josephson array measurements » (D. Reymann et D. Avrons), *CPEM'94 Digest*, 1994, 49-50 ;

« Comparisons of 10 V Josephson array voltage standards between the BNM/LCIE and the BIPM » (J.-P. Lo-Hive, D. Reymann et G. Genevès), *CPEM'94 Digest*, 1994, 91-92 ;

« DC and AC quantum Hall measurements » (F. Delahaye, invité), *CPEM'94 Digest*, 1994, 107 ;

« Comparison of quantum Hall effect resistance standards of the BNM/LCIE and the BIPM » (F. Delahaye, T. J. Witt, F. Piquemal et G. Genevès), *CPEM'94 Digest*, 1994, 134-135.

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

F. Delahaye a participé à deux réunions du Groupe de travail de la CEI chargé de la révision du vocabulaire des notions fondamentales en électrotechnique, à Darmstadt (Allemagne), du 18 au 20 octobre 1993, et à Genève (Suisse), du 14 au 18 mars 1994.

T. J. Witt a participé à la 6^e réunion des correspondants en électricité d'EUROMET au NPL (Teddington, Royaume-Uni), les 19 et 20 octobre 1993.

T. J. Witt a participé à la conférence « British electromagnetic measurements » au NPL (Teddington, Royaume-Uni), le 2 novembre 1993.

F. Delahaye a visité le LCIE (Fontenay-aux-Roses, France), pour une comparaison d'étalons EHQ, du 9 au 20 décembre 1993. Il a été accompagné par T. J. Witt du 9 au 13 décembre 1993.

T. J. Witt, F. Delahaye et D. Reymann ont participé à la seconde réunion d'EUROMET sur les dispositifs à effet tunnel monoélectronique et les étalons quantiques de courant au BNM/LCIE (Fontenay-aux-Roses, France), les 8 et 9 mars 1994. Ils ont visité le groupe d'électronique quantique du CEA (Saclay, France), l'après-midi du 9 mars 1994.

D. Reymann a visité le LCIE (Fontenay-aux-Roses, France), pour une comparaison de réseaux Josephson de 10 V, du 28 mars au 8 avril 1994.

T. J. Witt a visité les laboratoires du NPLI (New Delhi, Inde), les 26 et 27 mai 1994 et l'Electronics Regional Test Laboratory (North) (New Delhi, Inde), le 27 mai 1994.

T. J. Witt a visité les laboratoires de l'IEN (Turin, Italie) et a participé à une réunion du conseil scientifique de l'IEN les 25 et 26 juillet 1994.

5.7 Activités en liaison avec des organismes extérieurs

T. J. Witt est membre du Comité de programme technique de la CPEM'94 et du comité exécutif de la CPEM. Il a également présidé une

session sur les étalons Josephson de tension à la CPEM. Il a été nommé membre du conseil scientifique de l'IEN (Turin, Italie) en juillet 1994.

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

5.8 Visiteurs de la section d'électricité

M. G. Slanar (BEV, Vienne, Autriche), le 25 octobre 1993.

M. R. B. Frenkel (CSIRO, Lindfield, Australie), le 25 octobre 1993.

M. Tore Sørnsdal (NMS, Oslo, Norvège), le 27 octobre 1993.

M. Kyu-Tai Kim (KRISST, Taejon, Rép. de Corée), le 29 octobre 1993.

M. O. Petersons (NIST, Gaithersburg, É.-U. d'Amérique), le 5 novembre 1993.

M. T. Endo (ETL, Tsukuba, Japon), les 9 et 10 mars 1994.

M. T. Leahy (FORBAIRT, Dublin, Irlande), le 6 mai 1994.

MM. R. E. Hebner, A. H. Cookson, R. E. Harris et E. R. Williams (NIST, Gaithersburg et Boulder, É.-U. d'Amérique), le 27 mai 1994.

Mme I. Delgado (CEN, Madrid, Espagne), le 21 juillet 1994.

M. P. Chrobok (CMI, Prague, Rép. tchèque), le 23 août 1994.

M. M. Lobo (INETI, Lisbonne, Portugal), le 14 septembre 1994.

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

6.1 Radiométrie (R. Köhler, R. Goebel)

La comparaison internationale de sensibilité spectrale de photodiodes au silicium, commencée en 1991, s'est achevée en 1994. Un projet de rapport, présentant les résultats de la comparaison des photodiodes au silicium et des récepteurs pièges provenant des quatorze laboratoires participant à la première partie de la comparaison et comportant une annexe qui donne les résultats obtenus pour les récepteurs des quatre participants à la deuxième partie, a été préparé et envoyé aux laboratoires participants. La version finale corrigée, tenant compte des commentaires des participants, a été soumise au Comité consultatif de photométrie et radiométrie.

Un résultat supplémentaire a été tiré de cette comparaison internationale. Il s'agit de l'observation de l'effet de vieillissement des photodiodes au silicium consécutif à l'exposition au rayonnement ultraviolet. Après l'achèvement de la comparaison quelques mesures supplémentaires ont été faites afin d'étudier plus spécifiquement cet effet. On a trouvé que la modification de la réponse observée pour un récepteur dépend essentiellement de la longueur d'onde du rayonnement ultraviolet et de la durée d'exposition, mais qu'elle ne dépend pas du niveau d'irradiation. La variation de réponse semble être un effet interne aux récepteurs : elle

ne dépend pas des propriétés de la surface puisque des mesures de la réflectance de la surface frontale pendant l'exposition ne montrent aucune variation.

Un radiomètre cryogénique de type commercial a été acheté à la Société Oxford Instruments. Il s'agit d'un nouveau type de radiomètre : un certain nombre de caractéristiques de sa conception résultent de discussions qui se sont déroulées, à l'initiative du BIPM, entre les utilisateurs potentiels et les fabricants de ce type d'instrument. Les équipements auxiliaires nécessaires (installation pour le vide, composants électroniques, etc.) ont été conçus et construits au BIPM. L'ensemble a été monté en janvier 1994 ; il est maintenant en état de marche. Des essais nombreux et variés sont effectués pour en étudier la répétabilité et l'exactitude. Actuellement la répétabilité relative est de l'ordre de $2,5 \times 10^{-5}$ sur une série de six cycles de substitution électrique lors d'une mesure de puissance de rayonnement par comparaison avec l'ancienne référence radiométrique absolue du BIPM, un récepteur QED-200. Les résultats de séries de mesures portant sur plusieurs jours peuvent toutefois différer de 1×10^{-4} d'un jour à l'autre. Les raisons de ces différences ne sont pas connues et font l'objet de recherches en cours.

Peu après la livraison de notre radiomètre cryogénique, un autre instrument, de conception identique, qui devait être livré au CSIRO (Sydney, Australie), a été envoyé au BIPM pour des essais. Bien que le délai dont nous avons disposé ait été trop court pour comparer leurs réponses avec précision, un certain nombre de mesures utiles ont été faites et nous ont permis d'améliorer la compréhension que nous avons du comportement de ces instruments.

Une comparaison avec un autre radiomètre cryogénique commercial, de type CRI Laserad, appartenant à l'INM (Paris, France), a été faite au commencement du mois de juillet 1994 au BIPM. C'était la première comparaison directe des seuls radiomètres cryogéniques que l'on trouve dans le commerce. Ces deux radiomètres, de modèle différent mais fonctionnant sur le même principe, donnent des résultats qui concordent à $1,8 \times 10^{-4}$ près. La différence de réponse des deux systèmes se situe juste dans la limite d'incertitude donnée par les fabricants, mais les incertitudes de type A sont bien inférieures à la différence mesurée, ce qui indique un effet systématique.

En photométrie, les étalons de travail pour les mesures de température de répartition ont été comparés avec le groupe de lampes utilisées lors de la première comparaison internationale de température de répartition (1963-1964).

6.2 Thermométrie et manométrie (R. Köhler)

Suite à une décision prise par le Comité consultatif de thermométrie (CCT) lors de sa 18^e session en septembre 1993, une comparaison de

cellules à point triple de l'eau a commencé. Des cellules ont été achetées aux É.-U. d'Amérique (Jarret) et en Russie (VNIIM). D'autres cellules, provenant de la République de Corée (KRISSE), d'Italie (IMGC) et du Royaume-Uni (NPL) ont été apportées au BIPM par ces laboratoires. Toutes ces cellules ont été mesurées au BIPM; elles circuleront ensuite en deux groupes comportant chacun trois cellules. Chaque groupe fera l'objet de mesures dans trois laboratoires différents avant d'être renvoyé au BIPM; les cellules y feront l'objet de nouvelles mesures afin de vérifier leur état de conservation. Cette comparaison devrait être terminée avant la prochaine session du CCT, laquelle devrait se tenir en 1996.

Le manobaromètre du BIPM, qui a été révisé en 1993, est de nouveau en état de marche. À titre de vérification, on l'a comparé à une balance de pression qui prend part à une comparaison de moyennes pressions dans le cadre des activités du Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées (CCM). Cette balance a déjà pris part à une comparaison au BIPM en 1984. Les résultats des mesures récentes concordent dans la limite des incertitudes, soit environ à 1 Pa près.

6.3 Travaux d'étalonnage

Des lampes étalons photométriques d'intensité lumineuse et de flux lumineux ont été étalonnées pour le CMI (Prague, Rép. tchèque) et le SP (Borås, Suède). Une lampe de température de couleur a été étalonnée pour le NPLI.

Tout au long de l'année des étalonnages de jauges de pression ont été faits pour les sections d'électricité, des masses et des rayonnements ionisants, cela à raison d'environ un étalonnage par mois.

Quinze thermomètres à résistance de platine ont été étalonnés au point triple de l'eau et au point de fusion du gallium pour les sections d'électricité, des masses et de radiométrie.

6.4 Publications, conférences et voyages : section de radiométrie

6.4.1 Rapport BIPM

1. KÖHLER R., GOEBEL R., PELLO R., Report on the international comparison of spectral responsivity of silicon photodiodes, *Rapport BIPM-94/9*, juillet 1994, 71 pages + Annex, 23 pages (aussi Document CCPR/94-2).

6.4.2 Conférences et exposés

R. Köhler a fait avec R. Goebel et R. Pello, deux exposés intitulés « First Results of Measurements with the BIPM Absolute Cryogenic Radiometer » et « Results of the International Comparison of Spectral Responsivity of Silicon Photodiodes » à la conférence Newrad'94 et ils ont pris part à une présentation.

R. Köhler a fait une conférence au NPL (Teddington, Royaume-Uni) pour présenter les résultats de la comparaison internationale de photodiodes au silicium.

R. Goebel a fait, avec R. Köhler et R. Pello, un exposé intitulé « Some Effects of Low-power UV Radiation on Silicon Photodiodes » à la conférence Newrad'94 et il a pris part aux deux présentations mentionnées ci-dessus.

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

R. Köhler s'est rendu :

— au NPL (Teddington, Royaume-Uni), du 8 au 11 novembre 1993, pour visiter les sections de radiométrie, photométrie et thermométrie ;

— à la PTB (Braunschweig, Allemagne), les 28 et 29 mars 1994, pour assister comme observateur à une réunion d'EUROMET sur la radiométrie ;

— au CNAM (Paris, France), le 4 mai 1994, pour la journée consacrée à la température et à la radiométrie dans le cadre des manifestations du bicentenaire du CNAM ;

— au NPL (Teddington, Royaume-Uni), du 18 au 20 mai 1994, pour transporter des cellules à point triple de l'eau appartenant au NPL et au KRISS (Taejon, Rép. de Corée), afin de préparer une comparaison de radiomètres cryogéniques appartenant au NPL et au BIPM, et pour discuter avec le personnel des sections de manométrie, radiométrie, photométrie et thermométrie de ce laboratoire ;

— à Berlin (Allemagne), de 19 au 21 septembre 1994, à la conférence Newrad'94 ;

— à Berlin (Allemagne), les 22 et 23 septembre 1994, pour une réunion de la Division 2 de la CIE.

R. Goebel s'est rendu :

— au CNAM (Paris, France), le 4 mai 1994, pour la journée consacrée à la température et à la radiométrie dans le cadre des manifestations du bicentenaire du CNAM ;

— au NPL (Teddington, Royaume-Uni), du 15 au 17 juin 1994, pour y apporter une balance de pression et des cellules à point triple de l'eau ;

— à Berlin (Allemagne), du 19 au 21 septembre 1994, à la conférence Newrad'94.

R. Pello s'est rendu :

— au CNAM (Paris, France), 4 mai 1994, pour la journée consacrée à la température et à la radiométrie dans le cadre des manifestations du bicentenaire du CNAM ;

— au NPL (Teddington, Royaume-Uni), du 15 au 17 juin 1994, pour y apporter une balance de pression et des cellules à point triple de l'eau ;

— à Noisy-le-Sec (France), pour suivre un séminaire sur l'utilisation de l'aluminium dans les installations de vide.

6.5 Activités en liaison avec des organismes extérieurs

R. Köhler est membre du Comité technique 2.29 de la CIE sur la mesure de la linéarité des récepteurs.

6.6 Visiteurs de la section de radiométrie, photométrie, thermométrie et manométrie

M. L. Liedquist (SP, Borås, Suède), 15 octobre 1993.

M. O. Touayar (INM, Paris, France), 17 novembre 1993.

MM. M. Woolfrey et A. Goater (Oxford Instruments, Oxford, Royaume-Uni), 10-14 janvier 1994.

M. J. Bastie (INM, Paris, France), 12 janvier 1994.

M. N. Fox (NPL, Teddington, Royaume-Uni), 27 janvier 1994.

M. A. Pokhodun (VNIIM, Saint-Pétersbourg, Russie), 2 février 1994.

M. M. Woolfrey (Oxford Instruments, Oxford, Royaume-Uni), 14-25 février 1994.

M. P. Bloembergen (NMI/VSL, Delft, Pays-Bas), 25 février 1994.

MM. F. Hejsek, P. Chrobok et J. Zikan (CMI, Prague, Rép. tchèque), 28 mars 1994.

M. N. Patrikios (Oxford Instruments, Oxford, Royaume-Uni), 25 mai 1994.

7. Rayonnements ionisants (J. W. Müller)

Comme les années précédentes, les travaux de la section des rayonnements ionisants ont été centrés sur les comparaisons. Le rôle primordial du BIPM, qui est d'assurer la traçabilité mondiale des grandeurs fondamentales sur lesquelles reposent la dosimétrie et les mesures d'activité, a été fortement rappelé lors de la réunion du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI) qui s'est tenue à Sèvres en avril 1994.

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

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

i) *Étalonnage en fonction de la dose absorbée dans l'eau (^{60}Co)*

Le facteur d'étalonnage d'un instrument de transfert, en fonction de la dose absorbée dans l'eau, est obtenu au BIPM avec une incertitude de 0,5 % (incertitude statistique inférieure à 0,03 %). Comme les conditions de mesure peuvent être légèrement différentes de ce qu'elles sont dans le laboratoire où l'instrument sera utilisé, des expériences ont été faites pour évaluer l'influence des différents paramètres sur le facteur d'étalonnage

N_D (diffusion du faisceau, débit de dose, non-uniformité du faisceau, profondeur dans l'eau). Cet effet s'est avéré faible pour les chambres de petite taille.

ii) *Source de ^{137}Cs (1 TBq)*

Pour déterminer le kerma dans l'air on utilise une distance de 1 m de la source au plan de référence et un faisceau de diamètre 10 cm. L'étalon, en graphite, est d'un type semblable à celui qui est utilisé dans le faisceau du ^{60}Co . Le volume de la cavité a été déterminé par une méthode ionométrique par comparaison avec un autre étalon, à la fois dans le faisceau du ^{60}Co et dans celui du ^{137}Cs . La valeur numérique obtenue, $v = (6,834 \pm 0,003) \text{ mm}^3$, est valable pour les deux faisceaux. La détermination expérimentale des facteurs de correction k_{r_n} et k_s , pour l'influence de la non-uniformité radiale du faisceau — qui est plus importante pour la source de ^{137}Cs que pour celle de ^{60}Co — et pour le défaut de drainage des ions, a déjà été effectuée ($k_{r_n} = 1,005$, $k_s = 1,0014$). La variation de la réponse des chambres en fonction de la distance de la source diffère de la loi de l'inverse carré d'environ 0,3 % pour une variation de distance de 30 cm. Cette petite différence peut s'expliquer par le rayonnement diffusé qui prend naissance loin de la source, par exemple dans le collimateur.

iii) *Comparaisons et étalonnages au BIPM (^{60}Co)*

Des comparaisons de mesures du kerma dans l'air, de la dose absorbée dans le graphite et de la dose absorbée dans l'eau (Tableau 7.1) ont été effectuées.

Les comparaisons d'étalons de kerma dans l'air se font directement, alors que celles de dose absorbée dans le graphite se font soit directement soit indirectement. La plupart des résultats sont en bon accord avec les étalons du BIPM à 1σ près. À titre de comparaison, le Tableau 7.1 donne aussi des résultats antérieurs obtenus lors de comparaisons effectuées avec le NMI (Delft, Pays-Bas) et le LPRI (Saclay, France).

Des comparaisons indirectes d'étalons de dose absorbée dans l'eau ont été effectuées avec des laboratoires qui mesurent cette grandeur par transfert à partir de la dose absorbée dans le graphite soit en utilisant la méthode de la loi de similitude (ENEA, Rome, Italie et BEV, Vienne, Autriche) soit par étalonnage d'une chambre d'ionisation dans le graphite (LPRI). Les résultats sont satisfaisants.

Les chambres d'ionisation utilisées comme étalons secondaires de dose absorbée dans l'eau par le NMI et le CIEMAT (Madrid, Espagne) ont été étalonnées dans l'eau. Les chambres du CIEMAT (de type Shonka, de diamètre 12 mm) sont placées dans une épaisse enveloppe en perspex et en polythène. L'étalonnage à trois profondeurs ($5 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$, $11 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$ et $17 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$) a fait apparaître des variations qui n'excèdent pas 0,1 % du facteur d'étalonnage. La valeur du facteur C_A est 1,0872. Trois autres

TABLEAU 7.1
Comparaisons et étalonnages au BIPM
Rayonnement γ du ^{60}Co

Laboratoire	Kerma dans l'air $K_{\text{LAB}}/K_{\text{BIPM}}$	Dose absorbée $D_{\text{LAB}}/D_{\text{BIPM}}$	
		graphite	eau
NMi		0,9975*	
NMi		0,9976	
LPRI	1,0025*	0,9995*	0,9990
ENEA		0,9966	0,9970
BEV	1,0040*		0,9990
NMi (1979)		0,9998	
LPRI (1977)		0,9999	

* comparaisons directes

chambres (du type PTW), étalonnées dans les mêmes conditions, ont un facteur C_A de 1,096.

Un étalon secondaire a aussi été étalonné pour le CMI (Prague, Rép. tchèque), en kerma dans l'air, dans le domaine du rayonnement x d'énergie moyenne (tension d'alimentation du tube à rayons x de 60 kV à 250 kV) et dans le faisceau de ^{60}Co .

Une active collaboration se poursuit avec l'AIEA. Six séries de trois dosimètres thermoluminescents ont été irradiées (2 Gy) pour l'AIEA dans le fantôme d'eau du BIPM en novembre 1993, février 1994 et septembre 1994. Les résultats de toutes les irradiations faites au cours des deux années dernières sont satisfaisants : la valeur moyenne, $D_{\text{AIEA}}/D_{\text{BIPM}} = 0,997 \pm 0,005$, se situe bien dans la limite d'incertitude de 1 % indiquée par l'AIEA.

7.1.2 Mesures neutroniques (V. D. Huynh)

i) Comparaison internationale de mesures de fluence de neutrons

La comparaison de mesures de fluence de neutrons à 24,5 keV, au moyen de trois sphères de Bonner comme instruments de transfert, est en cours. Les mesures ont été achevées au NIST (É.-U. d'Amérique) et au CIAE (Beijing, Rép. pop. de Chine) respectivement en juillet 1993 et en mai 1994. Après avoir terminé ses mesures, chaque participant a renvoyé les sphères de Bonner au BIPM pour contrôler leur stabilité au moyen d'un montage comprenant une source de vérification installée au BIPM. Les instruments de transfert ont été envoyés à la PTB (Allemagne) en juin 1994.

ii) *Mesure du taux d'émission de neutrons*

Un nouvel étalonnage de la source neutronique étalon du BIPM Ra-Be(α ,n) a été effectué en février 1994. Cela a permis d'étalonner deux sources de neutrons, l'une provenant du LPRI et l'autre du LNMRI (Rio de Janeiro, Brésil), en utilisant le bain de manganèse du BIPM. Pour ce faire, on a besoin d'une solution de ^{56}Mn dont l'activité soit bien connue. Avec l'aide du groupe qui s'occupe des radionucléides au BIPM on a pu obtenir une solution de ^{56}Mn étalonnée par la méthode des coïncidences $4\pi\beta$ - γ . Les résultats des mesures du taux d'émission de neutrons sont en bon accord avec les étalonnages précédents dont la dispersion était de 0,2 %, durant la période de 1964 à 1986.

La source de neutrons ^{252}Cf du LPRI a été étalonnée en avril et mai 1994. Trois mesures ont été faites et ont donné une dispersion de 0,03 %. La source de neutrons Am-Be(α ,n) du LNMRI a été étalonnée en juin 1994 et la reproductibilité des mesures est meilleure que 0,1 %.

7.2 Radionucléides (J. W. Müller)

7.2.1 Mesures d'activité (G. Ratel)

i) *Comparaison préliminaire de mesures d'activité du ^{204}Tl*

Le choix du ^{204}Tl comme objet d'une comparaison est important pour deux raisons : c'est la première fois qu'un émetteur de bêtas purs sera étalonné dans le cadre d'une comparaison internationale de mesures d'activité et cette comparaison s'effectuera, pour une grande partie, en utilisant la technique du scintillateur liquide. Cette comparaison est aussi un test pour la méthode NIST-CIEMAT* ; on pourra voir si elle convient pour étalonner des radionucléides émetteurs de rayonnement bêta dans le Système international de référence (SIR).

De nombreux laboratoires souhaitaient participer à la comparaison préliminaire. Pour assurer le succès de celle-ci nous avons dû limiter la participation à ceux qui ont une certaine expérience de la technique du scintillateur liquide. C'est pourquoi le CIEMAT, le LPRI, le NAC (Faure, Afrique du Sud), le NIST et la PTB ont été choisis. Le BIPM y prendra part aussi, plus comme organisateur que comme expert.

Suite à une proposition faite par A. Grau Malonda (CIEMAT), coordonnateur du Groupe de travail pour l'extension du SIR, les caractéristiques d'une solution convenable ont été définies. Comme aucun autre laboratoire ne s'est proposé pour préparer la solution, le BIPM le fera, ainsi qu'il l'a déjà fait pour la comparaison internationale de ^{75}Se .

* GRAU MALONDA A., GARCIA-TORAÑO E., Evaluation of Counting Efficiency in Liquid Scintillation Counting of Pure β -Ray Emitters, *Int. J. Appl. Radiat. Isot.*, 1982, **33**, 249-253.

Ce sera une solution aqueuse de 1 mol/dm^3 de HNO_3 , avec $6 \text{ } \mu\text{g/ml}$ de thallium comme entraîneur.

Un modèle amélioré de la feuille de résultats a été envoyé aux laboratoires concernés en les priant de présenter leurs commentaires. La comparaison préliminaire se déroulera dans le courant de l'automne 1994.

ii) *Comparaison dans le cadre d'EUROMET*

Dans le cadre d'EUROMET une comparaison des méthodes de mesure d'activité au moyen de la technique du scintillateur liquide a été mise en œuvre par P. Cassette (LPRI). Différentes méthodes de mesure (par exemple CIEMAT-NIST ou la méthode du rapport des coïncidences triples aux coïncidences doubles (TDCR)) seront vérifiées pour des émetteurs de rayonnement bêta pur tels que le ^{63}Ni (en 1994) ou le ^{55}Fe (en 1995). Le cadre de cette comparaison a été élargi afin de permettre la participation de laboratoires autres que ceux d'Europe occidentale, tels que le NAC, le NIST et l'IEA qui ont une connaissance particulière de ces techniques. Le BIPM prend part à cette comparaison afin d'acquérir la compétence nécessaire pour appliquer ces méthodes au SIR.

Les solutions de ^{63}Ni et de ^3H , nécessaires pour les laboratoires qui utilisent la méthode CIEMAT-NIST, ont été fournies par le LPRI. Les solutions de radionucléides sont accompagnées d'une aliquote du même scintillateur qui a été utilisé pour la préparation des échantillons de ^{63}Ni , afin que les laboratoires puissent préparer des séries d'échantillons affaiblis de ^3H qui aient des propriétés identiques de scintillation.

La méthode du CIEMAT-NIST, telle qu'elle est utilisée au BIPM, comprend deux parties : l'une est purement expérimentale et consiste à déterminer le taux de comptage selon un paramètre qui caractérise le niveau d'affaiblissement des échantillons, alors que l'autre est un algorithme qui permet de calculer les spectres des rayonnements bêta du ^3H et du ^{63}Ni . Combinées, ces deux parties permettent de déterminer l'efficacité de détection d'un radionucléide dont l'activité n'est pas connue.

Le principal obstacle que l'on rencontre pour mesurer l'activité d'une solution est que le niveau d'affaiblissement de l'échantillon est inconnu et que, par conséquent, l'efficacité de détection l'est aussi. L'emploi d'une série d'échantillons de ^3H étalonnés permet de résoudre cette ambiguïté.

Cinq échantillons affaiblis d'une solution tritiée ont été préparés à partir de la solution de ^3H étalonnée livrée par le LPRI et ils ont été mesurés dans notre dispositif à scintillation liquide. Le paramètre interne d'affaiblissement, faisant appel à un étalon extérieur de ^{137}Cs , a été employé. La mesure consiste à déterminer la position du point d'inflexion de la limite de Compton du spectre du ^{137}Cs pour un niveau donné d'affaiblissement.

Les cinq échantillons de ^{63}Ni livrés par le LPRI, en même temps que cinq autres préparés au BIPM à partir de la solution primaire, ont été mesurés. L'efficacité de la détection, déduite des mesures des échantillons

affaiblis de ^3H et des spectres calculés, est de 78 %. La valeur finale de l'activité des échantillons de ^{63}Ni est $(82,2 \pm 0,2) \text{ kBq} \cdot \text{g}^{-1}$.

Les principales composantes de l'incertitude proviennent de l'étalonnage de la solution de ^3H et de la détermination du facteur de mérite en fonction du paramètre d'affaiblissement.

iii) *Système international de référence pour la mesure de l'activité des radionucléides émetteurs de rayonnement gamma (SIR)*

Depuis octobre 1993 nous remarquons un net accroissement du nombre d'ampoules envoyées au BIPM et du nombre de laboratoires participants : nous avons reçu trente-cinq ampoules contenant vingt-et-un radionucléides différents, à savoir ^{22}Na , ^{46}Sc , ^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{56}Mn , ^{60}Co , ^{67}Ga , ^{85}Sr , ^{88}Y , ^{99}Mo , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{110}Ag , ^{113}Sn , ^{131}I , ^{133}Ba , ^{133}Xe , ^{137}Cs , ^{152}Eu , ^{155}Eu , ^{201}Tl et ^{243}Am . Parmi ceux-ci, ^{155}Eu et ^{243}Am ont été mesurés pour la première fois. Cela donne dix-neuf résultats nouveaux provenant de dix laboratoires (AECL, ANSTO, BIPM, CNEA, ETL, IRA, IMMR, LPRI, NPL et OMH). Au total 614 ampoules ont été maintenant mesurées et 449 résultats indépendants pour 53 émetteurs différents de rayonnement gamma ont été inclus dans les tableaux d'enregistrement du SIR.

Compte tenu de l'intérêt manifesté par les laboratoires nationaux pour les ampoules contenant des gaz, généralement du ^{133}Xe , il a été décidé de commander un millier d'ampoules du type NIST, spécialement conçues pour les chambres du SIR.

7.2.2 Statistiques de comptage (J. W. Müller)

Pour évaluer les corrections pour les temps morts dans la méthode de parité de comptage, il est souvent nécessaire de recourir à des développements algébriques assez longs. Ce faisant nous avons trouvé la grandeur $T(r,k)$, donnée par l'expression ci-après et son évaluation nous a semblé présenter un intérêt en soi. Il faut évaluer :

$$T(r,k) = \sum_{j=0}^{r-1} \binom{r-j}{j} S(j+1,k)$$

où S est un nombre de Stirling de seconde espèce. Quelques valeurs numériques de T sont regroupées sous forme de tableau :

	k = 1	2	3	4	5
r = 1	1				
2	2	1			
3	4	5	1		
4	8	19	9	1	
5	16	65	55	14	1

Un examen attentif suggère que les termes suivent la récurrence

$$T(r,k) = (k+1) T(r-1,k) + T(r-1,k-1),$$

ce qui nous rappelle que des relations semblables existent aussi pour les facteurs, soit :

$$\binom{n}{k} = \binom{n-1}{k} + \binom{n-1}{k-1}$$

et

$$S(n,k) = k S(n-1,k) + S(n-1,k-1).$$

Avec la notation $B(j,k) = \binom{j-1}{k-1}$, la relation ci-dessus peut être écrite sous forme matricielle

$$\mathbf{T} = \mathbf{B} \times \mathbf{S},$$

où \mathbf{B} et \mathbf{S} sont des matrices triangulaires d'ordre infini. On peut se demander maintenant pourquoi des récurrences, valables pour les facteurs, se reportent sur la matrice produit.

Pour parler de façon plus générale, posons

$$A_{i,j} = \sum_{r=1}^{m_1} \alpha_r A_{i-1,j-r+1},$$

et

$$B_{j,k} = \sum_{s=1}^{m_2} \beta_s B_{j-1,k-s+1}.$$

Pour l'élément $C_{i,k}$ de la matrice produit \mathbf{C} , c'est-à-dire

$$C_{i,k} = \sum_j A_{i,j} B_{j,k} = \sum_{t=1}^M \gamma_t C_{i-1,k-t+1},$$

nous sommes surtout intéressés par la structure des coefficients γ_t , qui sont uniquement déterminés par α_r et β_s , ainsi que par leur nombre M .

Dans le cas de $m_1 = m_2 = 4$ une évaluation directe conduit aux expressions suivantes pour les dix coefficients γ_t :

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= \alpha_1 + \alpha_2 \beta_1 + \alpha_3 \beta_1^2 + \alpha_4 \beta_1^3, \\ \gamma_2 &= \alpha_2 \beta_2 + \alpha_3 2\beta_1 \beta_2 + \alpha_4 3\beta_1^2 \beta_2, \\ \gamma_3 &= \alpha_2 \beta_3 + \alpha_3 (2\beta_1 \beta_3 + \beta_2^2) + \alpha_4 (3\beta_1^2 \beta_3 + 3\beta_1 \beta_2^2), \\ \gamma_4 &= \alpha_2 \beta_4 + \alpha_3 (2\beta_1 \beta_4 + 2\beta_2 \beta_3) + \alpha_4 (3\beta_1^2 \beta_4 + 6\beta_1 \beta_2 \beta_3 + \beta_3^2), \\ \gamma_5 &= \alpha_3 (2\beta_2 \beta_4 + \beta_3^2) + \alpha_4 (3\beta_1 \beta_3^2 + 6\beta_1 \beta_2 \beta_4 + 3\beta_2^2 \beta_3), \\ \gamma_6 &= \alpha_3 2\beta_3 \beta_4 + \alpha_4 (3\beta_2 \beta_3^2 + 6\beta_1 \beta_3 \beta_4 + 3\beta_2^2 \beta_4), \\ \gamma_7 &= \alpha_3 \beta_4^2 + \alpha_4 (3\beta_1 \beta_4^2 + 6\beta_2 \beta_3 \beta_4 + \beta_3^3), \\ \gamma_8 &= \alpha_4 (3\beta_2 \beta_4^2 + 3\beta_3^2 \beta_4), \end{aligned}$$

$$\gamma_9 = \alpha_4 3\beta_3\beta_4^2,$$

$$\gamma_{10} = \alpha_4\beta_4^3.$$

Il est possible d'obtenir à partir des résultats indiqués l'expression générale pour des valeurs arbitraires de m_1 et m_2 . Elle a la forme de

$$\gamma_t = \sum_{j=1}^{m_1} \alpha_j \sum_{(t)} \prod_{s=1}^t \beta_s^{\eta_s} p_s,$$

où $\eta_s = 0, 1, 2, \dots$ La somme (t) couvre toutes les combinaisons des coefficients β_s (avec s de 1 à m_2) pour lesquels :

- le nombre de facteurs β_s est $j-1$,
- la somme des indices s, pondérée par leur exposant η_s , égale $t+j-2$.

Le terme $p_s = (j-1)! / \prod_s \eta_s!$ est le nombre de permutations des facteurs β_s . Il représente les valeurs observées ci-dessus, puisque par exemple pour $\beta_1\beta_2\beta_4$ nous avons $p_s = 3!/1! = 6$, alors que pour $\beta_1\beta_3^2$ on trouve $p_s = 3!/2! = 3$.

Notons aussi que le nombre de coefficients γ_t est donné par

$$M = (m_1 - 1) (m_2 - 1) + 1,$$

ainsi $M = 10$ pour $m_1 = m_2 = 4$.

Ce résultat trouvera peu d'applications sous sa forme générale, mais il donne directement des formules pour des récurrences assez courtes. Ainsi, pour le cas simple $m_1 = m_2 = 2$, en négligeant tous les coefficients α et β avec des indices supérieurs à 2, nous obtenons :

$$\gamma_1 = \alpha_1 + \alpha_2\beta_1 \quad \text{et} \quad \gamma_2 = \alpha_2\beta_2.$$

7.3 Publications, conférences et voyages : section des rayonnements ionisants

7.3.1 Publications extérieures

1. BOUTILLON M., PERROCHE A.-M., Determination of calibration factors in terms of air kerma and absorbed dose to water in the ^{60}Co gamma rays, *SSDL Newsletter*, 1993, **32**, 3-13.
2. MÜLLER J. W., Applied modulo counting, In *International Workshop on Advanced Mathematical Tools in Metrology*, Turin, October 1993, 2 pages.
3. MÜLLER J. W., Some mathematical problems in applied statistics, In *International Workshop on Advanced Mathematical Tools in Metrology*, Turin, October 1993, 2 pages.

4. RATEL G., Measurement of the activity concentration of a solution of ^{75}Se , *Nucl. Instrum. Meth.*, 1993, **A339**, 408-413.
5. RATEL G., International comparison of activity measurements of a solution of ^{109}Cd , *Nucl. Instrum. Meth.*, 1994, **A345**, 289-295.
6. Particle counting in radioactivity measurements, *ICRU Report 52*, 1994, 80 pages (J. W. Müller a présidé ce Report Committee).

7.3.2 Rapports BIPM

7. MÜLLER J. W., A note on recurrences, *BIPM Working Party Note 237*, février 1994, 5 pages.
8. PERROCHE A.-M., BOUTILLON M., GRIMBERGEN T. W. M., Van DIJK E., Comparison of the standards of absorbed dose to graphite of the NMi and the BIPM for ^{60}Co γ rays, *Rapport BIPM-94/1*, mars 1994, 8 pages.
9. PERROCHE A.-M., BOUTILLON M., GUERRA A. S., LAITANO R. F., PIMPINELLA M., Comparison of the standards of absorbed dose of the ENEA and the BIPM for ^{60}Co γ rays, *Rapport BIPM-94/4*, mars 1994, 6 pages.
10. PERROCHE A.-M., BOUTILLON M., DAURES J., DELAUNAY F., LEROY E., OSTROWSKY A., CHAUVENET B., Comparison of the standards of air kerma and of absorbed dose of the LPRI and the BIPM for ^{60}Co γ rays, *Rapport BIPM-94/6*, mai 1994, 10 pages.
11. PERROCHE A.-M., BOUTILLON M., LEITNER A., Comparison of the standards of air kerma and of absorbed dose to water of the BEV and the BIPM for ^{60}Co γ rays, *Rapport BIPM-94/7*, mai 1994, 7 pages.

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

J. W. Müller s'est rendu :

— à Turin (Italie), du 20 au 22 octobre 1993, pour participer à l'International Workshop on Advanced Mathematical Tools in Metrology, où il avait été invité à présenter deux conférences intitulées « Applied modulo counting » et « Some mathematical problems in applied statistics » ;

— au LPRI (Saclay, France), le 2 mars 1994, où il a fait une conférence intitulée « Le nouveau guide sur l'expression des incertitudes de mesure » ;

— à Ann Arbor (É.-U. d'Amérique), du 16 au 19 mai 1994, pour participer au Symposium on Radiation Measurements and Applications de 1994, où il a fait une conférence intitulée « Statistics of a scaled-down Poisson process » ;

— à Gaithersburg (É.-U. d'Amérique), du 25 au 30 juillet 1994, pour participer à la réunion annuelle de l'ICRU Main Commission comme

représentant du BIPM. À cette occasion, il s'est rendu au NIST les 21 et 22 juillet, pour y faire une conférence sur « Progress in parity counting ».

M. Boutillon :

— a participé au Symposium on Radiation Measurements and Applications de 1994 qui s'est tenu à Ann Arbor (É.-U. d'Amérique), du 16 au 19 mai 1994, et y a présenté une conférence intitulée « A brief look at absorbed dose measurements »;

— a pris part à la réunion annuelle de l'ICRU Main Commission qui s'est tenue à Washington DC (É.-U. d'Amérique), du 25 au 30 juillet 1994, et elle s'est rendue au NIST (É.-U. d'Amérique), les 21 et 22 juillet 1994;

— a participé au World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, qui s'est tenu à Rio de Janeiro (Brésil), du 21 au 26 août 1994. Elle y a donné une conférence intitulée « Direct calibration at the BIPM in terms of absorbed dose to water ».

M. Boutillon et A.-M. Perroche ont suivi la réunion des consultants sur la vérification externe de la qualité des méthodes de comparaison de dose absorbée utilisées par l'AIEA (Vienne, Autriche), du 19 au 21 décembre 1993. A.-M. Perroche y a fait une conférence intitulée « Determination of calibration factors in terms of air kerma and absorbed dose to water in the ^{60}Co gamma rays ».

P. J. Allisy-Roberts :

— a participé à une réunion du conseil de la Society for Radiological Protection (Royaume-Uni) qui a eu lieu à Londres le 5 septembre 1994;

— a pris part à une réunion de l'Article 31 Group (EC Euratom) sur les expositions médicales aux radiations, à Bruxelles (Belgique), les 22 et 23 septembre 1994.

G. Ratel a assisté à l'International Conference on Advances in Liquid Scintillation Spectrometry (Glasgow, Royaume-Uni), du 8 au 12 août 1994.

G. Ratel et C. Colas ont suivi un cours de formation technique « Formation à la personne compétente - sources scellées » chez Socotec (Paris, France), les 25 et 26 mai 1994.

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 et préside un Report Committee de l'ICRU. Il est aussi membre du SSDL Scientific Committee pour conseiller l'AIEA, membre du comité scientifique « Mesures Physiques et Métrologie » de l'INM (Paris), et membre du Groupe de travail TAG 4 de l'ISO sur l'expression des incertitudes.

P. J. Allisy-Roberts est membre du Comité 3 de l'ICRP. Elle est aussi membre du British Committee for Radiation Units, dont le siège est au NPL. Elle apporte sa collaboration à la revue annuelle de l'UK Department of Trade and Industry concernant la métrologie des rayonnements au NPL. Elle est aussi membre, à titre scientifique, du groupe de travail sur les rayonnements ionisants de l'UK Health and Safety Commission.

7.5 Visiteurs de la section des rayonnements ionisants

7.5.1 Stagiaires

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

MM. T. W. M. Grimbergen et E. Van Dijk (NMi, Utrecht, Pays-Bas) sont restés au BIPM du 27 septembre au 6 octobre 1993 pour la comparaison de l'étalon calorimétrique de dose absorbée dans le graphite appartenant à leur laboratoire et pour l'étalonnage de deux chambres d'ionisation en fonction de la dose absorbée dans l'eau, dans le rayonnement gamma du ^{60}Co .

M. A. Brosed (CIEMAT, Madrid, Espagne) a séjourné au BIPM du 12 au 19 novembre 1993 pour l'étalonnage de trois chambres d'ionisation appartenant à son laboratoire en fonction de la dose absorbée dans l'eau, dans le rayonnement gamma du ^{60}Co .

MM. A. Ostrowsky et E. Leroy (LPRI, Saclay, France) ont séjourné au BIPM du 26 novembre au 10 décembre 1993 pour les comparaisons des étalons de kerma dans l'air, de la dose absorbée dans le graphite et de la dose absorbée dans l'eau, appartenant à leur laboratoire, dans le rayonnement gamma du ^{60}Co .

M. A. S. Guerra (ENEA, Rome, Italie) est resté au BIPM du 21 au 25 février 1994 pour comparer des étalons de dose absorbée dans le graphite et de dose absorbée dans l'eau, appartenant à son laboratoire, dans le rayonnement gamma du ^{60}Co .

M. A. Leitner (BEV, Vienne, Autriche) est resté au BIPM du 25 au 29 avril 1994 pour comparer les étalons de kerma dans l'air et de dose absorbée dans l'eau appartenant à son laboratoire dans le rayonnement gamma du ^{60}Co .

M. E. S. da Fonseca (LNMRI, Rio de Janeiro, Brésil) est resté au BIPM du 13 juin au 1^{er} juillet 1994, pour étalonner une source de neutrons Am-Be (α, n) appartenant à son laboratoire.

7.5.2 Visiteurs

MM. Shian-Jang Su et Dong-Pao Chou (Institute of Nuclear Energy Research, Lung-Tan, Taiwan), 25 et 26 octobre 1993.

M. V. Sochor (CMI, Prague, Rép. tchèque), 18 janvier 1994.

Mlle M. Stucki (Socotec, Paris, France), 25 janvier et 8 mars 1994.

Mlle M.-N. Peron et M. P. Cassette (LPRI, Saclay, France), 15 février 1994.

MM. B. Chauvenet et F. Delaunay (LPRI, France), 1^{er} mars 1994.

MM. P. Blanchis et J.-P. Picolo (LPRI, Saclay, France), 15 mars 1994.

Mlle S. Seralda, MM. P. Berthe et P. Blanchis (LPRI, Saclay, France), 14 avril 1994.

Mlle M.-N. Peron et M. P. Cassette (LPRI, Saclay, France), 11 mai 1994.

MM. Shuh-Hwa Lee et Hung-Kang Jan (National Yunlin Institute of Technology, Yunlin, Taiwan), 27 mai 1994.

M. M. Abdou Saleh (NCRRT, Le Caire, Égypte), 31 mai 1994.

Mlle D. Hainos, MM. P. Blanchis et J. de Sanoit (LPRI, Saclay, France), 8 juin 1994.

M. P. J. Lamperti (NIST, É.-U. d'Amérique), 23 juin 1994.

IV. — PUBLICATIONS DU BIPM

1. Publications générales

Depuis juillet 1993 ont été publiés :

Procès-verbaux des séances du Comité international des poids et mesures, Tome **61**, 82^e session, septembre 1993, 200 pages.

Comité consultatif pour la définition de la seconde, 12^e session, 1993, 74 pages.

Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées, 5^e session, 1993, 165 pages.

Rapport annuel de la section du temps du BIPM (1993), **6**, 1994, 129 pages.

Circular T (mensuelle), 4 pages.

2. Metrologia (D. A. Blackburn)

Le volume 30 de *Metrologia* est sorti en 1993 et au début de 1994. Pour ce volume, aux quatre numéros normaux se sont ajoutés deux numéros spéciaux. Dans ces deux numéros supplémentaires figurent les comptes rendus de deux conférences, l'une intitulée *New Developments and Applications in Optical Radiometry IV* qui s'est tenue à Baltimore (É.-U. d'Amérique) en octobre 1992 et l'autre étant le deuxième séminaire sur la métrologie des pressions entre 1 kPa et 1 GPa, réuni sous l'égide du CCM, à Paris, en juin 1993.

Dans le volume 30 figurent 120 articles, dont 36 portent sur des recherches en cours et 82 sont des communications faites lors de conférences. Une nouvelle rubrique, intitulée *International Reports*, a été créée. Dans cette série deux articles ont été publiés. Entre le 1^{er} janvier 1993 et le 31 décembre 1993, 48 articles portant sur des recherches ont été soumis pour publication. Sur ce nombre, 27 ont été effectivement publiés, 4 vont l'être, 11 ont été rejetés, 1 a été retiré par ses auteurs, et 5 sont en cours d'examen. Entre le 1^{er} janvier et le 31 mai 1994, 31 articles portant sur des recherches et 2 rapports internationaux ont été soumis pour publication. Au 31 mai 1994, 1 des articles et les 2 rapports ont été publiés, 7 articles ont été acceptés, 4 ont été refusés et 19 étaient encore en cours d'examen.

V. — RÉUNIONS ET EXPOSÉS AU BIPM

1. Réunions

Le CCEMRI s'est réuni du 12 au 13 avril 1994.

Le CCPR s'est réuni du 14 au 16 septembre 1994.

2. Exposés

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

G. Petit : Pulsars binaires et relativité générale, 16 novembre 1993.

P. De Bièvre (IMMR, Geel, Belgique) : Stable isotope dilution : an essential tool for metrology, 26 novembre 1993.

T. Niebauer (Axis Instruments, Boulder, É.-U. d'Amérique) : Status of the new Axis gravimeter, 15 décembre 1993.

J. Bastie (INM, Paris) : Radiométrie et photométrie à l'Institut national de métrologie (INM), 12 janvier 1994.

P. Giacomo : Vocabulaire et concepts en métrologie, 23 février 1994.

G. Girard : Vérifications périodiques des prototypes nationaux du kilogramme, 16 mars 1994.

P. Cassette (LPRI, Saclay, France) : Mesures d'activité par scintillation liquide, 11 mai 1994.

J. Gaignebet (OCA, Grasse, France) : Télémétrie laser et ses applications au transfert du temps, 15 juin 1994.

VI. — CERTIFICATS ET NOTES D'ÉTUDE

Du 1^{er} octobre 1993 au 30 septembre 1994, 53 Certificats et 7 Notes d'étude ont été délivrés.

CERTIFICATS

1993

N^{os}

- | | |
|--|---|
| 66. Étalon de résistance de 1 Ω ,
n ^o 64153 | Korea Research Institute of
Standards and Science, Taejon,
République de Corée. |
| 67. Étalon de résistance de 1 Ω ,
n ^o 64154 | Id. |
| 68. Étalon de résistance de 1 Ω ,
n ^o 64158 | Id. |
| 69. Trois étalons secondaires d'intensité
lumineuse (2800 K), n ^{os} 650-3472,
655, 666-3473 (addition) | Statens Provningsanstalt,
Borås, Suède. |
| 70. Trois étalons secondaires de flux
lumineux (2800 K),
n ^{os} 246 A, 250 D, 250 E (addition) | Id. |
| 71. Étalon de masse de 1 kg en
nickel-chrome, n ^o 57635 | Polski Komitet Normalizacji,
Miar I Jakości, Varsovie,
Pologne. |

1994

N^{os}

- | | |
|--|---|
| 1. Trois chambres d'ionisation Shonka,
n ^{os} 346, 413, 416 | Centro de Investigaciones
Energéticas, Medioambientales
y Tecnológicas, Madrid,
Espagne. |
| 2. Étalon de résistance de 1 Ω ,
n ^o 1679692 (addition) | National Institute for Standards,
Le Caire, République arabe
d'Égypte. |
| 3. Étalon de résistance de 1 Ω ,
n ^o 1681958 (addition) | Id. |
| 4. Étalon de résistance de 1 Ω ,
n ^o 1684330 (addition) | Id. |
| 5. Étalon de résistance de 1 Ω ,
n ^o 1799595 (addition) | Laboratório Nacional de
Engenharia E Tecnologia
Industrial, Lisbonne, Portugal. |
| 6. Étalon de résistance de 1 Ω ,
n ^o 1870736 (addition) | National Standards Laboratory,
Oslo, Norvège. |

- | | |
|---|---|
| 7. Étalon de résistance de 1 Ω ,
n° 1870737 (addition) | Id. |
| 8. Étalon de résistance de 1 Ω ,
n° 1874913 | Id. |
| 9. Prototype de masse n° 76 | Italie. |
| 10. Quatre étalons de force électromotrice
dans une enceinte thermorégulée,
n° 50717 (addition) | National Institute for Standards,
Le Caire, République arabe
d'Égypte. |
| 11. Étalon de résistance de 10 000 Ω ,
n° 1784815 (addition) | Bundesamt für Eich- und
Vermessungswesen, Vienne,
Autriche. |
| 12. Étalon de résistance de 1 Ω ,
n° 1611312 (addition) | Id. |
| 13. Étalon de force électromotrice à diode de
Zener, n° 26030-1 | Id. |
| 14. Trois étalons de force électromotrice,
n°s 63267, 64091, 71086 (addition) | Id. |
| 15. Étalon de force électromotrice à diode de
Zener, n° 37 95 009 (addition) | Inspection générale de la
métrologie, Bruxelles, Belgique. |
| 16. Étalon de résistance de 1 Ω ,
n° 1816192 (addition) | Id. |
| 17. Étalon de résistance de 1 Ω ,
n° 1870794 (addition) | Id. |
| 18. Étalon de résistance de 10 000 Ω ,
n° 43024 (addition) | Id. |
| 19. Étalon de résistance de 10 000 Ω ,
n° 616007 (addition) | Inspection générale de la
métrologie, Bruxelles, Belgique. |
| 20. Étalon de masse de 1 kg en
acier inoxydable | Hong Kong Government
Standards and Calibration
Laboratory, Wanchai,
Hong Kong. |
| 21. Étalon de masse de 1 kg en
acier inoxydable, n° 5 | Council for Scientific and
Industrial Research, Pretoria,
Afrique du Sud. |
| 22. Deux chambres d'ionisation, NE 2561-183 et
NE 2561-246 | Nederlands Meetinstituut,
Utrecht, Pays-Bas. |
| 23. Chambre d'ionisation, Shonka A4-169 | Czech Metrological Institute,
Prague, République tchèque. |
| 24. Étalon de masse de 1 kg en
acier inoxydable | Institut national de métrologie,
Beijing, République populaire
de Chine. |
| 25. Étalon de force électromotrice à diode de
Zener, n° 24489-8 | Czech Metrological Institute,
Brno, République tchèque. |
| 26. Trois étalons secondaires de flux
lumineux (2800 K),
n°s 40511, 40512, 40513 | Elektrotechnický Zkusební Ústav,
Prague, République tchèque. |
| 27. Trois étalons secondaires de flux
lumineux (2800 K),
n°s 100391, 100392, 100393 | Id. |
| 28. Deux étalons de flux lumineux (2800 K),
n°s 511, 512 | Id. |

- | | |
|---|--|
| 29. Trois étalons secondaires de flux lumineux (2800 K), n ^{os} E1, E2, E3 | Id. |
| 30. Trois étalons secondaires de flux lumineux (2800 K), n ^{os} 77A, 77C, 14 . . | Id. |
| 31. Étalon de résistance de 1 Ω , n ^o 225323 | Czech Metrological Institute, Prague, République tchèque. |
| 32. Étalon de résistance de 1 Ω , n ^o de série 59099 | Id. |
| 33. Étalon de résistance de 1 Ω , n ^o 60544 | Id. |
| 34. Étalon de résistance de 1 Ω , n ^o 157360 | Id. |
| 35. Trois étalons secondaires de température de couleur, n ^{os} 2717, 2726, 477 | Elektrotechnický Zkusebni Ústav, Prague, République tchèque. |
| 36. Trois étalons secondaires d'intensité lumineuse (2800 K), n ^{os} 511, 512, 2/88 . | Id. |
| 37. Étalon de résistance de 1 Ω , n ^o 76088 (addition) | National Centre of Metrology, Sofia, Bulgarie. |
| 38. Étalon de résistance de 1 Ω , n ^o 470205 (addition) | Id. |
| 39. Étalon de résistance de 1 Ω , n ^o 224907 (addition) | Id. |
| 40. Étalon de résistance de 1 Ω , n ^o 470461 (addition) | Id. |
| 41. Étalon de résistance de 1 Ω , n ^o 1883431 (addition) | National Metrology Laboratory (FORBAIRT), Dublin, Irlande. |
| 42. Étalon de résistance de 10 000 Ω , n ^o 1876641 (addition) | Id. |
| 43. Étalon de force électromotrice à diode de Zener, n ^o 4185005 (addition) | Id. |
| 44. Cinq étalons de force électromotrice, n ^{os} 48 008, 48 021, 48 032, 48 034, 48 038 (addition) | National Centre of Metrology, Sofia, Bulgarie. |
| 45. Étalon secondaire de température de couleur, n ^o 951 | Bureau international des poids et mesures, Sèvres, France. |
| 46. Étalon secondaire de température de couleur, n ^o 147/152 | National Physical Laboratory, Delhi, Inde. |
| 47. Étalon de masse de 1 kg en acier inoxydable, n ^o T3 | National Physical Laboratory, Jérusalem, Israël. |

NOTES D'ÉTUDE

1993

N^{os}

- | | |
|--|---|
| 3. Étalon de résistance de 10 000 Ω , n ^o 1874897 (addition) | Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon, République de Corée. |
|--|---|

1994

N^{os}

- | | |
|---|---|
| 1. Laser à hélium-néon de longueur d'onde 543,5 nm, Tesa n° SG-L017 | Laboratoire national d'essais, Paris, France. |
| 2. Étalon de résistance de 10 000 Ω, n° 59323 | Czech Metrological Institute, Prague, République tchèque. |
| 3. Étalon de résistance de 10 000 Ω, n° 69414 | Id. |
| 4. Étalon de résistance de 10 000 Ω, n° 114764 (addition) | National Centre of Metrology, Sofia, Bulgarie. |
| 5. Étalon de résistance de 10 000 Ω, n° 148531 (addition) | Id. |
| 6. Étalon de résistance de 10 000 Ω, n° 114789 (addition) | Id. |

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 1993.

Compte I. — Fonds ordinaires*

RECETTES

	francs-or
ACTIF AU 1 ^{er} JANVIER 1993	12 113 526,07
Recettes budgétaires	27 111 766,16
Taxes sur les achats remboursés	394 808,90
Différences de change	64 880,14
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1993	108 616,79
Total	<u>39 793 598,06</u>

DÉPENSES

	francs-or
Dépenses budgétaires	20 263 271,27
Taxes sur les achats remboursés	599 148,15
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1993	18 931 178,64
Total	<u>39 793 598,06</u>

DÉTAIL DES RECETTES BUDGÉTAIRES

	francs-or
Versement de contributions :	
au titre de l'exercice 1993	18 674 091
au titre de l'exercice 1992	3 005 802
au titre de l'exercice 1991	1 238 952
au titre de l'exercice 1990 et antérieurs	474 590
au titre de l'exercice 1994	1 871 184
	} 25 264 619,00
Intérêts des fonds	1 470 612,54
Recettes diverses	
cession de prototypes (kg)	143 223,22
divers	233 311,40
	} 376 534,62
Total	<u>27 111 766,16</u>

* 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 1993 se sont élevées à 20 263 271,27 francs-or pour un budget voté s'élevant à 22 971 000 francs-or.

DÉTAIL DES DÉPENSES BUDGÉTAIRES

Chapitres	Dépenses de l'exercice	Budget voté	Économies	Dépassements
<i>A. Dépenses de personnel :</i>				
1. Traitements	10 635 894,74	10 418 000	—	217 894,74
2. Allocations familiales et sociales . .	1 769 808,02	1 902 000	132 191,98	—
3. Assurance maladie (a)	915 473,71	901 000	—	14 473,71
4. Assurance accidents du travail . . .	39 806,48	39 000	—	806,48
5. Caisse de retraite (b)	1 667 000,00	1 667 000	—	—
<i>B. Dépenses de fonctionnement :</i>				
1. Mobilier	7 013,29	30 000	22 986,71	—
2. Laboratoires et ateliers	755 678,78	1 077 000	321 321,22	—
3. Chauffage, eau, énergie électrique .	419 839,97	607 000	187 160,03	—
4. Assurances	77 362,20	65 000	—	12 362,20
5. Impressions et publications	114 893,51	231 000	116 106,49	—
6. Frais de bureau	345 418,95	372 000	26 581,05	—
7. Voyages et transports d'appareils .	408 312,16	426 000	17 687,84	—
8. Entretien courant	350 769,75	374 000	23 230,25	—
9. Bureau du Comité	48 000,00	48 000	—	—
<i>C. Dépenses d'investissement :</i>				
1. Laboratoires	1 866 349,57	2 261 000	394 650,43	—
2. Atelier de mécanique	123 066,18	67 000	—	56 066,18
3. Bibliothèque	261 312,84	244 000	—	17 312,84
<i>D. Dépenses de bâtiments (gros travaux d'entretien et de rénovation)</i>				
	246 680,42	900 000	653 319,58	—
<i>E. Frais divers et imprévus (c) (d)</i>				
	210 590,70	210 000	—	590,70
Sous totaux	20 263 271,27	21 839 000	1 895 235,58	319 506,85
<i>F. Réserves</i>				
	2 707 728,73	1 132 000	—	1 575 728,73
Totaux	22 971 000,00	22 971 000	1 895 235,58	1 895 235,58

- (a) Comprenant un virement de 352 629 francs-or au compte VII (Fonds de réserve pour l'assurance maladie).
 (b) Virement au compte II (Caisse de retraite).
 (c) Comprenant un virement de 14 828 francs-or au compte IV (Caisse de prêts sociaux).
 (d) Comprenant un virement de 95 103,02 francs-or au compte VI (Metrologia).

Compte II. — Caisse de retraite

RECETTES

	francs-or
ACTIF AU 1 ^{er} JANVIER 1993	16 395 611,25
Retenues sur les traitements	971 652,70
Virement du compte I	1 667 000,00
Intérêts des fonds	1 515 895,37
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1993	100 710,31
Total	20 650 869,63

DÉPENSES

	francs-or
Pensions servies	3 095 336,94
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1993	17 555 532,69
Total	20 650 869,63

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

RECETTES

	francs-or
ACTIF AU 1 ^{er} JANVIER 1993	171 995,64
Total	171 995,64

DÉPENSES

	francs-or
Électricité	171 995,64
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1993	0,00
Total	171 995,64

Compte IV. — Caisse de prêts sociaux

RECETTES

		francs-or
ACTIF AU 1 ^{er} JANVIER 1993	203 861,91	} 358 173,05
Créances au 1 ^{er} janvier 1993	154 311,14	
Créances nouvelles en cours d'année		68 337,63
Amortissements partiels des prêts :		
Capital	144 551,97	} 148 536,12
Intérêts	3 984,15	
Virement du compte I		14 828,00
Intérêts des fonds		21 097,97
Total		<u>610 972,77</u>

DÉPENSES

		francs-or
Prêts consentis en cours d'année		68 337,63
Créances amorties en cours d'année		144 551,97
Créances au 31 décembre 1993	78 096,80	} 398 083,17
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1993	319 986,37	
Total		<u>610 972,77</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	434 982,74
Virement du compte I	95 103,02
Total	530 085,76

DÉPENSES

	francs-or
Dépenses de fonctionnement	516 480,73
Dépenses d'investissement	13 605,03
Total	530 085,76

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

RECETTES

	francs-or
ACTIF AU 1 ^{er} JANVIER 1993	728 727,58
Virement du compte I	352 629,00
Intérêts des fonds	77 618,12
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1993	6 696,74
Total	1 165 671,44

DÉPENSES

	francs-or
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1993	1 165 671,44
Total	1 165 671,44

Bilan au 31 décembre 1993

	francs-or
Compte I « Fonds ordinaires »	18 931 178,64
Compte II « Caisse de retraite »	17 555 532,69
Compte III « Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique »	0,00
Compte IV « Caisse de prêts sociaux »	398 083,17
Compte V « Réserve pour les bâtiments »	0,00
Compte VI « Metrologia »	0,00
Compte VII « Fonds de réserve pour l'assurance maladie »	1 165 671,44
ACTIF NET	38 050 465,94

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)	7 007 939,03
2° En monnaie U.S.A. (1 USD = 5,8955 FRF = 3,249 068 624 FO)	3 782 131,26
3° En monnaie suisse (1 CHF = 3,9808 FRF = 2,193 858 431 FO)	196,81
4° En monnaie britannique (1 GBP = 8,7105 FRF = 4,800 443 092 FO)	174 446,08
5° En monnaie allemande (1 DEM = 3,3980 FRF = 1,872 671 561 FO)	3 199 283,89
6° En monnaie japonaise (100 JPY = 5,2733 FRF = 2,906 168 022 FO)	1 605 595,35
7° En monnaie hongroise (1 HUF = 0,0621 FRF = 0,034 223 927 FO)	3 454,80
8° En monnaie néerlandaise (1 NLG = 3,0375 FRF = 1,673 996 429 FO)	6 282 757,34
9° En monnaie belge (1 BEF = 0,1633 FRF = 0,089 996 252 FO)	1 799 539,27
10° En monnaie danoise (1 DKK = 0,8709 FRF = 0,479 961 643 FO)	4 204 463,99
11° En monnaie italienne (1 000 ITL = 3,4440 FRF = 1,898 022 618 FO)	1 545 611,09
12° En ECU (1 XEU = 6,5825 FRF = 3,627 681 150 FO)	8 380 864,09

b. Espèces en caisse 4 735,14

ACTIF BRUT 37 991 018,14

c. Créances de la Caisse de prêts sociaux 78 096,80

d. Provision pour remboursement aux États à déduire (1) - 18 649,00

ACTIF NET 38 050 465,94

(1) Compte « Remboursement aux États »

	francs-or
Situation au 1 ^{er} janvier 1993	0,00
Versement par le Chili d'un acompte sur sa contribution de 1990	18 649,00
Situation au 31 décembre 1993	18 649,00

NOTICES NÉCROLOGIQUES

Frederick John LEHANY

1915 - 1994

Fred Lehany, membre honoraire du Comité international des poids et mesures (CIPM) est décédé à Sydney le 6 août 1994 à l'âge de soixante-dix-neuf ans.

Né en Nouvelle-Zélande, il arriva en Australie en 1939, après avoir fait de brillantes études en mathématiques et en physique à l'Université de Nouvelle-Zélande; il y avait obtenu le diplôme de Master of Science. Comme le firent un certain nombre de physiciens australiens entre 1939 et 1945, il passa la Seconde guerre mondiale à travailler sur des projets militaires au Research Laboratory of Amalgamated Wireless (Australasia) Ltd à Ashfield, Sydney. Il devint ainsi expert en radiofréquences et en micro-ondes.

En 1945 Lehany vint au CSIR, l'organisme qui a précédé l'actuel Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) et là, trois ans plus tard, alors qu'il n'avait que trente-deux ans, il prit la direction de la Division of Electrotechnology. C'était l'une des trois Divisions du laboratoire qui s'appelaient alors le National Standards Laboratory, laboratoire dont le rôle à long terme a été de mettre au point un ensemble complet d'étalons nationaux pour les mesures physiques et d'en assurer la dissémination dans tout le pays. Ce laboratoire avait été créé à l'Université de Sydney juste avant la guerre mais son action avait été détournée de sa mission initiale pour les besoins de la défense.

La responsabilité de Lehany s'est accrue au fur et à mesure de la fusion des trois Divisions d'abord pour n'en faire que deux, puis en 1974 une seule; il devint alors directeur du National Measurement Laboratory. Le fait d'avoir dû très jeune assumer une lourde tâche d'administration scientifique a mis un terme prématuré aux travaux personnels de recherche que Lehany aurait pu faire. Mais il a compensé cela, et il est même allé au-delà, en motivant son personnel pour réaliser des travaux qui se classent au meilleur niveau mondial en lui assurant les meilleures conditions pour effectuer des recherches sur les étalons. Les exemples suivants des succès obtenus dans le domaine des étalons électriques illustrent bien

pourquoi le National Measurement Laboratory a atteint rapidement une haute réputation internationale.

Les travaux de A. M. Thompson, D. G. Lampard et W. K. Clothier ont conduit à découvrir un nouveau théorème en électrostatique et à construire un étalon physique très amélioré pour l'unité électrique bien connue d'impédance, l'ohm. Cet étalon se présentait comme un condensateur spécialement conçu et ce prototype du CSIRO a constitué pendant plus de vingt ans la référence mondiale la plus stable de l'ohm. W. K. Clothier et G. J. Sloggett ont effectué une nouvelle détermination absolue du volt en fonction des unités de longueur, de masse et de temps, en se servant d'un électromètre à mercure de conception originale. Les résultats qu'ils ont obtenus ont constitué une contribution majeure à l'adoption en 1990 d'une valeur admise internationalement pour la constante de Josephson, valeur que l'on utilise maintenant dans le monde entier pour les étalons modernes, quantiques, du volt. I. K. Harvey a mis au point des techniques originales pour utiliser la supraconductivité pour les mesures électriques ; il a en particulier mis au point un comparateur cryogénique de courants qui a permis d'augmenter de plusieurs ordres de grandeur l'exactitude avec laquelle on peut comparer des courants électriques. On pourrait continuer longtemps cette liste.

En 1963 Lehany fut élu au CIPM, et en 1968 il devint président du Comité consultatif d'électricité. Peu après il prit en charge aussi la présidence du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences. Il continua à participer de façon active à ces comités jusqu'à ce qu'il démissionne du CIPM en 1980. Il fut alors élu membre honoraire, et J. V. Dunworth, qui présidait alors le CIPM, souligna que Lehany avait apporté à ces comités ses larges et profondes connaissances scientifiques ainsi qu'un art consommé des négociations internationales.

Bien que le Gouvernement australien soit chargé par la Constitution de légiférer en matière de poids et mesures, la première loi mise en vigueur dans ce domaine fut le *Weights and Measures (National Standards) Act* de 1948, ultérieurement remplacé par ce que l'on appelle maintenant le *National Measurement Act* de 1960. Ces Acts conféraient une reconnaissance légale aux étalons de mesure du CSIRO ; ils créaient aussi la *National Standards Commission* pour conseiller le Gouvernement sur toutes les questions de métrologie légale. Lehany fut dès l'origine l'un des membres de cette commission et il l'est resté pendant une trentaine d'années ; avec feu A. F. A. Harper, il y a joué un rôle prépondérant pour en déterminer les futures orientations. L'une des réalisations les plus significatives de cette commission au cours de cette période a été de persuader le Gouvernement d'effectuer en Australie le passage au système métrique.

Lehany apporta un appui important à la *National Association of Testing Authorities*, Australie, qui avait été créée par le Commonwealth Government en 1947 comme l'organisme national chargé de coordonner

l'action des laboratoires d'étalonnage et d'essais. Il fut le premier président du Registration Advisory Committee for Electricity, et ultérieurement siégea à son conseil et à son bureau. Il collabora aussi étroitement avec la Standards Association of Australia.

Au cours des années qui précédèrent sa retraite du CSIRO en 1979, la principale réalisation de Lehany fut la construction pour sa Division d'un grand complexe moderne de laboratoires situé à Lindfield, dans la banlieue de Sydney. Ce complexe, occupé en 1978 et appelé National Measurement Laboratory, a été spécifiquement conçu pour assurer les services matériels et l'environnement requis pour effectuer des mesures de précision. Il est reconnu comme l'une des plus belles installations mondiales pour les mesures et les essais physiques.

Pour une grande part les réussites de Lehany sont dues à ses qualités personnelles. C'était un homme modeste, l'exemple même de celui qui atteint son but avec calme. Il savait établir de fortes relations personnelles dans un large réseau de gens ; il s'intéressait profondément au bien-être et à la carrière de son personnel à tous les niveaux, inspirant le respect, la loyauté et la confiance. Tout en sachant excellentement planifier les choses, il croyait aux solutions directes et de bon sens pour résoudre les problèmes et n'était jamais retors.

Les contributions de Lehany à la science et à la Nation australienne ont été reconnues en plusieurs occasions. En 1976 il reçut le grade de Docteur ès Sciences Honoris causa de l'Université de Sydney, et en 1978 celui d'Officer of the Order of Australia. La grande salle de conférences du National Measurement Laboratory a reçu le nom d'amphithéâtre Lehany pour honorer la mémoire de celui qui fut un collègue et un guide remarquables.

W. R. BLEVIN
Octobre 1994

Tomasz PLEBANSKI

1930 - 1994

Tomasz Plebanski était né le 11 septembre 1930 à Varsovie. À la fin de ses études à la Faculté de mathématiques et de sciences naturelles de l'université de Poznań, en 1952, il travailla pendant deux ans dans le département des antibiotiques de l'Institut de pharmacologie à Tarchomin où il participa aux travaux sur la purification des premiers antibiotiques qui aient été fabriqués en Pologne. De 1954 à 1956 il poursuivit ses études en physicochimie à l'université de Varsovie, où il travailla sur la cryométrie appliquée à la mesure de la pureté des substances chimiques. Sous la direction du Professeur W. Swietoslowski, il soutint en 1960 une thèse de doctorat intitulée *Investigation of cryometric methods using a new kind of dilatometric cryometer*. Il était alors chercheur à l'Institut de physicochimie de l'académie des Sciences de Pologne. En 1961 il fut lauréat d'un concours important organisé par l'Union internationale de chimie pure et appliquée (UICPA) portant sur des méthodes de précision pour mesurer la pureté de substances.

À la suite de son succès, il fut invité par d'autres laboratoires, en particulier le National Bureau of Standards (É.-U. d'Amérique), et il fut élu membre de la Commission pour les mesures et les étalons physicochimiques de l'UICPA. À cette époque le Comité polonais pour la science et les techniques entreprit d'élargir les missions du Bureau polonais pour les mesures et les étalons à la physicochimie et à la chimie pure. Le président de ce Bureau, M. Wojtyla, demanda au professeur Swietoslowski, qui était à l'époque directeur de l'Institut de physicochimie, de trouver un bon candidat pour diriger le département de physicochimie. En octobre 1961, le professeur Swietoslowski recommanda T. Plebanski, alors âgé de trente-et-un ans, en raison de ses compétences en physicochimie et de ses talents pour l'organisation et la gestion.

T. Plebanski organisa un Département de mesures physicochimiques, qui comptait neuf laboratoires et employait 55 personnes, dont quatre assistants professeurs et neuf docteurs. Il mit en place un système organisé pour les matériaux de référence en Pologne qui fut intégré ultérieurement au système de métrologie en physique. Ce travail fut réalisé en collaboration avec divers instituts polonais, tels que l'Institut de métrologie du fer, l'Institut des métaux non-ferreux, l'Institut de physicochimie et l'Institut pour l'industrie organique. Il était aussi en relation avec d'autres comités scientifiques polonais, l'ISO, l'OIML et l'ancien COMECON, ainsi que des instituts métrologiques américains, français, britanniques, bulgares, tchécoslovaques, hongrois et soviétiques. En 1972, T. Plebanski reçut pour

ce travail le titre de professeur extraordinaire de chimie, puis en 1978, le Centre de recherches et de développement sur les matériaux de référence (WZORMAT) fut créé, et il en fut le directeur. Le WZORMAT collabora avec l'Institut des mesures de Lodz à coordonner les efforts polonais pour établir des matériaux de référence et effectuer des recherches sur les matériaux de référence certifiés pour les propriétés physiques et chimiques, et sur les propriétés chimiques des matériaux. Dans les années 1980, le WZORMAT avait produit 260 étalons pour la Pologne et pour l'usage international. En 1960, T. Plebanski avait pris l'initiative de mettre de l'ordre dans ce domaine fondamental des sciences et des techniques en vue de créer un système de référence pour toutes les données physiques et chimiques sur les propriétés des matériaux. Cette idée porta ses fruits en 1984 quand furent créés le Centre national pour les données scientifiques de référence et le Comité national pour les données scientifiques et techniques, dont il fut vice-président de 1978 à 1984, Comité qui collabora étroitement avec la section internationale de CODATA, dont il fut vice-président de 1974 à 1978.

Ce fut avec tristesse que le professeur Plebanski prit la décision de dissoudre le WZORMAT en 1991 en raison de la situation économique difficile que connaissait alors la Pologne. Il prit une retraite précoce, et fut pendant quelque temps conseiller auprès du vice-président du Comité polonais pour les normes, la métrologie et la qualité.

Élu membre du Comité international des poids et mesures (CIPM) en 1983, sa grande expérience dans le domaine des étalons chimiques devint vite inappréciable lorsque le Comité commença à se consacrer au problème de l'analyse chimique quantitative. Il approuva avec enthousiasme la création d'un groupe de travail du CIPM chargé de conseiller le CIPM sur la nécessité d'entreprendre une action dans ce domaine. Quand la décision fut prise quelques années plus tard, en 1993, d'établir un Comité consultatif pour la quantité de matière, il insista pour que les missions de ce comité soient étendues le plus largement possible aux étalons de mesure chimiques.

Avec sa disparition le 20 août 1994, le CIPM a perdu un membre actif et précieux dont il gardera longtemps le souvenir.

T. J. QUINN

(T. J. Quinn tient à remercier A. Michalik et K. Mordzinski pour les informations qu'ils lui ont transmises sur l'œuvre de Tomasz Plebanski en Pologne)

mars 1995

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

REPORT OF THE MEETING

Note on the use of the English text

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

Note sur l'utilisation du texte anglais

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

THE BIPM

AND THE CONVENTION DU MÈTRE

The Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) was set up by the Convention du Mètre signed in Paris on 20 May 1875 by seventeen States during the final session of the diplomatic Conference of the Metre. This Convention was amended in 1921.

BIPM has its headquarters near Paris, in the grounds (43 520 m²) of the Pavillon de Breteuil (Parc de Saint-Cloud) placed at its disposal by the French Government; its upkeep is financed jointly by the Member States of the Convention du Mètre*.

The task of the BIPM is to ensure world-wide unification of physical measurements; it is responsible for:

- establishing the fundamental standards and scales for measurement of the principal physical quantities and maintaining the international prototypes;
- carrying out comparisons of national and international standards;
- ensuring the co-ordination of corresponding measuring techniques;
- carrying out and co-ordinating determinations relating to the fundamental physical constants that are involved in the above-mentioned activities.

BIPM operates under the exclusive supervision of the Comité International des Poids et Mesures (CIPM) which itself comes under the authority of the Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM).

The Conférence Générale consists of delegates from all the Member States of the Convention du Mètre and meets at present every four years. At each meeting it receives the Report of the Comité International on the work accomplished, and it is responsible for:

- discussing and instigating the arrangements required to ensure the propagation and improvement of the International System of Units (SI), which is the modern form of the metric system;
- confirming the results of new fundamental metrological determinations and the various scientific resolutions of international scope;
- adopting the important decisions concerning the organization and development of BIPM.

The Comité International consists of eighteen members each belonging to a different State: it meets at present every year. The officers of this committee issue an Annual Report on the administrative and financial position of BIPM to the Governments of the Member States of the Convention du Mètre.

The activities of the BIPM, which in the beginning were limited to the measurements of length and mass and to metrological studies in relation to these quantities, have been extended to standards of measurement of electricity (1927), photometry (1937), ionizing radiations (1960), to time scales (1988) and to amount of substance (1993). To this end the original laboratories, built in 1876-1878, were enlarged in 1929; new buildings were constructed in 1963-1964 for the ionizing radiation laboratories, in 1984 for the laser work and in 1988 a new building for a library and offices was opened.

* As of 31 December 1994, 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.

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

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

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

1. The *Comité Consultatif d'Électricité (CCE)*, set up in 1927.
2. The *Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie (CCPR)*, new name given in 1971 to the *Comité Consultatif de Photométrie (CCP)* set up in 1933 (between 1930 and 1933 the preceding committee (CCE) dealt with matters concerning photometry).
3. The *Comité Consultatif de Thermométrie (CCT)*, set up in 1937.
4. The *Comité Consultatif pour la Définition du Mètre (CCDM)*, set up in 1952.
5. The *Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde (CCDS)*, set up in 1956.
6. The *Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CCEMRI)*, set up in 1958. In 1969 this committee established four sections: Section I (Measurement of x and γ rays, electrons), Section II (Measurement of radionuclides), Section III (Neutron measurements), Section IV (α -energy standards). In 1975 this last section was dissolved and Section II 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*, the *Comités Consultatifs*, and the *Bureau International* are published under the auspices of the latter in the following series:

- *Comptes rendus des séances de la Conférence Générale des Poids et Mesures*;
- *Procès-Verbaux des séances du Comité International des Poids et Mesures*;
- *Sessions des Comités Consultatifs*.

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

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

Since 1965 the international journal *Metrologia*, edited under the auspices of the CIPM, has published articles on the more important work on scientific metrology carried out throughout the world, on the improvement in measuring methods and standards, on units, etc., as well as reports concerning the activities, decisions, and recommendations of the various bodies created under the *Convention du Mètre*.

MEMBERS
OF THE
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

on 29 September 1994

President

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

Secretary

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

Members

3. W.R. BLEVIN, Chief of the Division of Applied Physics, CSIRO, P.O. Box 218, Bradfield Road, Lindfield NSW 2070, Australia.
Vice-President.
4. P.B. CLAPHAM, Director, National Physical Laboratory, Teddington TW11 0LW, United Kingdom.
5. L. CROVINI, Director, Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Strada delle Cacce 73, 10135 Turin, Italy. *Deputy Secretary.*
6. GAO Jie, acting Director, Joint Laboratory of High Technology Metrology and Measurement, China State Bureau of Technical Supervision, BP 8010, Beijing 100088, People's Rep. of China.
7. K.B. GEBBIE, Director, Physics Laboratory, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899, USA.
8. E.S.R. GOPAL, Director, National Physical Laboratory of India, Dr K.S. Krishnan Road, New Delhi 110012, India.
9. K. IZUKA, c/o National Research Laboratory of Metrology, 1-1-4 Umezono, Tsukuba 305, Japan.
10. R. KAARLS, Director, Nederlands Meetinstituut, P.O. Box 654, 2600 AR Delft, Netherlands.

11. O.V. LOUNASMAA, Low Temperature Laboratory, Helsinki University of Technology, Otakaari 3 A, SF-02150 Espoo, Finland.
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 Rep. *Vice-President*.
15. R. STEINBERG, Department of Physics and Metrology, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, 1101 Buenos Aires, Argentina.
16. Yu V. TARBEYEV, Director General, D.I. Mendeleev Institute for Metrology, Moskovsky prosp. 19, 198005 Saint-Petersburg, Russian Fed.
17. J. VANIER, former Director General, Institute for National Measurement Standards, National Research Council of Canada, Ottawa K1A 0S1, Canada.
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, The Warbuck, Kirk Michael, 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 1995

Director: Dr T.J. Quinn

Length: Mr J.-M. Chartier

Mr R. Felder, Dr S. Picard, Dr L. Robertsson, Dr L. Vitushkin⁽¹⁾,

Mr A. Zarka

Mrs A. Chartier, Mr J. Labot

Mass and related quantities: Dr R.S. Davis, Mr A. Sakuma

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

Miss H. Konaté, Mr P. Moussay, Mrs M. Thomas

Electricity: Dr T.J. Witt

Mr F. Delahaye, Dr D. Reymann

Mr D. Avrons, Mr D. Bournaud

Mr P. Benoit

Radiometry and photometry: Dr R. Köhler

Mr R. Goebel

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

Ionizing radiations: Dr J.W. Müller

Dr P. Allisy-Roberts, Mrs M. Boutillon, Dr V.D. Huynh, Dr G. Ratel

Mr D. Carnet, Mr C. Colas, Mr L. Lafaye, Mr M. Nonis, Mr C. Veyradier

Secrétariat: Miss J. Monprofit

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

Metrologia: Dr D.A. Blackburn

Mrs C. Lawrence

Finance, administration: 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. Angot, Mr C. Dias-Nunes

Workshop: Mr J. Sanjaime

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

Mr A. Gama, Mr A. Montbrun, Mr F. Perez, Mr D. Rotrou,

Mr E. Dominguez⁽²⁾, Mr C. Neves⁽²⁾

Director emeritus: Prof. P. Giacomo

Principal Metrologist emeritus: Mr G. Leclerc

Metrologist emeritus: Mr H. Moreau

(1) Research Fellow

(2) Also caretakers

AGENDA

1. Opening of the meeting; quorum; approval of the agenda.
 2. Report of the Secretary and activities of the bureau of the Comité (October 1993 - September 1994).
 3. Membership of the Comité.
 4. Convocation to the twentieth Conférence Générale des Poids et Mesures.
 5. Comités consultatifs:
 - report of the CCEMRI,
 - report of the CCPR,
 - terms of reference, presidency and membership of the CCQM,
 - future meetings.
 6. Work of the BIPM: Report of the Director.
 7. Administrative and financial affairs:
 - “Rapport aux Gouvernements” for 1993,
 - quitus for 1993,
 - progress report on the 1994 exercise,
 - BIPM pension fund,
 - promotions.
 9. Other business.
-

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

83rd Meeting
(27-29 September 1994)

PROCEEDINGS OF THE SESSIONS HELD AT SÈVRES

D. Kind, President

The Comité International des Poids et Mesures (CIPM) held its 83rd meeting on Tuesday 27, Wednesday 28 and Thursday 29 September 1994. In all, four sessions were held.

Present: Messrs. BLEVIN, CLAPHAM, CROVINI, GAO, Mrs GEBBIE, Messrs. GOPAL, IIZUKA, KAARLS, KIND, KOVALEVSKY, LOUNASMAA, PÂQUET, SIEGBAHN, SKÁKALA, TARBHEYEV and QUINN (Director of the BIPM).

Also attending the meeting: Professor GIACOMO (Director Emeritus of the BIPM); Dr PRESTON-THOMAS (Honorary member of the CIPM); Miss MONPROFIT, Mrs LE COZ (Secretariat).

Apologies for absence were received from: Messrs. STEINBERG and VANIER.

1. Opening of the meeting; quorum; agenda

The President opened the 83rd meeting of the Comité International des Poids et Mesures and welcomed the members present, in particular the three members recently elected, Dr Gebbie, the first lady member of the CIPM, Dr Kaarls and Dr Tarbeye, as well as Professor Giacomo and Dr Preston-Thomas.

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

He noted that the quorum was satisfied, according to Article 12 of the *Convention du Mètre*.

One minute of silence was observed in memory of Tomasz Plebanski, member of the CIPM since 1983, who died on 20 August 1994, and of Fred Lehany, member of the CIPM from 1963 until 1980, and Honorary member, who died on 8 August 1994.

The agenda was adopted.

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

2. Report of the Secretary of the CIPM (October 1993 - September 1994)

Professor Kovalevsky, Secretary of the CIPM, presented the following report, which combines the formal Report of the Secretary, 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, and the Report of the bureau on its actions during the year.

The bureau met three times during the year, twice at the Pavillon de Breteuil and once in Boulder, Colorado, during the Conference on Precision Electromagnetic Measurements (CPEM).

Member States of the Convention du Mètre

In July 1994, the CIPM was officially informed that Singapore has joined the *Convention du Mètre*, bringing the number of member States to 48.

The separation into two Republics of the former State of Czechoslovakia from 1 January 1993, posed the question of what should be done about the entrance fee to the *Convention du Mètre* in such cases.

The bureau proposed that the Comité should decide, at its meeting in September 1994, that for new member States previously beneficiaries of membership of the *Convention* through being part of a former member State, the amount of the entrance fee specified in Article 11 (1875) of the *Convention du Mètre* should be set at zero. Such a decision is within the powers of the Comité according to Article 11. The Comité should be asked specifically to approve the action taken in respect of the Czech and Slovak Republics that they should pay no entrance fee and to approve a proposal that in the *Notification* for 1995 they be asked to pay the difference between a sum paid by Czechoslovakia at the end of 1992 for its 1993 membership and that now calculated to have been due from the two separate States in 1993.

The bureau now asks the Comité to take these actions.

Membership of the Comité International

We were informed on 22 August 1994 of the death of Professor Tomasz Plebanski, member of the CIPM since 1983. His absence will be much regretted, his views were always of great value to the Comité and his support of the BIPM was unflinching. We were also informed of the death of Fred Lehany, Honorary member of the Comité. He was Director of the National Measurements Laboratory, Sydney (Australia), a member of the CIPM from 1963 to 1980, and President of the Comité Consultatif d'Électricité from 1966 to 1980.

Three elections to the Comité have taken place since the last meeting, those of Dr Katherine Gebbie, Dr Robert Kaarls and Professor Yuri Tarbeyev. Dr Gebbie is Director of the Physics Laboratory of the NIST (Gaithersburg), Dr Kaarls is Director of the NMi (Delft) and Professor Tarbeyev is Director of the VNIIM (St. Petersburg). Professor Jan de Boer resigned from the Comité in April 1994 thus bringing to an end a close association with the CIPM which had lasted for some forty years. For much of the time, he was Secretary of the Comité and President of the Comité Consultatif des Unités. At the last Conférence Générale, shortly after his resignation as Secretary of the Comité, he was presented with the insignia of the Légion d'Honneur of the French Republic by Professor J. Hamburger, the then President of the Académie des Sciences. He was elected an Honorary member of the Comité shortly after his resignation.

The twentieth Conférence Générale

The bureau discussed the draft *Convocation* to the twentieth Conférence Générale prepared by the Director and, at its meeting in Boulder, agreed the version distributed to the Comité in July 1994.

The formal procedure for calling a Conférence Générale requires that the *Convocation* be sent to governments of the member States in December for a Conférence in the following October. The final version must, therefore, be agreed by the Comité at its meeting in September. In the *Convocation*, governments of the member States are invited to let the Comité International know of their wishes or any proposals they would like to submit to the Conférence Générale, so that they may be distributed to member States at least four months before the Conférence. The programme of work at the BIPM, including detailed financial provisions for the four year period covered by the Conférence, is prepared in time for it to be sent to member States in the March preceding the Conférence. The four year period covered by the twentieth Conférence Générale begins on 1 January 1997.

Financial Report

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

Accounts	1991	1992	1993	1994
I. — Ordinary funds	11 681 069,08	12 431 411,07	12 113 526,07	18 931 178,64
II. — Pension fund	14 546 368,84	15 364 041,35	16 395 611,25	17 555 532,69
III. — Special fund for the improvement of scientific equipment .	75 627,81	172 765,56	171 995,64	0,00
IV. — Staff loan fund	302 431,48	327 514,70	358 173,05	398 083,17
V. — Building reserve fund.	0,00	0,00	0,00	0,00
VI. — Metrologia	0,00	0,00	0,00	0,00
VII. — Medical insurance reserve fund	0,00	0,00	728 727,58	1 165 671,44
Totals	26 605 497,21	28 295 732,68	29 768 033,59	38 050 465,94

Other business

The bureau discussed various other matters: these included the results of a new actuarial study of the BIPM pension fund, proposals for terms of reference and membership of the new Comité Consultatif pour la Quantité de Matière and some BIPM personnel matters.

There followed a brief discussion on the Report of the Secretary, the President noting that the important items would come up for detailed discussion later in the agenda. Dr Quinn reminded members that the CIPM had been asked formally to approve the specific action of setting to zero the entrance fees to the Convention du Mètre for the Czech and Slovak Republics and to agree that this decision should also apply to any new member State previously a signatory of the Convention du Mètre through being part of a former member State, according to Article 11 of the *Convention du Mètre*. The CIPM unanimously approved these proposals.

3. Draft convocation to the twentieth Conférence Générale

Dr Quinn presented to the Comité the draft *Convocation* to the twentieth Conférence Générale and reminded members that it had to be distributed to member States at least six months before the next Conférence Générale, i.e. before the end of 1994. He noted that the Comité discussion is, therefore, the last chance to modify this document. Many comments had been received and discussed at the bureau of the Comité before the meeting, and the bureau had prepared a new draft.

A detailed discussion took place on the text. It was decided to add in Section 6, Report of the President of the Comité International on work accomplished, a new draft Resolution A on the need to use SI units in studies of Earth resources, the environment, human well-being and related issues. This is based on the recommendation adopted at the Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie in September 1994. In

total, eight draft scientific resolutions were discussed in detail and finally approved. The first three, based on previous recommendations of Comités Consultatifs, were re-written in broader terms, to highlight the important role played by metrology and the organs of the Convention du Mètre in science, industry, trade and the environment. These are draft Resolution A already mentioned, draft Resolution B, on world-wide traceability of measurement standards, and draft Resolution C, on the need for long-term metrological research. Draft resolution D, on the revision of the *mise en pratique* of the definition of the metre, was approved with slight changes in the wording, as was draft Resolution E, on monitoring the stability of the international prototype of the kilogram. Draft Resolution F, on clock comparison by satellite laser techniques, was approved. Draft Resolution G, on metrology in chemistry, and draft Resolution H, on the elimination of the class of supplementary units in the SI, were improved and approved.

Section 17, on the annual dotation of the Bureau International for the period 1997 to 2000, was discussed at length, and many changes were made. Draft Resolution I, on the dotation of the BIPM, was approved. It was finally decided to request an annual increase in the dotation of 5,5 %, assuming an inflation rate of 2 %.

4. Comités Consultatifs

4.1 Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants

Dr Quinn chaired the 13th meeting of the Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CCEMRI) in the absence of Dr Vanier, President of the CCEMRI, who could not attend as he was ill. He presented a brief report on the meeting of the CCEMRI held at the Bureau International des Poids et Mesures on 12 and 13 April 1994.

Reports were presented from the three Sections: I (X and γ rays, electrons), II (Measurement of radionuclides) and III (Neutron measurements). Section I reported on comparisons of air kerma standards and absorbed dose to water standards, and discussed work on standards for radiation protection, brachytherapy and radiation processing. Section II described comparisons of radionuclide standards and the extension of the Système International de Référence (SIR) to pure beta emitters. The activities of working groups were also described. Section III reviewed progress on comparisons of thermal neutron and spectral fluence measurements. Staff members of the BIPM reported on some of their recent work.

Dr Quinn concentrated his remarks on the programme for future work addressed by the section chairmen in their reports.

Dr Simoën, Chairman of Section I, emphasized the proposal that the BIPM should set up and maintain a dosimetry system for comparisons between laboratories. He noted that the national laboratories wish the BIPM to be more involved in the dosimetry of high-energy photons and beta radiation. Although the BIPM cannot install an accelerator for this purpose, Dr Quinn is in favour of close involvement with laboratories which have such facilities, in particular with the LPRI where a new linear accelerator is being installed. The planned increase in staff of the BIPM group working on x and γ rays should make this possible. Work with the LPRI would have great advantages for the BIPM as it would be a way of carrying out useful work and maintaining the competence of the BIPM staff at low cost.

Dr Debertin, Chairman of Section II, emphasized the importance of work on comparisons of radionuclide measurements and the extended SIR, and the role of the latter in quality assurance. Dr Quinn agreed that, as far as was possible, staff levels at the BIPM would be maintained, and said that this would have the full support of the CIPM.

Dr Lewis, Chairman of Section III, stated that the work of this section in holding comparisons of neutron measurements would continue, although without the participation of the BIPM. This would make possible the recruitment of the replacements for Dr Huynh and Mr Lafaye to the x- and γ -ray group of the BIPM, as decided by the CIPM in 1985.

In discussing the ionizing radiations work, Dr Quinn said that traceability was not an end in itself, but a means of providing access to accurate metrology. He emphasized that it is important that the work of the BIPM is at the same level as that in the national laboratories. The BIPM would therefore continue to rely heavily on advice given by members of those laboratories, in particular the members of the CCEMRI.

Dr Quinn concluded it had been a very useful meeting. The President added that everybody seemed to be pleased with the present situation, and thanked Dr Quinn for his part in making the necessary arrangements.

4.2 Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie

Dr Blevin, President of the Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie (CCPR), presented a brief report of the thirteenth meeting of the CCPR held on 14, 15 and 16 September 1994 at the Bureau International des Poids et Mesures. The CCPR was attended by representatives of seventeen national metrology laboratories and was exceptional for its animation.

One of the CCPR's most significant activities since the previous meeting in 1990 had been an international comparison, co-ordinated by the BIPM, of spectral responsivity measurements on silicon photodiodes. A satisfying feature of this comparison was the stability of the photodiodes used

as artefacts. For the visible spectrum, the results from several national laboratories were in excellent agreement and others had been able to use the results of the comparison to identify and eliminate sources of systematic error. For the air-ultraviolet region of the spectrum, however, large and unexplained differences were found between the participating laboratories. Work remains to be done to explain why the results are so poor.

The CCPR also received a report from its working group on air-ultraviolet spectral radiometry, including recommendations for further work in this field. It adopted the recommendations and requested the working group, chaired by the PTB, to continue its work. A pilot international comparison by this working group confirms the need for more accurate standards and measurement techniques in this field.

Five new working groups were set up to plan and carry out the following international comparisons of measurements for the period from 1994 to 1998:

1. Luminous responsivity of $V(\lambda)$ -corrected silicon photodiodes, coordinated by the BIPM;
2. Radiant power measurements based on cryogenic radiometers, but using silicon-trap detectors as circulated artefacts, coordinated by the BIPM;
3. Luminous intensity and luminous flux measurements on lamps, coordinated by the PTB;
4. Measurement of area of radiometric apertures, coordinated by the NIST, and
5. Spectral radiance measurements on strip lamps, coordinated by the VNIIOFI; if there is sufficient interest, the VNIIOFI will organize a comparison in this field.

The CCPR expressed concern that insufficient effort is being made to ensure that all measurements of key parameters for studies of Earth resources, the environment and related issues are in terms of well-characterized SI units. It developed a recommendation on this subject for consideration by the CIPM. Recommendation P 1 (1994), on the need to use SI units in the measurement of key parameters for studies of Earth resources, the environment and related issues, was discussed and approved by the CIPM. Its content being of wide application, the CIPM decided to express it in more general terms and include it in the *Convocation* to the twentieth *Conférence Générale*, as draft Resolution A.

4.3 Comité Consultatif pour la Quantité de Matière

In the absence of Dr Lyons, Chairman of the former CIPM working group on metrology in chemistry established in September 1991, Dr Quinn presented the following report that he and Dr Lyons had prepared.

Report by Dr Lyons and Dr Quinn

At the 82nd meeting of the CIPM in 1993 a Comité Consultatif pour la Quantité de Matière (CCQM) was created and draft terms of reference were adopted. Dr Lyons, the Chairman of the CIPM working group on metrology in chemistry, was asked to undertake the necessary consultations prior to proposing definitive terms of reference and a list of members to the Comité in September 1994.

At a meeting organized at the NIST on 5 and 6 July 1994, the results of the first inter-laboratory study on heavy elements, organized by the working group, were discussed. Those attending the meeting had previously been asked to consider the draft terms of reference of the new Comité Consultatif with a view to discussing them and, if necessary, proposing modifications.

The arguments that led the Comité to create a Comité Consultatif at last year's meeting (*BIPM Proc.-Verb. Com. Int. Poids et Mesures*, 1993, **61**, 122-125) were presented by the Chairman and written comments on the draft terms of reference that had previously been received were distributed. Following a wide discussion, an additional paragraph to the terms of reference was proposed making specific reference to uncertainty of measurement. The creation of the Comité Consultatif was welcomed and concrete proposals were made for its first activities.

The proposed activities of the Comité Consultatif are inspired in part by the results of the first inter-laboratory study carried out by the working group: they include certain activities that should have an influence much wider than simply among the members of the Comité Consultatif. The first inter-laboratory study was a comparison, made using Isotope Dilution Mass Spectrometry (IDMS), of heavy elements in water. The results show, as might have been expected, that the agreement between laboratories was not as good as the uncertainties given by each laboratory imply. Examination of the detailed information given by the participating laboratories shows that significant differences existed in the practice of IDMS among the laboratories. Many of these could be removed quite easily by following procedures developed by the small number of laboratories highly expert in the field. The working group proposed, therefore, that a small task group be established to draw up guidelines for the high-accuracy use of IDMS and at the same time to study the limitations to the accuracy of the method. It appears that no internationally agreed document of this sort exists. The participants at the meeting were of the opinion that such a document would be of great value not only to the metrological laboratories that participated in the study, but also to the much wider community of analytical chemists. It was emphasized that a key component of the document would be the treatment of the uncertainties inherent in the method. The working group also proposed that a second inter-laboratory study be carried out when the guidelines have been prepared and that one or more of the participating laboratories should also participate in one of the International Measurement Evaluation Programme (IMEP) studies,

organized by the Institute for Reference Materials and Measurements, that have been going on for some time. In this way not only will the work of the group (henceforth the Comité Consultatif) be seen to produce the guideline document, but the results of measurements will be directly linked to those obtained during much wider measurement assurance programmes. Although only first and preliminary results are yet available from Study II (analysis of gas mixtures), they indicate that international traceability to SI can be established successfully in this field and that similar useful actions should follow.

Terms of reference

The working group on metrology in chemistry recommended to the CIPM the following terms of reference:

- to advise the CIPM on matters relating to the accuracy of quantitative chemical measurements and traceability to the SI;
- to coordinate the activities of national metrology laboratories in establishing this traceability at the highest level;
- to stimulate the understanding of the concept of uncertainty and the assignment of uncertainty statements in chemical measurements, thereby encouraging the establishment of traceability, taking into account other initiatives at regional and international levels;
- to keep under review the question of whether or not there is a need for a programme of work at the BIPM to support this activity.

Recommended activities

The working group concluded that the following activities should be considered as priorities for the new CCQM:

- Prepare a set of detailed guidelines on the metrological use of IDMS and the critical evaluation of its accuracy;
- Undertake a new international comparison of one inorganic element in solution using these guidelines and incorporating the appropriate statistical design and analysis;
- Undertake an international comparison involving organic analysis;
- Demonstrate the link between the CCQM international comparisons of inorganic elements in solution with the IMEP studies. This could be accomplished by having at least one laboratory successful at achieving the goals of the CCQM studies participate in an IMEP study. Such participation would involve expanding the metrological practice required in the CCQM studies to include considerations of the chemical blank and chemical matrix effects required by the IMEP samples;
- Stimulate the production and evaluation of a few key specialized materials that are needed for CCQM international comparisons activities such as specific isotopic standards;

— Develop a clear and concise strategy for the CCQM member laboratories to disseminate their metrological expertise, thereby providing traceability links down the measurement chain within their own national and regional systems of chemical measurement;

— Establish the scientific criteria for selection of primary or reference methods of chemical analysis;

— Draw attention to the specific chemical measurement problems of chemical blank and matrix effects.

It is recommended that in its deliberations on method guidelines, criteria specifications, and traceability strategies, these issues be explicitly addressed.

The President thanked Dr Quinn for his report and invited members to discuss the presidency and membership of the CCQM.

Presidency

The President proposed Dr Kaarls as President of the new Comité Consultatif, noting that he has a very sound knowledge of this field and will be able to establish the link between metrology and chemistry. The Committee agreed unanimously to this proposal.

Dr Kaarls answered he is very pleased to be President of the CCQM and is convinced that the situation regarding the compatibility of measurements can be improved.

Membership

Dr Quinn continued his report by turning to the issue of membership of the committee. He proposed the following list of members for the Comité Consultatif pour la Quantité de Matière:

Bureau National de Métrologie [BNM]: Laboratoire National d'Essais [LNE], Paris.

D. I. Mendeleev Institute for Metrology [VNIIM], St. Petersburg.

Korea Research Institute of Standards and Science [KRISS], Taejeon.

National Institute of Metrology [NIM]/National Research Centre for Certified Reference Materials [NRCCRM], Beijing.

National Institute of Standards and Technology [NIST], Gaithersburg.

National Physical Laboratory [NPL]/Laboratory of the Government Chemist [LGC], Teddington.

National Research Council of Canada [NRC]: Institute for Environmental Chemistry, Ottawa.

National Research Laboratory of Metrology [NRLM]/National Institute of Material and Chemical Research [NIMC], Tsukuba.

Nederlands Meetinstituut [NMI], Delft.

Physikalisch Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig.

Swedish National Testing and Research Institute [SP], Borås.

Institute for Reference Materials and Measurements [IRMM], Geel.
International Union of Pure and Applied Chemistry [IUPAC].

For the People's Republic of China, Japan and the United Kingdom, where there exist national centres for chemical measurements, Dr Quinn proposed that both the national metrology institute and the national chemistry institute be members.

A discussion followed. Professor Kind noted that, in Germany, the BAM is likely to become a national chemistry institute and will then be proposed as a member laboratory. Dr Clapham congratulated Dr Quinn on his presentation and said that the terms of reference had greatly improved since the version seen last year. He remarked that in the programme for the work of the CCQM the focus appears to be on IDMS, while the early work of this group on gravimetry is not mentioned. He thought it important that this work should continue and be related to that on IDMS and other methods. Only by correlating these primary reference methods could a comprehensive and coherent system of traceability to the mole be established. Dr Kaarls said he is coordinating the gravimetric studies, and that the comparisons are half-way to being completed. He agreed that we should not concentrate solely on IDMS, and both he and Dr Quinn agreed that work will continue on gravimetric methods and be included in the tasks of the new Comité Consultatif. Dr Iizuka approved the improvements to the terms of reference, but said that they should emphasize 'quantitative' chemical measurements.

After discussion, the terms of reference and the list of members of the CCQM were approved.

4.4 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	not before 1996
CCDS	March or April 1996
	Working group on TAI: 13 to 15 March 1995
CCE	14 to 15 June 1995
CCEMRI	Section I: 24 to 26 April 1995
	Section II: 9 to 11 May 1995
	Section III: 27 to 28 April 1995
CCM	May or June 1996
CCPR	no date for the moment
CCQM	19 to 21 April 1995
CCT	1996
CCU	21 to 23 February 1995.

5. Work of the BIPM: Report of the Director

5.1 Work of the BIPM

Dr Quinn briefly introduced the work carried out since the last meeting and invited the scientific staff of the BIPM to present their work to the CIPM, showing, in particular, its part in fulfilling the central mission of the BIPM, to provide the physical basis necessary to ensure world-wide uniformity of measurements (*BIPM Proc.-Verb. Com. Int. Poids et Mesures*, 1984). In each field, this is done by the establishment and maintenance of the realizations of the SI units, by the organization of international comparisons and by fundamental research. He recalled that a visit to the laboratories was scheduled for the afternoon.

The Length section presented its work on interferometry and stabilized lasers, giving particular attention to: the international comparison at $\lambda = 633$ nm carried out in collaboration with regional groups; research on a potential new wavelength standard at $\lambda = 778$ nm, stabilized on Rb, work performed in collaboration with the LPTF, the ENS and the INM/CNAM to provide a standard that shows very good short term stability and is a future candidate for inclusion in the list of recommended radiations for the realization of the definition of the metre; and the first results of the fourth international comparison of absolute and relative gravimeters, the way in which it progressed and the accuracy obtained.

The Mass section described the work carried out to maintain and disseminate the unit of mass through: manufacture of kilogram prototypes, verification of prototypes on request, calibration and comparison of travelling 1 kg stainless-steel standards. Also described was research on balance development and anelasticity, on density measurements, on magnetic susceptibility, on surface analysis and stability of artefacts, and on fundamental limits to mass comparisons. In the field of absolute gravimetry, collaboration with the French gravimetric network (including Sèvres point A) continues, and measurements at the Puy-de-Dôme were presented.

The Time section presented current work on the establishment and dissemination of TAI and UTC, fundamental investigations on time scale algorithms, time transfer methods (a factor of two improvement was noted in GPS time transfer), pulsars (for checks of long-term stability of terrestrial time), general relativity and its role in high accuracy time transfer. It was noted that the computation of TAI will be discussed at a meeting of the CCDS working group on TAI, to be held in March 1995; the BIPM will try to shorten the computation time of TAI while improving its long-term stability.

The Electricity section is responsible for the world-wide coherence of basic electrical standards, through maintenance and calibration of highly accurate representations of SI units of voltage and resistance.

A first comparison of 10 V Josephson standards by means of a transportable apparatus was successfully performed at the LCIE. Zener diode measurements at 10 V and a study on the effects of humidity on the stability of Zener diode based electronic voltage standards at 1,018 V were made. New work was reported on the ac measurement of the quantum Hall resistance at frequencies up to several kilohertz.

The Radiometry section presented the results of the international comparison of spectral responsivity of silicon photodiodes completed in 1994, investigations on the ageing effects of detectors, and the trial comparison, performed with the INM, using the cryogenic radiometer of the BIPM. In photometry, work was centred on the calibration of working standards. In thermometry, an international comparison of triple point of water cells has begun. In the field of pressure, the BIPM manobarometer was compared with a pressure balance in the framework of a medium pressure comparison organized by the CCM.

The Ionizing Radiations section has a central role in providing standards for radiation therapy, protection, processing and testing of ionizing radiations. Emphasis continues to be given to international comparisons. In the field of dosimetry, absorbed dose to water measurements of the ^{60}Co source and a comparison with the new ^{137}Cs source were presented. An international comparison of neutron fluence measurements was carried out, as well as neutron emission rate measurements, with the LPRI and the LNMRI. The International Reference System (SIR) has been extended to pure beta emitters. Finally, new work on counting statistics and the parity method was presented, with reference to Bernoulli numbers.

The President thanked the physicists for their excellent presentations of the work carried out in the past year and their plans for future work.

He then said a few words on the career of Dr Huynh who has worked in the BIPM Ionizing Radiations section since 1972 and will retire in August 1995. He thanked him on behalf of the CIPM and wished him all the best for the future.

5.2 Dépôt des prototypes

The following is the report made at the time of the official visit to the vault in which the metric prototypes are kept:

Visit to the depository of the metric prototypes

RECORD

On 28 September 1994, 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 were assembled: that entrusted to the care of the Director of the Bureau International, that deposited at the Archives Nationales in Paris which Miss F. Glière, *Documentaliste* (archivist) at the Secrétariat général of the Archives Nationales had brought, and finally that kept by the President of the Comité International.

The two iron doors of the vault having been opened as well as the safe, the presence in the latter of the prototypes and their official copies (*témoins*) was verified.

The following indications on the measuring instruments placed in the safe were noted:

temperature	:	21,0 °C
maximum temperature*	:	21,0 °C
minimum temperature*	:	19,5 °C
relative humidity	:	67 %

The safe was then locked, as well as the doors of the vault.

The Director
of the BIPM,
T. J. QUINN

For the curator
of the Archives de France,
F. GLIÈRE

The President
of the CIPM,
D. KIND

6. Administrative and financial affairs

6.1 Administrative and financial affairs

The President welcomed Mrs 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 1993*, and the report of the auditors for 1993. The reports were approved unanimously and the required formal discharge was given to the Director and to the administrator of the BIPM for 1993.

A progress report on the provisional budget for 1994 was presented and approved.

Dr Lounasmaa wondered why the accounts are always presented in gold francs, a currency that no longer exists, and proposed to use the ECU.

* since the last visit.

Dr Quinn answered that the BIPM is not a European organization, and that there exists no world-wide currency unit. He added that some 90 % of the BIPM expenditure is in French francs and that having a unit of account fixed to the French franc gives considerable protection against currency fluctuations. The President agreed that gold francs work well and that it is justifiable to keep the tradition.

Dr Pâquet wondered whether subscriptions might be asked for BIPM publications. The Secretary replied that this would not be a good idea, as it would reduce the dissemination of the SI, and produce no worthwhile financial return.

In reply to a question concerning BIPM salary costs, Dr Quinn replied that he is following the plan drawn up by the CIPM in 1992: during the period 1992 to 1996 it was agreed that salary costs could rise by a maximum of 4 % per annum (including promotions and cost of living rises) but that, by staff reductions over the same period, salary costs for permanent staff in 1996 would be no more than 8,5 % above those in 1992. His plan is to achieve this target. He added that during the intervening years, and 1995 is an example, salary costs might temporarily exceed the agreed level as a result of individual recruitments being made ahead of retirements to smooth the handover of duties. In addition, provision has been made for one or, at most, two short term Research Fellows.

A draft budget for 1995 was presented and approved.

The last document submitted to the CIPM was the *Tableau de répartition de la dotation pour 1995* in the *Notification des parts contributives*.

Uruguay is added to the list of countries whose contributions are distributed among other countries, it now being three years in arrears with its contributions (Article 6 (1921) of the Rules annexed to the *Convention du Mètre*). Singapore is now a signatory of the *Convention du Mètre*.

Dr Kaarls enquired about unpaid contributions from member States. Dr Quinn replied that unpaid contributions remain in the accounts until such time as the member State in question pays them. If they have been distributed, any future payment is first used to reimburse other member States. No mechanism exists for writing off such unpaid contributions and nothing authorizes the French government, as depository of the *Convention du Mètre*, to take any action in this respect.

The *Notification des parts contributives* was approved.

6.2 BIPM pension fund

Dr Quinn presented a report he had prepared on the BIPM pension scheme:

In 1983 the CIPM requested that an actuarial study be made of the BIPM pension scheme. This study was duly carried out and the results were presented to the CIPM at its meeting in 1984. The conclusions of the

BUDGET FOR 1995

INCOME

gold francs

Budgetary income:

1. Contributions from member States	24 451 000
2. Interest on capital	881 000
3. Verification taxes and miscellaneous	182 000
Total	<u>25 514 000</u>

EXPENDITURE

A. Staff expenses:

1. Salaries	11 720 000	} 16 939 000
2. Family and social allowances	1 990 000	
3. Medical insurance	1 074 000	
4. Industrial injuries insurance	45 000	
5. Pension fund	2 110 000	

B. Operating expenses:

1. Furniture	30 000	} 3 838 000
2. Laboratories and workshop	1 296 000	
3. Heating, water, electrical energy	542 000	
4. Insurance	93 000	
5. Printing and publications	260 000	
6. Office expenses	455 000	
7. Travel expenses and freight charges	715 000	
8. General maintenance	399 000	
9. Bureau du Comité	48 000	

C. Capital expenditure:

1. Laboratories	2 808 000	} 3 285 000
2. Mechanical workshop	171 000	
3. Library	306 000	

D. *Buildings* (major maintenance and renovation) 386 000

E. *Miscellaneous and unforeseen expenses* 283 000

F. *Reserves* 783 000

Total 25 514 000

Comité after discussing these results were reported in the Procès-Verbaux (*BIPM Proc.-Verb. Com. Int. Poids et Mesures*, 1984, 52, 26).

In summary, it was concluded that while the financial situation was considered sound at the time, additional funds would be required towards the year 2000 and that the situation should be reviewed in about ten years time.

Ten years have passed since this study was made and, following the suggestion of the Comité made in 1984, we have repeated the exercise. As before, an actuary was asked to examine the pension scheme and make projections of requirements covering the next twenty years.

The principal results of the actuarial study are forecasts of the number of pensioners and of the corresponding amounts of pension payments to be expected over the period of the study. The number of pensioners is expected to double from 24 at present to about 48 by 2010. It will then remain roughly constant but with relatively large fluctuations. The amount of pensions to be paid is expected to increase by a larger amount over the same period, reaching about 3,2 times today's value in 2010. This relative increase in the cost of pensions reflects the increase in the proportion of highly qualified staff recruited since the 1970s. The increase in the ratio of the number of pensioners to the number of active staff (the so-called old-age dependency ratio) from 0,36 to 0,72 is forecast to be similar to that which will occur in all of the major western industrialized countries*. The ratio for a stationary population is about 0,65.

The effect of this large increase in the number of pensioners, expected to begin in 1996, together with the constant (currently falling) number of staff over the coming five years at least, is that the present income of the pension scheme will soon be inadequate. In the absence of corrective action, expenditure will exceed income from 1996 or 1997 onwards and the capital will be exhausted by about 2003. This is clearly an unacceptable prospect.

At present, the pension scheme receives a budgetary contribution equivalent to 16 % of salaries (1 800 000 gold francs in 1994), a staff contribution of 9 % of salary (1 000 000 gold francs in 1994) and interest on capital (1 500 000 gold francs from a capital of 18 000 000 gold francs in 1994). The pensions to be paid in 1994 amount to about 3 300 000 gold francs. The current excess of income over expenditure of the fund, about 1 000 000 gold francs, will thus lead to an increase of capital to 19 000 000 gold francs at the end of 1994.

To meet the significantly increased pension charges forecast by the actuary, Dr Quinn made the following proposals for progressive increases in the funding of the BIPM pension scheme: a) on 1 January 1995 a transfer of 4 000 000 gold francs be made from reserves to the pension fund raising

* See also a recent OECD report: OCDE/GD(93) 185, *Pension liabilities in the seven major economies*, by P. Van den Noord and R. Herd.

the capital to about 23 000 000 gold francs, the budgetary contribution to the pension fund be increased from 16 % to 18 % of salaries and 400 000 gold francs of the notional 1995 savings from medical insurance also be transferred to the pension fund, and *b*) on 1 January 1996 and every subsequent year until 2008 (or until such time as the Comité decides otherwise) the budgetary contribution be increased by a further 2 % of salaries (equivalent to about 1 % of budget) reaching a maximum of about 46 % of salaries (23 % of budget). He did not propose any increase in the 9 % staff contribution to the pension fund as this is already as high or higher than that in most other international or national organizations. If these measures are implemented the pension fund should remain in equilibrium for the foreseeable future.

An annual addition of about 1 % to the budget has been requested of the twentieth Conférence Générale for the years 1997 to 2000 specifically to increase the pension fund. Similar requests are likely to be made to the twenty-first and twenty-second Conférences Générales in 1999 and 2003.

After a discussion of the BIPM pension fund, the CIPM agreed to the proposals presented by Dr Quinn and, following a suggestion from Dr Blevin, asked for a further report to be made in five years time, in 1999.

6.3 Family and lodging allowances

Dr Quinn proposed to increase family allowances and lodging allowances on 1 January 1995 to put them at the same level as those in the Coordinated Organizations. For family allowances this would be the second part of an increase of about 7 % agreed by the Comité in 1993 but to take place in two stages. The lodging allowance, available only to the lower paid staff, has not been increased in real terms since 1984 and is now about 10 % below that of the Coordinated Organizations. The Secretary supported this proposal, which was then accepted by the Comité.

6.4 Promotion

Dr Quinn proposed that Madame M. Boutillon, physicist in the Ionizing Radiations section, be promoted *physicien chercheur principal* at grade 12. Her curriculum vitae was circulated. The CIPM unanimously approved her nomination to *physicien chercheur principal*.

6.5 Metrologia

Dr Blackburn, the editor of *Metrologia*, was invited to join the CIPM meeting for a discussion of *Metrologia*. He said there were high quality articles awaiting publication. The production was more regular than in previous years, and the number of subscriptions remained around 400,

including 40 new subscriptions from US industry, following an advertising campaign.

Dr Quinn expressed his satisfaction with *Metrologia*, noting that the number of subscriptions remains constant. This is in contrast to the situation of most physics journals whose subscription lists have been falling over the past five years. He expressed himself very hopeful that as countries come out of recession *Metrologia* will be well placed to increase its subscription list.

The provisional budget for 1994, and the draft budget for 1995, were presented and approved. The income for 1994 is expected to be lower than expenses by a sum equivalent to about 0,7 % of the BIPM budget, but Dr Quinn takes the view that the benefits brought to the BIPM by *Metrologia* more than compensate. Dr Clapham congratulated the BIPM on the great improvement made to *Metrologia* since taking it over from Springer-Verlag, a sentiment supported by the President who added that the publications of the BIPM are important for the reputation and effectiveness of the Bureau.

The President congratulated Dr Blackburn on *Metrologia*, its publication being an important activity for the reputation of the CIPM.

7. Other business

7.1 Membership of the CIPM

The President informed members of the CIPM that, following the death of Professor Tomasz Plebanski, there is now one vacancy on the CIPM. The curricula vitae of possible candidates were circulated and discussed.

Since the retirement of Professor Jensen, the bureau of the Comité has been without a Deputy Secretary. In order to assure the continuity of the bureau, the President proposed to nominate a deputy secretary, his suggestion being Professor Crovini. Following a secret ballot, Professor Crovini was elected Deputy Secretary. Professor Crovini thanked his colleagues for their confidence and said he will do his best.

7.2 CCDS working group on the application of general relativity to metrology

Professor Kovalevsky presented the report by B. Guinot on the CCDS working group on the application of general relativity to metrology, with an introduction by T. Damour.

He said the working group comprises fifteen persons including representatives of international unions such as the IAU. It discussed the interpretation, use and realization of SI units in the framework of the

theory of general relativity, the Einstein equivalence principle, the delicate problems of space and time, and of the coordinate system of reference widely used in time metrology. It is a real and practical problem to introduce metrological terms in this field, and, as yet, there is no general agreement. During the presentation of the work of the BIPM, P. Wolf described the role of general relativity in time transfer and limitations arising from the uncertainties in the rotation of the Earth and in the geopotential. As noted in his earlier presentation, the definitions used by the astronomical unions are sufficient at present, giving a relative accuracy of 10^{-17} or 10^{-18} . A draft report will be prepared by B. Guinot for presentation, by the end of 1994, at the next CIPM meeting.

Professor Siegbahn suggested that the study be extended to other units of the SI. Professor Kovalevsky answered that the terms of reference of the working group were not limited to time metrology, and the present study will also be concerned with the metre.

7.3 CCM *ad hoc* working group on humidity measurements

Dr Iizuka reported on the first meeting of the CCM *ad hoc* working group on humidity measurements, held on 18 and 19 July 1994 in Turin at the IMGC. The meeting was chaired by Dr Peter Huang from the NIST. Participation was good. The present status of the standards of humidity in each laboratory was examined. A possible international comparison of humidity standards was discussed, but no definite proposal was made. The motivation to have an international comparison on a world-wide scale was very strong, and the working group agreed to make preparations for one.

Professor Crovini also participated in this meeting, the IMGC being involved in humidity measurements. Attention was given to the fact that present knowledge of saturation pressures is not very good; efforts should be made to improve it. The influence of humidity on quantitative chemical analysis and humidity scales was discussed, taking into account the OIML recommendation on mass spectrometry.

Dr Iizuka said that the CCM was concerned to have exact values for the humidity of air, in terms of temperature and chemical measurements. He wondered if this topic should not be transferred to another consultative committee, such as the CCT. Professor Crovini agreed, and it was decided to make the transfer.

7.4 CCM *ad hoc* working group on the Avogadro constant

At the CPEM in Boulder, Professor Crovini suggested to Dr Iizuka that an *ad hoc* working group on the Avogadro constant should be created, under the auspices of the CCM, to discuss the purity and characterization of silicon, discrepancies in measurements of the density of silicon crystals, and generally to coordinate experimental work now going on in a number

of laboratories. Dr Kaarls remarked that this question also concerns the CCQM. Dr Tarbeyev also expressed interest in this question, noting that there are many ways to make silicon, but the equipment is expensive. The President expressed the opinion that it is up to the President of the CCM to decide whether or not to create such a working group. After discussion, it was decided that an *ad hoc* working group on the Avogadro constant will be created under the auspices of the CCM.

7.5 CCT working group on thermodynamic temperatures

Professor Crovini announced the creation of a joint working group, under the auspices of the CCT and the CCPR, on thermodynamic temperature determinations at high temperatures. He noted that advances in radiometry have made it possible to measure thermodynamic temperature directly without the need to use the procedures of the ITS-90. Dr Blevin supported the creation of such a working group, and expressed the opinion that it should be chaired by a member of the CCT. Dr Quinn remarked that the situation is very interesting, as it has always been understood that if thermodynamic temperature could be measured directly, with adequate accuracy, then the *raison d'être* of the ITS-90 would disappear. This may soon be the case at temperatures above the silver point, about 960 °C. Professor Crovini explained that measurements on the ITS-90 are in any case quasi-thermodynamic: this is the reason why the situation can evolve.

7.6 Next CIPM meeting

The CIPM decided that the dates of the next CIPM meeting will be as follows:

5 and 6 October 1995.

The President closed the 83rd meeting of the CIPM thanking everyone present for having contributed to a successful meeting.

DIRECTOR'S REPORT
ON THE ACTIVITY AND MANAGEMENT
OF THE BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
(October 1993 - September 1994)

I. — STAFF

Promotion and change of grade

Rainer KÖHLER, *physicien*, was appointed head of the Radiometry, photometry, thermometry and pressure section from 1 November 1993 and promoted to *physicien principal*.

Appointments

Penelope ALLISY-ROBERTS, born 27 November 1948, in Calcutta (India), previously Director of Medical Physics and Medical Engineering, Southampton General Hospital, was engaged as *physicien* in the Ionizing Radiations section from 1 September 1994.

Manuel NONIS, born 24 March 1964, in Montreuil (Seine-St-Denis), previously in a private firm, was appointed as *technicien* in the Ionizing Radiations section from 1 September 1994.

Re-appointment

Alain ZARKA, formerly a *technicien* in the Length section, was re-engaged as *assistant* in the Length section from 1 September 1993, after an absence of four years taking a Diplôme d'Ingénieur at the Institut Polytechnique des Sciences Appliquées, Bagnolet (France).

Departure

Jacques BONHOURE, *physicien principal*, head of the Radiometry, photometry, thermometry and pressure section retired on 31 October 1993, after 41 years of devoted and effective service during which he most ably maintained the reputation of the BIPM in these fields.

II. — BUILDINGS

Grand Pavillon and Petit Pavillon

Repainting of the exteriors, continuation of repairs to the shutters.

Observatoire

Attic of the Nouvel Observatoire: construction of an air-conditioned room for clocks and time-comparison equipment.

Ionizing Radiations building

Rebuilding of the path to the Ionizing Radiations building.

III. — SCIENTIFIC WORK

1. General introduction

The improvement in our financial situation since 1992 already noted in last year's report has been maintained, with arrears of payment continuing to be received. In consequence, I have allowed laboratory investment to rise to the level foreseen by the Comité in September 1993. A notable event this year was the quadrennial international comparison at the BIPM of absolute and relative gravimeters organized jointly with the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG). Ten absolute gravimeters and thirty relative gravimeters took part over a period of three weeks in May and June. A one-day symposium on gravimetry was attended by some fifty people, most of whom were participants in the comparison. It is planned to publish the proceedings of the Symposium and the results of the comparison of gravimeters, which will first be presented at an IUGG meeting, in a special issue of *Metrologia* in 1995. An important technical contribution of the BIPM to these comparisons, in addition to the data from our own gravimeters, is the verification of the frequencies of the rubidium clocks and stabilized lasers integrated with each absolute gravimeter.

In the Length section, the long-standing BIPM programme of laser frequency comparisons at $\lambda \approx 633$ nm has continued with multilateral comparisons in Helsinki (Finland) in which three Nordic countries participated and in Bratislava (Slovakia) in which lasers from nine countries

in Eastern Europe took part. The collaboration with the ENS (Paris, France) on the determination of a new value of the Rydberg constant has been extended. It now includes the LPTF (Paris, France) and the INM (Paris, France) for the realization of stabilized lasers at $\lambda \approx 778$ nm using the two-photon transitions of $5S_{1/2}$ and $5D_{3/2}$ of rubidium. The first results exhibit a frequency reproducibility about one order of magnitude better than that of the lasers at $\lambda \approx 633$ nm and the frequency stability is better still. A similar collaboration using rubidium-stabilized lasers has also developed with the SP (Borås, Sweden), the MRI (Helsinki, Finland) and the HUT (Helsinki, Finland). These studies have led us to construct wavemeters with which to adjust the frequency of the semiconductor lasers. Other techniques to stabilize the frequency of the lasers, such as super-narrow resonances in iodine vapour driven by polychromatic light at $\lambda \approx 515$ nm, are under investigation. The work on our laser stabilized at $\lambda \approx 10,6$ μm has continued; this year, the work has been concerned mainly with the Fabry-Perot interferometer and the construction of the electronic servo. Tabulation of the calculated hyperfine constants of iodine has continued with the collaboration of the INM (Paris, France).

In the Mass section, much of the work this year was related to last year's completion of the third verification of national prototypes of the kilogram. The BIPM has proposed and carried out a comparison of stainless steel standards among member countries not possessing platinum-iridium (Pt-Ir) prototypes. In addition, within the framework of the Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées (CCM), we are organizing an international comparison of stainless steel standards. Aside from this work, the new flexure-strip balance is nearing completion, significant progress has been made in our understanding of anelastic losses in flexures, gravimetric surface studies of diamond-turned Pt-Ir surfaces have continued, and improvements have been made in our ability to characterize the magnetic and geometric properties of stainless steel standards.

In the Time section, the reference scales TAI and UTC have been regularly computed and published in the monthly *Circular T*. The production of the *Annual Report of the BIPM Time Section for 1993*, Volume 6, has been greatly accelerated with respect to preceding years. Definitive results for 1993 have been available, in the form of computer-readable files, in the BIPM Internet anonymous FTP since 5 April 1994, and printed volumes were distributed at the beginning of May 1994. The TAI scale interval is maintained close to the best realization of the SI second. This is still based almost entirely on the data of a single laboratory, the PTB, where the primary standards CS1 and CS2 are much more accurate than those elsewhere. Since April 1993 the TAI frequency has remained constant with respect to the PTB standards, so no frequency-steering corrections have been applied. The almost universal use of GPS for time transfer and the increasing numbers of the new HP 5071A caesium clocks have considerably improved the stability of TAI and UTC. The

Allan standard deviation of TAI is now below 5×10^{-15} for all periods within the range ten days to eighty days. This improvement in data has stimulated much discussion on possibilities for evolution in the methods of calculation and distribution of TAI and UTC. Work continues on the improvement of GPS time links through the calibration of time delays in GPS receivers and participation in time transfer experiments. We are active participants in studies and experiments involving other time transfer techniques including GLONASS, two-way time transfer and LASSO. An investigation on the application of the theory of relativity to time transfer, at picosecond accuracy, in the vicinity of the Earth has been successfully completed and the results have been published. Work on pulsar time scales is continuing.

In the Electricity section, the first comparisons of 10 V Josephson array standards were made by transporting the BIPM system to the BNM/LCIE (Paris, France). The result was a relative difference between 10 V Josephson standards from the two laboratories of only 1,2 parts in 10^{10} , with a total combined standard uncertainty of 1,2 parts in 10^{10} . For 10 V Josephson array work, a low-noise voltage transfer device was developed. In December 1993 we took our transportable quantum Hall effect (QHE) resistance standard apparatus, including cryostat, magnet and resistance bridge, to the BNM/LCIE and carried out the first on-site comparison of QHE standards. The results demonstrated agreement between measurements made with the two systems to within a few parts in 10^9 , with a combined total standard uncertainty of about the same value. Both the transportable Josephson effect and the QHE apparatus are capable of providing traceability between laboratories with accuracies an order of magnitude or more better than those of conventional travelling standards. Important progress has also been made in the ac measurement of the quantized Hall resistance at frequencies up to several kilohertz. At 1,6 kHz, sections of the resistance plateaus were observed to be flat to within 1 part in 10^8 . From 1 Hz to 1,6 kHz variations in the ratio of the QHR to the resistance of an ac standard resistor were below 2 parts in 10^7 . Results have now been obtained for the variation of output voltage as a function of relative humidity for some 1,018 V Zener voltage standards of the type most often used in precise voltage metrology. Decreases in relative humidity of 0,10 provoked *increases* of between 1,0 μV and 1,5 μV in the 1,018 V outputs of some Zener standards. Our programme of bilateral comparisons of basic electrical standards is attracting interest and this year four national laboratories are participating in them.

In the Radiometry, photometry, thermometry and pressure section, the international comparison of spectral responsivity of silicon photodiodes, begun in 1991, has been completed. It was observed during the comparison that the photodiodes appeared to be subject to an ageing effect after exposure to ultraviolet (UV) radiation. Subsequent measurements at the BIPM have shown that the change in responsivity depends mainly on

the wavelength of the UV radiation and very little on the irradiance level. It does not seem to be a surface effect. A commercial cryogenic radiometer has been purchased from the Oxford Instruments company. The instrument is a new type of radiometer. Many of its design features result from discussions, organized by the BIPM, with possible users of such an instrument and with the manufacturers. The system, installed at the beginning of 1994, is now operational and many tests are being carried out to investigate its repeatability. Currently the repeatability of a series of six electrical substitution cycles for an optical power measurement when compared with the old BIPM absolute radiometric reference, a QED-200 detector, is about 2,5 parts in 10^5 . Measurement series taken on different days, however, can differ up to 1 part in 10^4 . The reasons for this are not yet known and are under investigation. In photometry, the working standards for measurements of distribution temperature have been compared with the group of lamps used in the first international comparison of distribution temperature (1963-1964). Following a decision of the Comité Consultatif de Thermométrie (CCT) at its 18th meeting in September 1993, a comparison of triple point of water cells has been organized. Cells from the USA (Jarret) and Russia (VNIIM) were purchased. Other cells, originating from the Republic of Korea (KRISS), Italy (IMGC) and the UK (NPL) were sent to the BIPM by these laboratories. The triple points were all measured at the BIPM before being sent in groups to the participating laboratories. On their return to the BIPM they will all be re-measured. The comparison is planned for completion before the next meeting of the CCT, provisionally scheduled for 1996. The BIPM manobarometer, which was renovated in 1993, is fully operational again. As a check, it has been compared with a pressure balance that is taking part in a CCM medium pressure comparison. The results of the new measurements agree within their uncertainties, namely about 1 Pa.

In the Ionizing Radiations section, the work is divided into two broad categories, dosimetry and radionuclides. In the γ -ray and x-ray dosimetry field, experiments have been carried out in the ^{60}Co beam to evaluate the influence of such factors as scatter and uniformity of the beam, dose rate and depth in water on the response of ionization chambers calibrated in water. For small chambers, their influence was found to be small. Using the ^{60}Co source, comparisons have been carried out with four laboratories in terms of either air kerma or absorbed dose to graphite. The collaboration with the IAEA has continued with the irradiation in the BIPM water phantom of six sets of three thermoluminescent dosimeters. A determination is being made of the air kerma for the new 1 TBq ^{137}Cs source using a standard in graphite, similar to the one used with the ^{60}Co source. The comparison of neutron fluence measurements at 24,5 keV is in progress using Bonner spheres as transfer instruments. A new calibration of the BIPM neutron source has been carried out so that two final calibrations can be made of neutron sources from laboratories in France and Brazil.

In the radionuclide field, a trial comparison of ^{204}Tl activity measurements is being prepared and will begin in the autumn of 1994. The BIPM is participating in a EUROMET comparison of activity measurements using the liquid-scintillation technique, a technique only recently applied at the BIPM. Since October we have produced nineteen new results from ten laboratories bringing the total to four hundred and forty-nine independent results on fifty-three different γ -ray emitters. Work continues in the field of counting statistics where the application of rigorous mathematical methods is of prime importance. The results of this work, carried out at the BIPM for the immediate purposes of radionuclide metrology, have a much wider interest as witnessed by the contributions made to the problem of uncertainty evaluation.

1.1 Publications, lectures, travel not directly related to individual sections

1.1.1 External publications

QUINN T. J., News from the BIPM, *Metrologia*, 1994, **31**, 55-62.

QUINN T. J., Measure for measure, *Science and Public Affairs*, The Royal Society, London, Summer 1994, 42-48.

1.1.2 BIPM report

QUINN T. J., Metrology, its role in today's world, *Rapport BIPM-94/5*, May 1994, 37 pages.

1.1.3 Travel (committees, visits to laboratories and institutions)

T. J. Quinn visited (*see* also section 3.9):

— Singapore, 27-28 September 1993, where he gave a lecture on the activities of the BIPM and the Convention du Mètre at the Singapore Institute of Standards and Industrial Research;

— Beijing (People's Rep. of China), 30 September-8 October 1993, where he gave a lecture on the activities of the BIPM at the National Institute of Metrology, and also visited the National Laboratory of Chemical Metrology and Beijing University;

— Tsukuba (Japan), 9-15 October 1993, for discussions at the National Research Laboratory of Metrology and the Electrotechnical Laboratory, and to give a lecture in Tokyo entitled "Metrology, its role in today's world" to the Japanese Instrument Manufacturers Federation;

— Ottawa (Canada), 26-27 October 1993 and 9-10 June 1994, to attend meetings of the NRC Advisory Board of the Institute for National Measurement Standards;

— Gaithersburg (USA), 28-29 October 1993, for discussions at the NIST;

— Brussels (Belgium), 29 November 1993, where he gave a lecture entitled “The need for accuracy in measurements” to a workshop organized under the auspices of the Measurement and Testing Programme of the Commission of the European Union;

— Braunschweig (Germany), 31 January 1994, for discussions at the PTB;

— Geel (Belgium), 22 February 1994, for discussions at the Institute for Reference Materials and Measurements of the Commission of the European Union;

— Chicago (USA), 3-4 March 1994, to present a paper on the CIPM’s role in metrology in chemistry at a workshop organized by CITAC (Cooperation on International Traceability in Analytical Chemistry) during the Pittsburgh Conference;

— London (United Kingdom), 8 March and 6 June 1994, to attend meetings of the Royal Society, Paul Instrument Fund, 8 November and 22 April 1994, to attend meetings of the editorial board of *Reports on Progress in Physics*;

— Paris (France), 8 March 1994, at the École Normale Supérieure where he gave a lecture entitled “The kilogram and prospects for a new definition of the unit of mass”, 4 May 1994, at the CNAM, where he gave a lecture entitled “The origins of thermometry and the development of temperature scales” and at the Laboratoire Aimé Cotton, 31 May 1994, where he gave a lecture entitled “The beam balance and certain gravitational experiments carried out with it”;

— Turin (Italy), 14 April 1994 and 13 July 1994, to attend meetings of the Scientific Council of the IMGC;

— Teddington (United Kingdom), 19-20 April 1994, to give a lecture entitled “Accuracy and traceability in measurements” at a meeting, “Reference materials, bringing order out of chaos” organized by the Laboratory of the Government Chemist;

— Oslo (Norway), 19-20 May 1994, where he attended a meeting of the EUROMET committee;

— Boulder (USA), 27 June-1 July 1994, to participate at the CPEM and present a joint paper with D. Kind (PTB) entitled “Metrology: Quo Vadis?”;

— Gaithersburg (USA), 5-6 July 1994, to attend a meeting of the CIPM working group on metrology in chemistry.

D. A. Blackburn visited:

— Braunschweig (Germany), 6-7 April 1994, for discussions at the PTB on the editing of scientific journals.

1.2 Activities related to external organizations

T. J. Quinn regularly attends meetings of the Scientific Council of the IMGC (Turin), 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, the Advisory Committee of the NRC Institute for National Measurement Standards (Ottawa) and the Comité Scientifique of the Laboratoire de l'Horloge Atomique (Orsay). He is a member of the editorial board of the Institute of Physics journal *Reports on Progress in Physics* and is a Royal Society representative on the Paul Instrument Fund. He is a member of a fundamental physics *ad hoc* working group of the European Space Agency.

2. Length (J.-M. Chartier)

2.1 General remarks

Our programme of laser comparisons at $\lambda \approx 633$ nm, established many years ago and designed to service regional groups, has been further extended this year. At the meeting in Helsinki (Finland), six laboratories from Northern Europe took part and at that in Bratislava (Slovakia), nine laboratories from Eastern Europe took part. The collaboration with the ENS (Paris, France) has been pursued and extended to the LPTF (Paris, France) and the INM (Paris, France) for the realization of stabilized lasers at $\lambda \approx 778$ nm using the two-photon transitions of $5S_{1/2}$ and $5D_{3/2}$ in rubidium. The first results exhibit a frequency reproducibility about one order of magnitude better than that of the 633 nm lasers and the frequency stability is better still. A similar collaboration for stabilized lasers at $\lambda \approx 778$ nm has also developed with the SP (Borås, Sweden), the MRI (Helsinki, Finland) and the HUT (Helsinki, Finland). These studies have led us to construct wavemeters with which to monitor the frequency of the semiconductor lasers. Other techniques to stabilize the frequency of the lasers, such as super-narrow resonances in iodine vapour driven by polychromatic light at $\lambda \approx 515$ nm, are under investigation. An important part of our time this year has been devoted to gravimetry. It was necessary, in particular, to test our Axis gravimeter and to take part in the organization and management of the fourth international comparison of gravimeters. For this latter task, the BIPM provided the means of calibration for the rubidium clocks and stabilized lasers. Work on our stabilized laser at $\lambda \approx 10,6$ μm has continued; this year, work has been concerned mainly with the Fabry-Perot interferometer and the construction of the electronic servo. Tabulation of calculated hyperfine constants has continued with the collaboration of the INM (Paris, France).

2.2 Length measurement

2.2.1 Classical length measurement

This year, no activities were undertaken in the field of classical length measurement.

2.2.2 Laser interference diffractometer (L. Vitushkin)

Many national laboratories are working with length measurements in the micrometre (1 μm to 1000 μm) and nanometre (1 nm to 1000 nm) ranges. For these measurements, high-resolution optical microscopes, electron beam microscopes, scanning tunnelling microscopes and atomic force microscopes are used. Special short-length line scales are used for calibration of these measuring instruments. For more detailed investigations of the problems of the realization of the metre in the micrometre and nanometre ranges, the calibration of the measuring instruments and their comparisons, the BIPM has begun to develop a new kind of high-resolution laser interference diffractometer for measurements of periodic short-length line scales. The optical layout of the Laser Interference Diffractometer (LID) has been developed. The main parts of the experimental set-up, for measurement of the spacing of diffraction gratings and periodic line scales for calibration of electron beam microscopes, have been designed. The characteristics of a special optical microscope for accurate measurement of the fringes of the interference pattern in the LID has been assessed, and the instrument has been designed and manufactured by Aozt Optis (Russia).

2.2.3 Wavemeter (L. Robertsson, J.-M. Chartier, X. Ducret*)

The relatively large tuning range of semi-conductor and solid-state lasers increases the possibility of finding good molecular or atomic resonances for use in the frequency stabilization of lasers. At the same time, once a suitable resonance has been identified, the range within which it must be sought is very large relative to the width of the resonance itself, so some way to obtain an approximate value for the wavelength is required. During the last year we have therefore started to construct an equipment to make medium resolution wavelength measurements. Two different wavemeters are being prepared. One is a commercial Jaeger-Thomson Lambda-meter given to the BIPM by the company. This is an automatic fringe-counting interferometer which displays the numerical value of a laser wavelength in real time. The spatially separate reference and unknown laser beams traverse a Michelson

* Guest worker.

interferometer whose mirrors are corner cube reflectors on a moving platform. Originally this design was proposed by Dr J. L. Hall (JILA, Boulder, USA). New fringe-counting electronics is under construction and will be adaptable for use with other types of Lambda-meter. The second wavemeter is an in-house design, with simplified mechanics, which could be made in several examples as needed for our projects. This wavemeter is based in the principle that by a combination of rotational movements it is possible to accomplish a linear movement. The constant angular momentum of the most massive parts then gives a smooth movement of the corner cube. Preliminary tests look promising.

2.3 Lasers

2.3.1 Iodine-stabilized argon lasers at $\lambda \approx 515$ nm using external cells

i) *FM-side band spectroscopy technique* (L. Robertsson, S. Picard)

There has been little experimental activity using the FM-side band spectroscopy technique this year. This system has instead been used for the investigation of an alternative spectroscopy technique (*see below*).

Hyperfine line splittings measured last year by beat measurements have been used to calculate the frequency repeatability of the laser system. The standard uncertainty of a measured component matrix with nearly 200 measurements is less than 2 kHz.

ii) *Super-narrow resonances in tri-chromatic laser fields* (L. Vitushkin, L. Robertsson)

The experimental set-up for investigation of the interaction of tri-chromatic laser fields (two pump fields and one counter-travelling probe field) with iodine vapour at $\lambda \approx 515$ nm has been developed. The spectral shape of the absorption coefficient of the probe field was measured:

a) when the frequency intervals between the three light fields were equidistant and were scanned simultaneously through the transition frequency;

b) when the frequencies of the pump fields were fixed symmetrically with respect to the transition frequency and the probe frequency was scanned through the transition frequency.

The frequency spacings between the fields were varied in the range from a few kilohertz to a few megahertz, that is over a frequency range spanning a factor of 10^3 and geometrically centred on the assumed value of the Rabi frequencies. The intensities of the pump and the probe field were less than that of the saturated absorption (30 mW/cm^2). The value of the Rabi frequency (about 100 kHz) was estimated from data on the lifetimes of the hyperfine sublevels of iodine.

The theoretical analysis of super-narrow resonances continues. The model used proposes that the absorption coefficient being measured depends on the geometry (counter-travelling or uni-directional beams). Computer calculations of the absorption coefficient of the probe field for pump fields with intensity less than saturation intensity have been performed at the VNIIM (St. Petersburg, Russia).

2.3.2 Iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda \approx 543,5$ nm using external cells (J.-M. Chartier)

We have not yet had time to try the new short laser tubes designed to avoid the parasite mode problem met last year. A project of collaboration involving the PTB (Braunschweig, Germany), the ISI (Brno, Czech Republic), the OMH (Budapest, Hungary) and the BIPM concerning the realization of an iodine-stabilized laser étalon, for metrology at $\lambda \approx 543$ nm, has been proposed to the Commission of the European Union.

2.3.3 Iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda \approx 612$ nm using internal and external cells (L. Robertsson, J. Labot)

The study of frequency shifts related to the geometry and position of the detector used for the detection of the $3f$ signal of lasers stabilized to external iodine cells has concluded [2]. It was found that the distribution of the $3f$ signal differs from a Gaussian intensity profile in a way which depends on the frequency detuning of the laser. The effect can only be seen when the laser light is in resonance with the molecular transition. If the detector used does not detect the full beam this can, in the worst case, result in frequency shifts of up to tens of percent of the half width of the resonance. Similar studies have begun with lasers at $\lambda \approx 612$ nm equipped with internal iodine cells. First results show similar effects for this type of laser.

2.3.4 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 two portable lasers BIPMP1 and BIPMP3, which are currently used for international comparisons made outside the BIPM, have been compared several times against the stationary reference laser BIPM4. All the frequency differences measured were within ± 5 kHz (± 1 part in 10^{11} in relative terms).

Verification of the frequency of the laser used in the BIPM gravimeter led to:

$$6 \text{ June } 1994 \quad f_{\text{BIG}} - f_{\text{BIPM4}} = + 3,9 \text{ kHz}, \quad s = 3,2 \text{ kHz},$$

where s is the estimate of standard uncertainty.

ii) *International comparisons*

In June 1992, at the BIPM, a comparison between the CSMU (Prague, Czech Republic), represented by lasers PL3 and PL4, and the BIPM, represented by the lasers BIPM4 and BIPM7, gave the following results:

a) using the third harmonic technique for all lasers,

$$\begin{aligned} f_{\text{PL4}} - f_{\text{BIPM4}} &= + 10,9 \text{ kHz}, & s &= 0,2 \text{ kHz}, \\ f_{\text{BIPM7}} - f_{\text{BIPM4}} &= - 4,9 \text{ kHz}, & s &= 0,6 \text{ kHz}; \end{aligned}$$

b) using the fifth harmonic technique for the PL4 and BIPM7 lasers, which is made possible by a CSMU electronic system, and the third harmonic technique for the BIPM4 laser,

$$\begin{aligned} f_{\text{PL4}} - f_{\text{BIPM4}} &= + 33,9 \text{ kHz}, & s &= 0,1 \text{ kHz}, \\ f_{\text{BIPM7}} - f_{\text{BIPM4}} &= + 31,8 \text{ kHz}, & s &= 3,0 \text{ kHz}. \end{aligned}$$

This year at the BIPM, using an in-house electronic system producing third and fifth harmonic signals for the BIPM7 laser, we obtained a frequency difference of about 22 kHz on changing from one harmonic to the other. The results systematically exhibit a higher frequency when the fifth harmonic is used. Additional experiments are required to explain these results.

In October 1993, the Institute of Atomic Physics (Bucharest, Romania) brought a new stabilized laser, R01, to the BIPM to be tested. Although improvements were observed with respect to the laser presented two years ago, considerable time was spent on the electronic servo by G. Popescu (Romania) and A. Zarka. Finally, the R01 laser was compared with the laser BIPM7 and gave the following result:

$$f_{\text{R01}} - f_{\text{BIPM7}} = - 38,6 \text{ kHz}, \quad s = 1,3 \text{ kHz}.$$

In October 1993, three countries and the BIPM took part in a comparison at Helsinki (Finland). Sweden was represented by laser SP2 of the SP (Borås); Denmark by lasers DK1 and DK2 of the DFM (Lyngby); Finland by laser MRI3 of the Center for Metrology and Accreditation (Helsinki) and the HUT (Helsinki), and by lasers HUA and HUB of the Accelerator Laboratory of the University of Helsinki; and the BIPM by laser BIPMP3.

The frequency differences obtained between each laser and laser BIPMP3 are given below:

$$\begin{array}{ll}
 f_{\text{SP2}} - f_{\text{BIPMP3}} = - 7,6 \text{ kHz}, & s = 3,4 \text{ kHz}, \\
 f_{\text{DK1}} - f_{\text{BIPMP3}} = - 9,8 \text{ kHz}, & s = 3,7 \text{ kHz}, \\
 f_{\text{DK2}} - f_{\text{BIPMP3}} = - 61,7 \text{ kHz}, & s = 15,5 \text{ kHz}, \\
 f_{\text{MRI3}} - f_{\text{BIPMP3}} = - 2,9 \text{ kHz}, & s = 1,5 \text{ kHz}, \\
 f_{\text{HUA}} - f_{\text{BIPMP3}} = - 0,5 \text{ kHz}, & s = 0,9 \text{ kHz}, \\
 f_{\text{HUB}} - f_{\text{BIPMP3}} = + 3,5 \text{ kHz}, & s = 1,7 \text{ kHz}.
 \end{array}$$

The shifted frequency of laser DK2 is certainly due to a very high intracavity power.

In April 1994, six countries and the BIPM took part in a comparison at Bratislava (Slovakia). Slovakia was represented by the SMU (Bratislava), the Czech Republic by the CMI (Prague) and the ISI (Brno), Hungary by the OMH (Budapest), Russia by the VNIIM (St. Petersburg), Poland by the COM (Warsaw), Bulgaria by the NCM (Sofia). The SMU had also invited the Ukraine which was represented by the KIM (Kharkov). The final frequency differences have not yet been calculated, but the rough results show frequency discrepancies of about the same order of magnitude as the standard uncertainty given in the *mise en pratique* (1992), that is to within 2,5 parts in 10^{11} .

iii) Other comparisons

At Madrid, the BIPM took part in the first comparison between the two primary standards of the CEM (Madrid, Spain); the results were:

$$f_{\text{AXIS}} - f_{\text{SEXTANT/BIPM}} = - 17,5 \text{ kHz}, \quad s = 2,5 \text{ kHz},$$

and after dc offset adjustments

$$f_{\text{AXIS}} - f_{\text{SEXTANT/BIPM}} = - 3,6 \text{ kHz}, \quad s = 3,0 \text{ kHz}.$$

At the BIPM, the frequencies of two iodine-stabilized lasers, which are normally used on the absolute gravimeter of the GSI (Mizusawa, Japan), were checked against BIPM4 laser, giving:

$$\begin{array}{ll}
 f_{\text{NIKON}} - f_{\text{BIPM4}} = - 62,5 \text{ kHz}, & s = 5,0 \text{ kHz}, \\
 f_{\text{JAEGER/BIPM}} - f_{\text{BIPM4}} = + 23,0 \text{ kHz}, & s = 2,3 \text{ kHz}.
 \end{array}$$

2.3.5 Rubidium-stabilized laser diodes at $\lambda \approx 778$ nm using the hyperfine components of $5S$ - $5D$ two-photon transitions (R. Felder, J. Aman*, A. Zarka)

i) At the LPTF (Paris, France), in collaboration with the INM (Paris, France) and the Kastler-Brossel laboratory of the ENS (Paris, France), we have developed two devices in which a commercial GaAlAs laser diode is frequency stabilized on a hyperfine component of the $5S_{1/2}$ - $5D_{(3/2, 5/2)}$ two-photon transitions in rubidium ($\lambda \approx 778$ nm). First results show very promising metrological characteristics. The short term frequency stability, in terms of Allan variance, is about 3 parts in $[10^{13} \times (\tau/s)^{-1/2}]$ up to 2000 s, the frequency repeatability is 5,2 parts in 10^{13} and the frequency difference between the two devices is 4,4 parts in 10^{12} . A portable device is being constructed at BIPM: the assembly of mechanical parts, designed and fabricated by the BIPM workshop, is currently in progress.

ii) A new design for extended cavity semi-conductor lasers has been developed in collaboration with the SP (Borås, Sweden) and the MRI/HUT (Helsinki, Finland). Passive stability, especially with respect to temperature drifts, has been emphasized. One laser of this design is being used in atomic trapping experiments at the MRI, and has a passive stability of ± 4 MHz over 1 hour ($\pm 2,5$ parts in 10^9). This is comparable with the best values quoted in the literature. Three lasers following this design have been built at the BIPM. Two are used in the Rb experiments. The mechanical part, built in the BIPM workshop, and the optical set-up are complete, and electronics adapted for the special needs of this design are being developed. The first experiments are planned for autumn 1994. Several transitions in Rb lie within the tuning range of these lasers (785 nm ± 15 nm). The intra-cavity electro-optical modulation technique will be used for FM-spectroscopy of the two-photon $5S_{1/2}$ - $5D_{(3/2, 5/2)}$ transitions ($\lambda \approx 778$ nm) in an external enhancement cavity. Some research on the saturation spectroscopy of the $5S$ - $5P$ transitions ($\lambda \approx 780$ nm and $\lambda \approx 795$ nm) is also planned.

2.3.6 Methane-stabilized He-Ne lasers at $\lambda \approx 3,39$ μm using internal and external cells (R. Felder)

i) *General activities* (with D. Rotrou)

The construction and the study of He-Ne laser tubes continues. We are now studying a process to allow the use of Brewster windows made of sapphire. The special glass needed for this experiment, as well as necessary technical information, were kindly given by Mr Hallier (CNRS, Verrières, France). The Mallory bonding process we studied last year has

* Guest worker.

been discontinued until we know why the fluoride glass samples were damaged. An analysis is in progress at Le Verre Fluoré, the company which furnished us with these optical components.

ii) *Collaboration with other laboratories*

Collaboration with M. Gubin (Lebedev Institute, Moscow, Russia) and G. Cramer (PTB, Braunschweig, Germany) has been proposed to the International Association for the Promotion of Cooperation with Scientists from the Independent States of the former Soviet Union. The development of a portable (He-Ne)/CH₄ laser at $\lambda \approx 3,39 \mu\text{m}$, in which the hyperfine magnetic structure of the F₂² line is resolved, would allow the BIPM to obtain a reference frequency with a reproducibility of a few parts in 10¹³.

2.3.7 CO₂ laser at $\lambda \approx 10,6 \mu\text{m}$ using an external cell containing SF₆ (S. Picard)

Work on the stabilized CO₂ laser continues: the laser now gives a Gaussian beam with a power of order 1 W. The optical components of a 1,75 m long Fabry-Perot interferometer have been mounted and the characteristic interference pattern has been observed. The eigen-frequencies of the piezo-electric ceramics have been measured. Some modules which form part of the electronic servo-system for the laser and interferometer have been constructed and others are in progress. After adjustment of the optical mounts during the spring of 1994, we hope to start using SF₆. Helpful comments from Dr O. Acef and Mr J.-P. Berthet are acknowledged.

2.3.8 Frequency synthesis chain for measuring the absolute frequency of iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda \approx 633 \text{ nm}$ (R. Felder)

We are developing a set up for the measurement of the absolute frequency of (He-Ne)/I₂ lasers operating at $\lambda \approx 633 \text{ nm}$. Indeed, their frequency can be determined with an accuracy of some parts in 10¹², in a simple way, by comparison with the sum of the emitted frequencies of the (He-Ne)/CH₄ laser at $\lambda \approx 3,39 \mu\text{m}$ and that of a GaAlAs laser diode frequency stabilized on a hyperfine component of the 5S_{1/2}-5D_(3/2, 5/2) two-photon transitions in rubidium at $\lambda \approx 778 \text{ nm}$.

2.3.9 Iodine cells

i) *Filling and frequency control of cells* (J.-M. Chartier, A. Chartier, J. Labot)

This year twelve saturated cells (denoted type S) and four non-saturated cells (denoted type N) were filled. Their frequencies were calibrated using the beat frequency technique and most were sold to metrological laboratories.

ii) *Laser-induced fluorescence* (S. Picard)

Measurements of relative impurity concentration in iodine glass cells using the laser-induced fluorescence technique at $\lambda \approx 502$ nm continue. The relative impurity content of twenty-five cells has been measured since the last report and some have been sent to other laboratories. A new laser has been bought and equipped with an optical fibre. The experimental set-up has been transferred to another laboratory and some parts have been modified.

2.3.10 Hyperfine structure (S. Picard)

In collaboration with Dr A. Razet (INM, Paris, France) a tabulation of hyperfine structure constants, calculated from numerous measurements and covering many years, is being made.

2.3.11 Diode lasers in the visible red spectrum, with I₂ as reference
(J. Åman, A. Zarka)

A problem in the use of diode lasers is the poor beam quality in the standard extended cavity configuration, including astigmatism and ellipticity, which makes it difficult to control the parameters governing intra-cavity absorption spectroscopy. This prevents the construction of compact transportable lasers. A promising possibility is that hyperfine components of I₂ with stronger absorption, lying outside the He-Ne tuning range, are accessible: lasers with higher stability are thus possible. A laser to the design used for near-infrared diode lasers has been built and adapted for the visible. Different techniques for stabilization to external cells are under study. These include the transfer modulation spectroscopy technique, improvement of the cavities studied, and examination of the components of I₂ within beat-frequency range from the He-Ne lasers, most notably, the 6-3, P(33) transitions. Some research on alternative laser cavity configurations using intra-cavity spectroscopy is being pursued. The work on visible diode lasers has been carried out in collaboration with SP (Borås, Sweden) and MRI/HUT (Helsinki, Finland). For this reason, the laser was sent to the SP (Borås, Sweden) for the period November-December 1994 and was the subject of studies carried out with the participation of the MRI (Helsinki, Finland).

2.4 Publications, lectures, travel: Length section

2.4.1 External publications

1. MILLERIOUX Y., TOUAHRI D., HILICO L., CLAIRON A., FELDER R., BIRABEN F., DE BEAUVOIR B., Towards an Accurate Frequency Standard at $\lambda \approx 778$ nm Using a Laser Diode Stabilized on a Hyperfine

Component of the Doppler-Free Two-Photon Transitions in Rubidium, *Opt. Commun.*, 1994, **108**, 91-96.

2. ROBERTSSON L., Line-shape distortion due to self-focusing effects when using frequency modulation techniques in saturation spectroscopy, *J. Mod. Opt.*, 1994, **41**, 1327-1337.
3. VITUSHKIN L. F., ZEILIKOVICH I. S., KOROTKOV V. I., PUL'KIN S. A., High Precision Measurements of the Groove Spacing of Diffraction Gratings Using the Interference Diffractometer and Study of the Quality of Diffraction Gratings, *Opt. Spectrosc.*, 1994, **77**, 129-135.

2.4.2 BIPM report

4. PICARD S., Realization of a stabilized carbon dioxide laser system at the BIPM. Part I: Construction of the carbon dioxide laser, *Rapport BIPM-94/10*, 32 pages.

2.4.3 Lectures and presentations

J.-M. Chartier, P. Balling, J. Blabla, M. Ziegler and A. Chartier, gave a poster presentation at the CPEM'94 entitled "International Comparison of $^{127}\text{I}_2$ Stabilized He-Ne Laser at $\lambda \approx 633$ nm Using the Third and/or the Fifth Harmonic Locking Technique", *CPEM'94 Digest*, 1994, 329-330.

J.-M. Chartier, A. Chartier, J. Labot and W. Winters, gave a presentation at the Joint Symposium of the International Gravity Commission (IGC) and the International Commission on the Geoid (ICG) entitled "Absolute Gravimeters: Status Report on the Use of Iodine-Stabilized He-Ne Lasers at $\lambda \approx 633$ nm".

R. Felder, J.-J. Zondy, O. Acef, D. Touahri, A. Clairon, Y. Millerioux, F. Biraben, L. Julien and F. Nez, gave a presentation at the EFTF'94 entitled "Absolute Frequency Measurements in the Visible and Near Infrared Ranges".

R. Felder, L. Julien, F. Biraben, Y. Millerioux and P. de Natale, gave a presentation at the CPEM'94 entitled "Determination of the Rydberg Constant by Direct Frequency Measurement", *CPEM'94 Digest*, 1994, 400.

R. Felder, Y. Millerioux, D. Touahri, O. Acef, L. Hilico, A. Clairon, F. Biraben, B. de Beauvoir, L. Julien and F. Nez, gave a presentation at the CPEM'94 entitled "A Potential New Frequency/Wavelength Standard at 778 nm: Doppler-Free Two-Photon Transitions in Rubidium", *CPEM'94 Digest*, 1994, 169-170.

R. Felder, D. Touahri, J.-J. Zondy, O. Acef, L. Hilico, F. Nez, A. Clairon, Y. Millerioux, F. Biraben and L. Julien, presented a poster at the CPEM'94 entitled "LPTF Frequency Synthesis Chain: Results and Improvement for the Near Future", *CPEM'94 Digest*, 1994, 325-326.

R. Felder, B. Cagnac, B. de Beauvoir, F. Nez, F. Biraben, L. Julien, D. Touahri, M. Abed, L. Hilico, O. Acef, A. Clairon, J.-J. Zondy and Y. Millerioux, presented a poster at the ICAP14 entitled "High Resolution Spectroscopy and Absolute Frequency Measurement of 5S-5D Two-Photon Transitions in Rubidium".

L. Robertsson, L. Vitushkin, S. V. Lazaryuk, S. A. Pul'kin, and G. I. Toptygina gave a poster presentation at the CPEM'94 in Boulder entitled "Resonances with Sub-natural Line Width in Iodine Vapour Driven by a Polyharmonic Laser Light Field at $\lambda \approx 515$ nm", *CPEM'94 Digest*, 1994, 331-332.

L. F. Vitushkin, V. I. Korotkov, S. A. Pul'kin gave a presentation at the CLEO-Europe 94, entitled "High-precision measurement of the period of diffraction gratings using a laser interference diffractometer", *CLEO-Europe Digest*, 1994, 72.

2.4.4 Travel (committees, visits to laboratories and institutions)

J.-M. Chartier visited:

— the Accelerator Laboratory of the University of Helsinki (Helsinki, Finland), 10-16 October 1993, to take part in a laser comparison;

— the CEM (Madrid, Spain), 1-2 March 1994, at the invitation of Dr E. Prieto, and checked the performance of two reference iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda \approx 633$ nm and of the beat frequency system;

— the SMU (Bratislava, Slovakia), 9-23 April 1994, to make comparisons, involving nine laboratories, of iodine stabilized lasers at $\lambda \approx 633$ nm;

— the JILA (Boulder, USA), 25 June-2 July 1994, to make comparisons of iodine-stabilized lasers at $\lambda \approx 633$ nm and to take part in the CPEM'94;

— the CEM (Madrid, Spain), 25 July-5 August 1994, as part of a BCR programme, to make comparisons of iodine-stabilized lasers at $\lambda \approx 633$ nm involving Spain and Portugal;

— the joint meeting of the IGC and ICG (Graz, Austria) with L. Robertsson and L. F. Vitushkin, 11-15 September 1994.

R. Felder visited:

— the LPTF (Paris, France), where he spent about two thirds of the year on the development of a potential new reference laser at $\lambda \approx 778$ nm;

— the Laboratoire de l'Horloge Atomique (Orsay, France), 3 November 1993;

— the CPEM'94 (Boulder, USA), 27 June-1 July 1994.

L. Robertsson visited:

— the EUROMET meeting (Brussels, Belgium), 2-3 November 1993;

— the Royal Observatory of Belgium (Brussels, Belgium), 8-9 November 1993, together with T. Niebauer (Micro g Solutions, Colorado, USA), for absolute g measurements;

— the American Society for Precision Engineering (Tucson, USA), 6-8 April 1994, for the Spring Topical Meeting “Mechanisms and Controls for Ultra-Precision Motion”;

— the Steward Observatory, University of Arizona (Tucson, USA), 7 April 1994;

— the Optical Science Center (Tucson, USA), 8 April 1994;

— the Edward L. Ginzton Laboratory at Stanford University (Stanford, USA), 11 April 1994;

— the IBM research centre (Almenden, USA), 12 April 1994;

— the Light-Wave company (Mountain View, USA), 13 April 1994;

— the CPEM'94 (Boulder, USA), 27 June-1 July 1994.

S. Picard visited:

— the LPTF (Paris, France), 6 May 1994;

— the CNAM (Paris, France), 15 September 1994, for the Colloque “Le mètre et la lumière”.

L. Vitushkin visited:

— the Université de Bourgogne (Dijon, France), 23-25 June 1994, for the European Colloque on “Microscopie à champ proche”;

— the CERN (Geneva, Switzerland), 18-23 July 1994, for the meeting on the mechanical and alignment systems for the experiment at the Large Hadron Collider;

— the CLEO-Europe 1994 (Amsterdam, Netherlands), 28 August-2 September 1994.

A. Zarka visited:

— the Association pour la Recherche et l'Utilisation des Fibres Optiques et de l'Optique Guidée (Saint-Étienne, France), 23-26 November 1993.

2.5 Visitors to the Length section

2.5.1 Guest workers

Dr G. Popescu (Institute of Atomic Physics, Bucharest, Romania), stayed at the BIPM 4-22 October 1993, for a laser comparison at $\lambda \approx 633$ nm between his institute and the BIPM.

Dr A. Kopaev (Sternberg Astronomical Institute of Moscow State University, Moscow, Russia), stayed at the BIPM 31 January-11 February 1994, for relative measurements of g .

Mr J. Åman (Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden), stayed at the BIPM 7 February-10 June 1994, to work with diode lasers stabilized using rubidium.

Mr X. Ducret (University Paris VII, Jussieu, Paris, France), stayed at the BIPM 3 March-29 July 1994, to work on an automatic fringe counting system.

Messrs M. Krantz and D. Åman (Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden), made a two-week stay at the BIPM, 18-29 April 1994, to work on detection techniques for the study of signal distribution in laser beams.

2.5.2 Visitors

Mr Ubelmann (University Paris XI, Orsay, France), 6 October 1993.

Dr M. Viliesid Alonso (CNM, Queretaro, Mexico), 18 October 1993.

Mr Mazé (Le Verre Fluoré, Rennes, France), 20 October 1993.

Dr J. Blabla (CMI, Prague, Czech Republic), 25 October 1993, 18-19 January 1994.

Drs V. B. Shilov and M. G. Tomilin (Russian Research Centre, St. Petersburg, Russia), 26 October 1993.

Mme N. Renard (CERLAB, Paris, France), 26 October 1993.

Dr Y. Yordanov (Committee for Standardization and Metrology, Sofia, Bulgaria), 27 October 1993.

Dr F. Bertinetto (IMGC, Turin, Italy), 9 December 1993.

Mr Kazana (Secretary of the Polish Embassy, Paris, France), 7 January 1994.

Dr M. Becker (IFAG, Frankfurt, Germany), 27 January 1994.

Dr A. Brillet (Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire, Orsay, France), 9 February 1994.

Dr T. K. Chan (Hong Kong Government Standards and Calibration Laboratory, Hong Kong), 3 March 1994.

Dr Ing. B. Kalinowska-Sledzinska (Warsaw Technical University, Warsaw, Poland), 22 March 1994.

Dr I. Marson (University of Trieste, Trieste, Italy), 29 March 1994.

Dr Van Rymbecke (Royal Observatory, Brussels, Belgium), 26 April 1994.

Prof. A. A. Mak and Dr V. I. Ustyugov (Research Institute for Laser Physics, St. Petersburg, Russia), 29 April 1994.

Dr D. Rytz (Sandoz-Huningue Laboratory, Huningue, France), 29 April 1994.

Dr A. Le Floch (University of Rennes, Rennes, France), 11 May 1994.

Mr A. Vitushkin (VNIIM, St. Petersburg, Russia), 21 May-11 June 1994.

Prof. Bagayev and Dr Goncharov (IPL, Novosibirsk, Russia), 30 May 1994.

Dr J. Mc Combie (University of Nottingham, United Kingdom), 30 May 1994.

Prof. M. Sargent (Microsoft, Tucson, USA), 31 May 1994.

Dr P. Musikul, Deputy Minister of Science, Technology and Environment and Dr A. Singhabhandhu, Department of Science Service (Bangkok, Thailand), 24 August 1994.

3. Mass and related quantities (R. S. Davis)

3.1 Introduction

Much of our work this year follows upon last year's completion of the third verification of national prototypes of the kilogram. The BIPM has proposed and carried out a comparison of stainless steel standards among member countries not possessing platinum-iridium (Pt-Ir) prototypes. In addition, within the framework of the CCM, we are organizing an international comparison of stainless steel standards. Aside from this work, the new flexure-strip balance is nearing completion, significant progress has been made in our understanding of anelastic losses in flexures, gravimetric surface studies of diamond-turned Pt-Ir surfaces have continued, and improvements have been made in our ability to characterize the magnetic and geometric properties of stainless steel standards. Finally, the BIPM hosted three weeks of international comparisons among absolute and relative gravimeters.

3.2 Stainless steel 1 kg standards (R. S. Davis, M.-J. Coarasa)

Calibrations of 1 kg standards in stainless steel have been completed for the following laboratories: BEV (Austria), PKNM (Poland), CEM (Spain), CSIR (South Africa), NIM (People's Rep. of China), Standards and Calibration Laboratory (Hong Kong) and INPL (Israel).

In addition, the BIPM issued invitations to member countries not in possession of a national prototype to participate in a calibration of national standards in stainless steel. From April to June 1994, six standards were calibrated for Argentina (2), Bulgaria, Ireland, New Zealand and Uruguay. Three standards have a previous history of calibration by the BIPM. The volumes of two others had already been determined to sufficient accuracy by national laboratories. As the sixth standard was new, the BIPM determined its density prior to calibration. By chance, the six standards were made of five different alloys of stainless steel and all alloys were different from that of the BIPM reference standards in stainless steel.

A preliminary mass determination was made upon the arrival of each standard. The standards were then cleaned and their evolution in mass after cleaning was monitored. After several weeks, the standards were then

compared with the BIPM working standards in a series of measurements extending over several weeks. The Mettler HK 1000 MC balance, as modified by the BIPM, was used for all mass comparisons. Measurements were completed in June 1994. In September 1994, a seventh standard was calibrated for Thailand and compared to five of the above mentioned standards.

In parallel with this work, the BIPM is organizing an international comparison of 1 kg standards in stainless steel within the framework of the CCM. The plan for this work is that a pair of 1 kg travelling standards will be sent to participating national laboratories. The travelling standards will be measured directly against stainless-steel reference standards which the laboratories will have calibrated with respect to their Pt-Ir national prototypes.

Twelve laboratories in Europe, Asia, Oceania and North America are expected to participate. Unfortunately, the start of the comparisons has been delayed until the autumn of 1994. Once begun, it is expected that final results will be available within two years.

3.3 New flexure-strip balance, FB-2 (T. J. Quinn, A. Picard)

Most mechanical parts of the FB-2 balance and mass exchanger have been fabricated and assembled. More than 2500 fully-automated mass exchanges have been carried out. The centering error on the pan is always about 25 μm independent of which of the eight masses carried by the exchanger has been selected. Two additional devices have been made, one for the sensitivity measurement of the balance itself, and the other to adjust the unservoed equilibrium position. The first device uses two auxiliary masses of 1 mg each. To test the desired linear relationship between servo current and change in mass, the small auxiliary masses can be added or subtracted independently and automatically. The second device is a manual mechanism allowing compensation of an imbalance in the range from -10 mg to 10 mg. The mechanism is controlled from outside the balance case, thereby allowing adjustments without opening the enclosure. Maintaining the balance near its mechanical equilibrium minimizes heating due to the servo-current. Experience with the FB-1 shows that such an adjustment becomes desirable if the equilibrium position of the balance drifts, as it always does when weighings are carried out in vacuum.

Although the servo control has not been fully installed, a differential optical detector and its associated electronics have been made. A high signal-to-noise ratio is obtained through use of synchronous detection of a power-stabilized laser diode operating at 5000 Hz. Beam rotation can thereby be measured with a sensitivity of about 3×10^{-7} rad/mV.

For weighings of the highest precision, the limiting factors are thermal stability and homogeneity within the balance case, so a study of possible

enclosures has been carried out to estimate short and long term thermal characteristics. Two full-scale models of the enclosure were made for this study. The first design is a single enclosure whose external surface was thermally controlled by means of circulating water. The second design is a triple enclosure with water circulating between the inner and outer surfaces. Based on this study we have chosen the second model for the FB-2, despite the increased weight and complexity. Tests show this design gives a good long term stability of about 0,8 mK over 24 hours and about 0,2 mK over 5 minutes (the time necessary for one weighing). The most important benefit, however, is that this design appears to minimize horizontal gradients even after differential heating of the exterior: 10 watts applied to a small area on the outside enclosure produced no significant temperature drift of the air inside the triple enclosure and the horizontal temperature difference was less than 1 mK.

Construction of the balance is expected to be completed at the end of 1994.

3.4 Surface effects on Pt-Ir mass standards (T. J. Quinn, A. Picard)

Following extensive studies at atmospheric pressure, work has begun to examine the reproducibility of weighings carried out in air and in vacuum. This study, which began in June 1992, continues to use the same Pt-Ir artefacts of different surface area and the same balance FB-1 (*see* the description given in the 1992 Report, p. 171). Seven cycles between vacuum and atmospheric pressure have been carried out. A turbomolecular pump was used to maintain a steady pressure of about 1 Pa throughout the measurements. The duration of a series of measurements in vacuum or air was usually about two weeks but after the third set of measurements in vacuum, atmospheric pressure was maintained for about 4 months (*see* Figure 3.1, the measurements marked (1) and (2)). Between the fifth and sixth vacuum weighings, the masses were maintained under vacuum (100 Pa) for seven months (*see* Figure 3.1, the measurements marked (3) and (4)). The circles (vacuum measurements) and the dots (atmospheric measurements) represent data used in the global least squares fit to obtain changes in mass difference as a function of relative humidity, pressure, temperature and time.

There is an apparent increase of 14 μg in the mass difference between the two artefacts on going from atmosphere to vacuum (the mass *increasing* as a function of surface area). The reproducibility of the changes in mass difference is about 0,6 μg . The observed changes in mass difference as a function of temperature are similar to those reported in 1992. In the case of humidity and pressure, the coefficients now are about 5 times and 3 times those found in measurements made entirely at atmospheric pressure. From points (3) and (4), one may deduce a rate of loss by outgassing of about 1,5 μg per month, but the adsorption rate (as observed between points (1) and (2)) is below our resolution.

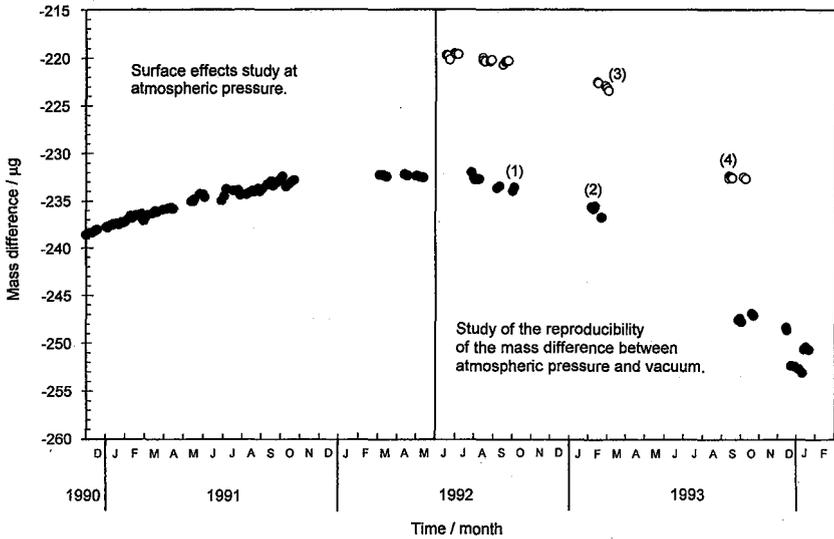


Fig. 3.1. — Mass difference evolution as a function of time. The circles (vacuum measurements) and dots (atmospheric measurements) represent data used in the global least squares fit to obtain changes in mass difference as a function of relative humidity, pressure, temperature and time.

Investigations of the increased humidity and pressure coefficients, as well as the apparent increase in mass difference between vacuum and atmospheric pressure, continue. During 1994, the FB-1 suffered a slow deterioration in its performance. An overhaul of this balance, which took about 2 months, was necessary to restore it to full performance.

3.5 Anelasticity in flexure pivots and torsion strips (T. J. Quinn, R. S. Davis, C. C. Speake*)

Considerable progress has been made in determining the anelastic losses intrinsic to beryllium-copper (Cu-Be) and in understanding the experimental challenges of designing devices that achieve the intrinsic limit. As a first step, it was shown experimentally that anelastic losses in a torsion strip made of Cu-Be have very little stress dependence up to 95 % of the yield stress. The torsion system is relatively simple to understand theoretically and to realize experimentally. These results suggest that the stress-dependent damping previously observed in Cu-Be flexure pivots is not intrinsic to the material. This was confirmed by carrying out a series of measurements on flexures in which the stress was increased in two ways: by adding to the mass suspended from the flexure, or by narrowing the

* School of Physics and Space Research, University of Birmingham, United Kingdom.

width of the flexure without changing the suspended mass. Differences in the results point to important loss mechanisms in the mounting of flexure strips. We now attribute these losses to a “stick/slip” mechanism. With this understanding, it was then possible to improve the mounting of the flexures to minimize stick/slip. As a test of our understanding of the damping in pendulums, a simple pendulum with a 1 kg bob was made, suspended by a Cu-Be flexure strip and having a period of 1 s. The pendulum, operating in vacuum, was found to have a Q of 4×10^6 , in good agreement with our predicted value of $(4,2 \pm 2) \times 10^6$.

With the understanding gained, the construction of flexure pivots for the new BIPM balance can be simplified and one may now hope to study intrinsic losses in flexures of single-crystal silicon.

3.6 Characterization of stainless steel alloys (R. S. Davis)

A new method has been developed for measuring the magnetic susceptibility of mass standards and for determining whether they have a remanent magnetisation (*see* 1993 Report). Since this work was published, a number of laboratories have asked that such measurements be made on their standards. These requests are motivated in part by a new recommendation of the Organisation Internationale de Métrologie Légale (OIML) that stainless steel mass standards of the highest class have a magnetic susceptibility below a specified maximum. Since the BIPM method of measuring susceptibility is novel, full documentation of its applicability to mass metrology has been prepared for publication as a BIPM report.

Mass determinations of the highest accuracy require a small correction based on the height difference between the centres of gravity of the standard and the unknown (for 1 kg standards, the correction is of order $3 \mu\text{g}$ for each centimetre of difference). For standards that are not perfect cylinders, the position of the centre of mass has previously been estimated from the dimensions of the standard. A special balance, somewhat tedious to use, was also constructed. This year, an extremely simple technique was developed to determine centres of mass with a precision of $2 \mu\text{m}$ and an overall uncertainty of about $40 \mu\text{m}$.

3.7 New prototypes

The IMGC obtained prototype No. 76 from the BIPM in 1993. Final calibrations were carried out and the IMGC took possession of the prototype and its accessories in January 1994. The BIPM, as part of a joint order with the NPL, has purchased enough Pt-Ir alloy from Johnson-Matthey Co. for the manufacture of four 1 kg prototypes. For the first time, the alloy was melted by an electron beam.

3.8 Gravimetry (A. Sakuma)

i) *BIPM gravimeter* (A. Sakuma)

The gravimeter developed at the BIPM by A. Sakuma was refurbished in time to participate in the international comparison of gravimeters [see iii), below]. This included repair of the rubidium clock and the addition of optics to assess the quality of each mirror launch.

During the summer of 1994 the apparatus was used in a collaborative effort with the Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) in Orléans (France). The project, whose goals were reported in 1992, is now complete and has established absolute gravimetric bases around and on the summit of the Puy-de-Dôme (France) (altitude 1464 m).

ii) *Axis Instruments gravimeter* (L. Robertsson, L. Vitushkin)

The cooperation which exists between the BIPM and commercial companies active in the field of metrology, made it possible to obtain a new FG5 gravimeter from Axis Instruments. L. Robertsson took part in a training session at Boulder (USA) in the summer of 1993 and carried out an initial study on the influence of rotation of the falling corner cube in cooperation with J. Faller at the JILA. The instrument was delivered to the BIPM in September 1993.

T. Niebauer, of the former Axis Instruments, spent three months at the BIPM as a visiting research fellow. He carried out a series of measurements to certify the performance of the instrument. He also refined the software and included means to correct for ocean loading. In November the gravimeter was taken to Brussels for two days of measurements at the Royal Observatory of Belgium.

The dropper of the gravimeter was returned to the manufacturers at the beginning of 1994 for design modifications and retuning. It has now been returned.

This gravimeter operated at station L_4 throughout the fourth international comparison of gravimeters. The results obtained serve as a base-line which helps to reduce the uncertainty caused by possible gravity fluctuations, in the comparisons involving the other gravimeters. After the comparison was completed, in the period 10 June to 8 July, this gravimeter was moved successively to points A, A_2 , A_3 , A_8 , L_3 and L_4 so as to provide a second, independent measure of the gravity network at the BIPM.

iii) *International comparison of gravimeters* (J.-M. Chartier, L. Robertsson, L. Vitushkin)

Four new gravity stations, L_1 - L_4 , have been prepared in the basement laboratory in the laser building to provide enough reference points for the fourth international comparison of absolute and relative gravimeters. Before the comparison, in the period 27 January-11 February 1994, M. Becker (IFAG, Frankfurt, Germany), A. Kopaev (Sternberg Astronomical Institute

of Moscow State University, Moscow, Russia) and L. Vitushkin carried out relative measurements of g and of the vertical gradient of g and so established links with the well-known points A_2 and A_3 .

The fourth international comparison, under the auspices of the IAG, took place in the period 24 May-10 June 1994. Ten absolute gravimeters were involved; they came from the following organizations: IFE (Hannover, Germany), IMGIC (Turin, Italy), FGI (Helsinki, Finland), IFAG (Frankfurt, Germany), DMA (Saint-Louis, USA), GSC (Ottawa, Canada), BEV (Vienna, Austria), NOAA (Longmont, USA), and the BIPM (2 gravimeters). Using the BIPM caesium clock as reference, the BIPM provided calibration frequencies for the rubidium clocks, and for the stabilized lasers, using a portable beat-frequency system of which the reference frequency was the portable laser BIPMP1. Of the ten lasers checked, four were stabilized using the two mode technique and six were stabilized using iodine. About thirty relative gravimeters belonging to the countries listed above and also to Belgium, Hungary, Japan and Russia took part in a comparison which linked the six points used by the absolute gravimeters and some other points on the BIPM site. In addition, the vertical gradients of g at the six reference points were determined. A one-day seminar was held at the BIPM during the comparisons. Results for the absolute gravimeters have been collected by I. Marson (University of Trieste, Trieste, Italy) and G. Sasagawa (NOAA, Longmont, USA), and those for the relative gravimeters by M. Becker (IFAG, Frankfurt, Germany). In September 1994, a report will be presented to an IAG Conference in Austria. Full details of the international comparisons will be published in a special issue of *Metrologia*.

3.9 Publications, lectures, travel: Mass section

3.9.1 External publication

1. DAVIS R. S., Mass and Density, Measurement of, In *Encyclopedia of Applied Physics*, G. L. Trigg ed., VCH (Weinheim), 1994, 9, 335-348.

3.9.2 Lectures and presentations

T. J. Quinn presented a paper entitled "Stress-dependent damping in Cu-Be torsion and flexure suspensions at stresses up to 1,1 GPa" (co-authors C. C. Speake, W. Tew, R. S. Davis and L. M. Brown) at the Workshop on Thermal Noise in Laser Interferometers (4-5 January 1994, Pasadena, California, USA).

A. Picard gave an invited seminar entitled "Conception et exploitation d'un comparateur d'étalons de masse à suspensions flexibles" to staff of the OFMET (Wabern, Switzerland), 21 January 1994.

R. S. Davis gave an invited seminar entitled “What have we learned from the third verification of national prototypes of the kilogram?” to the staff of the IMGC (Turin, Italy), 27 January 1994.

R. S. Davis and A. Picard presented a course of instruction on mass metrology at the 1 kg level (25-27 April 1994) to two visitors from ITRI (Taiwan).

3.9.3 Travel (committees, visits to laboratories and institutions)

R. S. Davis attended the EUROMET meeting of contact persons in the mass field (Borås, Sweden, 19-22 January 1994) and presented an invited talk on the activities of the BIPM Mass section. He also attended several EUROMET project meetings.

T. J. Quinn and R. S. Davis attended the International Workshop on the Avogadro Constant and the Representation of the Silicon Mole (9-11 March 1994, Turin, Italy). T. J. Quinn presided at the opening and closing sessions.

R. S. Davis was invited to Mettler-Toledo AG (Greifensee, Switzerland) to install the BIPM device for measuring magnetic susceptibility (14-15 April 1994). He also visited the OFMET on the afternoon of 15 April.

3.10 Visitors to the Mass section

Dr M. Mosca and Mr F. Alasia (IMGC, Turin, Italy), 24 November 1993.

Dr P. De Bièvre (IRMM, Geel, Belgium), 26 November 1993.

Dr M. Kochsiek (PTB, Braunschweig, Germany), 9 February 1994.

Drs Y. Nakahori, Y. Kuroishi, T. Akiyama and T. Kimura (Geophysical Survey Institute, Tsukuba, Japan), 21 February-15 March 1994.

Mr T. K. Chan (Standards and Calibration Laboratory, Hong Kong), 7-8 March 1994.

Dr M. Tanaka (NRLM, Tsukuba, Japan), 1 April 1994.

Mr Y. Nezu (NRLM, Tsukuba, Japan), 8 June 1994.

Dr A. Shenhar (INPL, Jerusalem, Israel), 8 September 1994.

4. Time (C. Thomas)

4.1 International Atomic Time (TAI) and Coordinated Universal Time (UTC)

The reference time scales TAI and UTC have been regularly computed and published in the monthly *Circular T*. The production of the *Annual*

Report of the BIPM Time Section for 1993 (volume 6) has been greatly accelerated with respect to preceding years: definitive results for 1993 have been available, in the form of computer-readable files in the BIPM Internet anonymous FTP, since 5 April 1994, and printed volumes were distributed at the beginning of May 1994. This has called for a considerable effort from the whole Time section staff, but fulfills a demand from national timing centres.

The TAI scale interval is regularly compared with the best realizations of the SI second. Two newly designed caesium frequency standards, using optical production and detection of atoms, were recently evaluated:

— NIST 7, developed at the NIST (Boulder, USA), should reach an accuracy of order 1 part in 10^{14} . However, the calculation showing this uncertainty has not yet been published and no data from this standard has yet been formally received at the BIPM;

— JPO (Jet à Pompage Optique), developed at the LPTF (Paris, France), attained an accuracy of 1,1 parts in 10^{13} when evaluated for the first time in May 1993. Data from the JPO were received and analysed at the BIPM. To within the published uncertainty, the TAI frequency is in agreement with the JPO frequency. Modifications of the JPO for improvement of accuracy are being carried out at the LPTF.

It follows that, as in previous years, the conformity of the TAI scale interval with the SI second still rests almost entirely on the data of a single laboratory, the PTB, where the primary standards are much more accurate than those elsewhere. Since April 1993 the TAI frequency has remained constant with respect to the PTB standards, so no frequency-steering corrections have been applied.

4.2 Algorithms for time scales (J. Azoubib, C. Thomas)

The quality of the timing data used for TAI computation is rapidly evolving thanks to the wide use of GPS time transfer (only three of the forty-five participating centres were still linked via Loran-C in April 1994) and thanks to the extensive replacement of older designs of commercial clocks by the new HP 5071A clocks and by active auto-tuned hydrogen-masers. White measurement noise of distant time comparisons is thus smoothed out by averaging data over periods shorter than ten days. In addition, the use of very stable clocks leads to a dramatic improvement in the stability of TAI and UTC. By application of the N-cornered hat technique on the data obtained in 1993 and at the beginning of 1994, for the comparisons between TAI and the best independent time scales of the world (maintained at the NIST, the VNIIFTRI, the USNO and the PTB), one obtains the following stabilities (expressed in terms of Allan standard deviation):

$$\sigma_{\text{yTAI}}(\tau = 10 \text{ days}) = 3,9 \times 10^{-15},$$

$$\sigma_{\text{yTAI}}(\tau = 20 \text{ days}) = 3,2 \times 10^{-15},$$

$$\sigma_{yTAI} (\tau = 40 \text{ days}) = 3,5 \times 10^{-15},$$

$$\sigma_{yTAI} (\tau = 80 \text{ days}) = 4,9 \times 10^{-15}.$$

The stability of TAI and UTC thus lies below 5 parts in 10^{15} . It also appears that the basic interval of computation, at present 60 days, can be reduced. This, if done, will help to shorten the delay of access to TAI. We are thus testing a new version of the algorithm ALGOS for definitive computation of TAI each month, using real data from the beginning of 1992. Results are encouraging and it has been decided that the CCDS working group on TAI should meet in March 1995 for discussions of this new algorithm.

An interesting point is that the same stability study carried out using EAL instead of TAI gives the following results:

$$\sigma_{yEAL} (\tau = 10 \text{ days}) = 3,9 \times 10^{-15},$$

$$\sigma_{yEAL} (\tau = 20 \text{ days}) = 3,2 \times 10^{-15},$$

$$\sigma_{yEAL} (\tau = 40 \text{ days}) = 3,1 \times 10^{-15},$$

$$\sigma_{yEAL} (\tau = 80 \text{ days}) = 4,0 \times 10^{-15}.$$

A degradation of the stability of TAI, for averaging times ranging from 40 days to 80 days, is apparent when compared with the stability values obtained for EAL. This is probably due to the single frequency-steering correction of 5 parts in 10^{15} carried out in April 1993. Clearly the amplitude of this frequency step was too large in view of the order of magnitude of EAL fluctuations. It follows that steering corrections should be small (probably of order 1 to 2 parts in 10^{15}), and are useful only for modification of the TAI frequency in the very long term.

Given the high stability of recently designed commercial clocks and hydrogen-masers, it appears that it is now time to consider fundamental modification of the TAI algorithm. The next meeting of the CCDS working group on TAI, scheduled for March 1995, is a good opportunity to discuss this topic. We are therefore studying, on real data, the following points:

- computation of TAI every 30 days instead of every 60 days;
- introduction of a frequency drift evaluation in the frequency prediction of hydrogen-masers;
- change of the upper limit of weights;
- change of the weight determination procedure, which is based, at present, on the observation of systematic frequency changes with annual signature, a phenomenon which tends to disappear;
- danger of excessive dependence on a single clock type, the HP 5071A;
- advantages of changing the basic measurement cycle from ten days to one day;
- advantages of increasing or decreasing the number of participating clocks.

These studies will be reported in detail, but it is already expected that the shortening of the period of definitive computation and a better use of hydrogen masers will be recommended by the working group.

A proposal for real-time prediction of UTC, designated UTCp, was made by the BIPM in collaboration with Dr D. W. Allan, Allan's TIME (Green Fountain, Utah, USA) in December 1993 [1]. In this, a software UTC, UTCs, would be computed every day from a small number, about ten, of the best clocks in the world, and would be used to steer a physical clock delivering a real-time UTCp. This UTCp would then be available to users by observation of global satellite systems. Until now, no tests have been made because no clock data is available with a one-day measurement cycle. The usefulness of this project, together with the advantages and disadvantages of such a scheme for the user community, will be discussed when the CCDS working group on improvements to TAI meets in March 1995.

4.3 Time links (W. Lewandowski, G. Petit, C. Thomas)

The BIPM Time section is interested in any time comparison method which has the potential for nanosecond accuracy. We are thus involved in the development of GLONASS, LASSO, two-way time transfer via geostationary satellites, and ExTRAS (Experiment on Timing, Ranging and Atmospheric Soundings, also named "hydrogen maser in space"), although GPS strict common-views remain the time transfer means used for current TAI computation.

4.3.1 Global Positioning System (GPS)

The BIPM still issues, twice a year, GPS international common-view schedules: Schedule No. 22 was implemented in GPS time receivers on 13 December 1993 and Schedule No. 23 on 30 June 1994. Rough GPS data is collected by the BIPM and treated according to a unified procedure. The international GPS network 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 NAOT-OP for which data is corrected to take account of on-site ionospheric measurements and precise satellite ephemerides produced by the IGS (International Geodynamics Service). The precision of one measurement is of order 2 ns for short-distance links and 4 ns for long-distance links.

For several years, the BIPM has published an evaluation of the daily time differences [UTC – GPS time] in its *Circular T*. These differences were obtained by treatment of Block I satellite data only. Since April 1994, only one Block I satellite has been observable, and daily values of [UTC – GPS time] have been obtained by smoothing data taken from the

Block II satellites at an angle of elevation greater than 30° . The results are less precise (daily standard deviations of order 12 ns, against 3 ns before) because Selective Availability is currently implemented. Although we have already shown that precise restitution of GPS time is possible using multi-channel P-code GPS time receivers [2], this method cannot be used because reliable and regular data from such a receiver is not yet available.

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. Two exercises of differential calibration of GPS receivers were carried out in early 1994: between the NPL (Teddington, United Kingdom) and the OP (Paris, France) in January-February 1994 [17], and between the NIST (Boulder, USA) and the OP, in February-March 1994 [18]. Another exercise of differential calibration was carried out in June 1994 between the USNO (Washington DC, USA) and the OP but this is not yet published. A European calibration round-trip OP to OP successively through the OCA (Grasse, France), the TUG (Graz, Austria), the FTZ (Darmstadt, Germany), the PTB (Braunschweig, Germany), the NMi/VSL (Delft, Netherlands), and the NPL (Teddington, United Kingdom), is also scheduled for September-October 1994.

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 bias of a few nanoseconds on daily averages, which can be determined with a precision of less than 1 ns. With the passage of time, the IGS precise satellite ephemerides continue to improve, which results in a corresponding improvement in the determination of the deviation from closure. The residual bias now probably originates from errors in station coordinates and errors in ionospheric measurements. Results from codeless dual-frequency ionospheric measurement systems are sensitive to multipath effects which induce biases in particular directions [5]. These biases are not averaged when testing the closure condition because the observations selected are necessarily carried out in the directions east and west. Work is under way to evaluate these biases.

Within the group on GPS time transfer standards (GGTTS), the BIPM has made a considerable effort to write down technical directives for the standardization of GPS time-receiver software, together with a new format for GPS data files [6, 19]. The implementation of such directives and of the new data format should help to provide sub-nanosecond accuracy for GPS common-view time transfer. Practical development of the standardized software is in hand at the NIST and it is intended that it will be available for world-wide use from the end of 1994.

Another issue is the estimation of the tropospheric delay. At present, GPS time-receivers use simple models of the troposphere which, as

was believed until recently, should provide an estimation of tropospheric delay with an uncertainty of 1 ns to 2 ns. Recent comparisons of these models with a semi-empirical model based on weather measurements show, however, differences of several nanoseconds for hot and humid regions of the world [7]. Further investigations of the tropospheric delay will continue at the BIPM.

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*. Later in 1994, the BIPM intends to issue an experimental international GLONASS common-view schedule.

4.3.3 Two-way time transfer

The CCDS working group on two-way satellite time transfer met for the third time in Teddington (United Kingdom) on 20-21 October 1993. The Teddington meeting was devoted to an exchange of information on the August 1993 *line-up* campaign, the state of equipment at each laboratory, the state of available modems, agreement on a common format for data exchange, and the organization of a *field-trial*.

The *field-trial* is an international two-way time transfer experiment through the Intelsat V-A(F13) at 307°E satellite, involving both European and North-American laboratories. It began in January 1994 and should last one year. In September-October 1994, the Earth stations involved will be calibrated using a portable station. At the same time, the GPS equipment in these laboratories will be differentially calibrated by a portable GPS time receiver provided by the BIPM (*see* 4.3.1). These calibration exercises should allow previous estimates of the accuracy of the two-way technique to be checked.

4.3.4 Laser Synchronization from Satellite Orbit (LASSO)

The BIPM has been involved in an experiment to compare time transfer by laser synchronization from satellite orbit (LASSO) with GPS common-view time transfer between Texas and France [8]. The results of the calibration of laser equipment at the two sites should be available at the end of 1994 and will allow, for the first time, an estimation of the accuracy of the LASSO technique.

4.3.5 Experiment on Timing Ranging and Atmospheric Soundings (ExTRAS)

ExTRAS calls for two active and auto-tuned hydrogen masers to be flown on board a meteorological Russian satellite Meteor-3M, planned for launch at the beginning of 1997. Communication between on-board clocks and ground stations is effected by means of a microwave link using the PRARE (Precise Range and Range-Rate Equipment) technique, and an optical link operating according to the T2L2 method (Time Transfer by Laser Link). The PRARE and T2L2 techniques are upgraded versions of the usual two-way and LASSO methods. Associated with the excellent short-term stability of the on-board hydrogen masers, these should make it possible to solve a set of scientific and applied problems in the fields of time, navigation, geodesy, geodynamics and Earth-atmosphere physics.

The impact of ExTRAS in the time domain has been studied [10] in terms of anticipated uncertainty budgets: the potential accuracy of this experiment is characterized by uncertainties of order 500 ps (1σ) for time dissemination and ground clock synchronization.

4.4 Application of general relativity to time metrology (G. Petit, P. Wolf*)

An investigation of the application of the theory of relativity to time transfer in the vicinity of the Earth at the picosecond level of accuracy is now complete. The results have been published [10, 11, 12], and were presented at the PTTI 1993 and the EFTF 1994 meetings.

Current work centres on the application of the theory of relativity to the syntonization of a clock with respect to Geocentric Coordinate Time (TCG) at an accuracy level of 10^{-18} . For Earth-bound clocks, this is limited to some parts in 10^{17} due to poor knowledge of some geophysical factors (essentially the potential on the geoid). However, for clocks on terrestrial satellites, all terms can be calculated with 10^{-18} accuracy [13]. The results of this work will allow the establishment of a complete relativistic framework for the realization of TCG at a stability of 10^{-18} and picosecond TCG datation accuracy. This should be sufficient to accommodate all expected developments in clock technology and time transfer methods, for some years to come.

We supported the work of the CCDS working group on the application of general relativity to metrology by numerous discussions with Prof. B. Guinot, chairman of the group. We also participate in the preparation of a text to be used as a part of the final report of this group.

* Research student.

4.5 Pulsars (G. Petit, P. Tavella*)

Millisecond pulsars can be used as stable clocks to realize a time scale by means of a stability algorithm. Work has been carried out with a view to understanding how such a pulsar time scale could be realized and what implications it would have for atomic time. 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(BIPM94) in May 1994, and has given other occasional support. In addition, the correlator developed with the CNES (Toulouse, France) (see 4.6.2) for Very Long Baseline Interferometry (VLBI) has been adapted to provide the capability of pulsar timing using standard radio astronomy data [14]. The application of this technique to obtain new pulsar data is under study.

4.6 Other activities

4.6.1 Time laboratory (C. Thomas)

Among the equipment available at the BIPM is an Allen-Osborne TTR-4P GPS time receiver. This dual-frequency multi-channel receiver interprets the P-code and relies on the best available technology, and is now being compared with traditional C/A code GPS time receivers also in operation at the BIPM. The results are disappointing: the TTR-4P unit is no more stable than a conventional single-frequency receiver if it is operated in conjunction with an ionospheric measurement system. In addition, there is some suspicion that the unit is abnormally sensitive to outside temperature. This receiver is thus still under test.

Since January 1994, the BIPM has had at its disposal a very stable HP 5071A commercial caesium clock on loan from Hewlett-Packard.

A geodetic network has been established at the BIPM by the Institut Géographique National (Saint-Mandé, France). This has an internal precision of a few millimetres and makes it possible to determine the coordinates of the phase centres of the GPS antennas with centimetric accuracy in a geocentric reference system [20].

* Guest worker.

4.6.2 Very Long Baseline Interferometry (VLBI) (G. Petit)

Very Long Baseline Interferometry 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 close contact with this technique by collaboration with the CNES (Toulouse, France), and with the Paris Observatory [15]. We also participate in the organization of VLBI observations on millisecond pulsars.

4.7 Publications, lectures, travel: Time section

4.7.1 External publications

1. THOMAS C., ALLAN D. W., A real-time prediction of UTC, In *Proc. 25th PTTI*, 1993, 217-230.
2. THOMAS C., The use of the AOA TTR-4P GPS receiver in operation at the BIPM for real-time restitution of GPS time, In *Proc. 25th PTTI*, 1993, 183-195.
3. LEWANDOWSKI W., GPS Common-View Time Transfer, In *Proc. 25th PTTI*, 1993, 133-148.
4. WEISS M. A., PETIT G., SHATTIL S., A comparison of GPS broadcast and DMA precise ephemerides, In *Proc. 25th PTTI*, 1993, 293-306.
5. THOMAS C., PETIT G., MOUSSAY P., Comparison between different dual-frequency GPS receivers measuring ionospheric delay for time and frequency applications, In *Proc. 8th EFTF*, 1994, 1012-1028.
6. ALLAN D. W., THOMAS C., Technical Directives for Standardization of GPS Time Receiver Software, *Metrologia*, 1994, **31**, 69-79.
7. LEWANDOWSKI W., GRUDLER P., BAUMONT F., Study of tropospheric correction for GPS common-view time transfer between the BIPM and the OCA, In *Proc. 8th EFTF*, 1994, 981-997.
8. LEWANDOWSKI W., PETIT G., BAUMONT F., FRIDELANCE P., GAIGNEBET J., GRUDLER P., VEILLET C., WIAN T. J., KLEPCZYNSKI W. J., Comparison of LASSO and GPS time transfers, In *Proc. 25th PTTI*, 1993, 357-366.
9. THOMAS C., UHRICH P., ExTRAS impact on time metrology, *ESA Report*, 1994, 17 pages.
10. PETIT G., WOLF P., Relativistic theory for picosecond time transfer in the vicinity of the Earth, In *Proc. 25th PTTI*, 1993, 205-215.
11. PETIT G., WOLF P., Relativistic theory for picosecond time transfer in the vicinity of the Earth, *Astron. Astrophys.*, 1994, **286**, 971-977.
12. PETIT G., WOLF P., Relativistic theory for picosecond time transfer in the vicinity of the Earth, In *Proc. 8th EFTF*, 1994, 407-416.

13. WOLF P., PETIT G., Realization of TCG, TT and TCB, using hyperstable clocks: limits from geophysical and astronomical constants, In *Journées 1994 Systèmes de Référence Spatio-Temporels*, 1994, 41-46.
14. PETIT G., FAYARD T., Validation of the CNES VLBI correlator and its use for millisecond pulsar astrometry, In *Proc. 9th meeting on European VLBI for geodesy and astrometry*, 1993, 129-132.
15. FAYARD T., PETIT G., The CNES VLBI soft-correlator, In *Proc. 9th meeting on European VLBI for geodesy and astrometry*, 1993, 123-128.
16. PETIT G., FAYARD T., A Programmable VLBI Correlator Using Parallel Computing, In *VLBI Technology, Progress and Future Observational Possibilities*, Sasao T., Manabe S., Kemeya O., Inoue M. eds, Terra Scientific Pub., 1993, 332-337.

4.7.2 BIPM reports

17. THOMAS C., MOUSSAY P., Determination of differential time correction between the GPS time receivers located at the Paris Observatory, Paris, France, and the National Physical Laboratory, Teddington, United Kingdom, *Rapport BIPM-94/2*, 1994, 12 pages.
18. THOMAS C., MOUSSAY P., Determination of the differential time correction between the GPS time receivers located at the Paris Observatory, Paris, France, and the National Institute of Standards and Technology, Boulder, Colorado, USA, *Rapport BIPM-94/3*, 1994, 12 pages.
19. THE GROUP ON GPS TIME TRANSFER STANDARDS, Technical Directives for Standardization of GPS Time Receiver Software, *Rapport BIPM-93/6*, 1993, 32 pages.
20. PETIT G., Détermination d'un réseau géodésique au BIPM, liaison avec le système de référence ITRF, *Rapport BIPM-94/8*, 1994, 5 pages.

4.7.3 Lectures and presentations

W. Lewandowski attended the meetings of the Civil GPS Service Interface Committee in Salt Lake City (Utah, USA), on 20-21 September 1993, and in Falls Church (Virginia, USA), on 2-3 June 1994, where he gave presentations on recent studies in GPS, GLONASS, LASSO and two-way time transfers. He also gave a tutorial entitled "Common-View GPS Time Transfer: Uncertainty Sources, Practical Operational Requirements, and Experimental Results" on 1 December 1993, during the 25th PTTI meeting, in Marina Del Rey (California, USA).

G. Petit gave a presentation entitled “Atomic Time Scales and Pulsar Timing” at the JA1 session of the URSI General Assembly in Kyoto (Japan), on 27 August 1993. He also gave two presentations entitled “Current Achievements in Time Transfer” and “BIPM Analysis of Millisecond Pulsar Data” at the JD8 session of the IAU General Assembly in The Hague (Netherlands), on 20 August 1994.

C. Thomas gave a presentation on time at Lyon (France) in the framework of a cultural show entitled “Le temps, l’homme et l’univers”. She also gave a two-day course on time metrology at the Centre d’Essais de la Méditerranée (Toulon, France).

4.7.4 Travel (committees, visits to laboratories and institutions)

W. Lewandowski visited:

— Salt Lake City (Utah, USA), 22-24 September 1993, to attend the 6th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GPS-93);

— Teddington (United Kingdom), 20-21 October 1993, to participate in the meeting of the CCDS working group on two-way satellite time transfer;

— Marina Del Rey (California, USA), 29 November-2 December 1993, to attend the 25th PTTI meeting;

— Laguna Hills (California, USA), 3 December 1993, to discuss GLONASS time transfer at the 3S Navigation Company;

— Munich-Weihenstephan (Germany), 9-11 March 1994, to attend the 8th European Frequency and Time Forum and to participate in the LASSO Coordinating Group meeting;

— Washington DC (USA), 28 May-1 June 1994, for an exercise of GPS differential calibration between the USNO and the OP.

P. Moussay visited:

— Teddington (United Kingdom), 3-11 February 1994, for an exercise on the differential calibration of the GPS time receivers in operation at the NPL and at the OP.

G. Petit visited:

— Kashima (Japan), 23 August 1993 and Koganei (Japan), 24 August 1993, to have discussions with staff of the CRL;

— Kyoto (Japan), 25 August-2 September 1993, to attend the 24th URSI General Assembly;

— Kyoto (Japan), 6-10 September 1993, to attend an URSI/IAU symposium on VLBI technology;

— Bad Neuenahr (Germany), 30 September-1 October 1993, to attend the 9th meeting on European VLBI for geodesy and astrometry;

— Toulouse (France), 14-16 December 1993, 10-12 January 1994, 16-19 May 1994, 27-29 July 1994, 30 August-1 September 1994, to process pulsar data at the CNES;

— Munich-Weihenstephan (Germany), 9-11 March 1994, to attend the 8th European Frequency and Time Forum;

— Paris (France), 13-14 June 1994, to take part in the Journées 1994, Systèmes de Référence Spatio-Temporels;

— Boulder (Colorado, USA), 27 June-1 July 1994, to attend the CPEM'94 meeting;

— The Hague (Netherlands), 18-22 August 1994, to attend the 22nd IAU General Assembly.

C. Thomas visited:

— Noordwijk (Netherlands), 29-30 June 1993, to take part in a working meeting on hydrogen maser clocks in space organized by the ESA;

— Marina Del Rey (California, USA), 29 November-3 December 1993, to take part in the 25th PTTI meeting;

— Toulouse (France), 18 February 1994, to take part in a meeting on the European Complement to GPS held at the CNES;

— Paris (France), 10 March 1994, to take part in the National Council of the International Earth Rotation Service;

— Paris (France), 26 April 1994, to take part in a meeting on ExTRAS organized by the ESA.

P. Wolf visited:

— Noordwijk (Netherlands), 29-30 June 1993 to take part in a working meeting on hydrogen maser clocks in space organized by the ESA;

— London (United Kingdom), 6-8 October 1993, to work with Prof. I. W. Roxburgh and Dr A. G. Polnarev at Queen Mary and Westfield College;

— Meudon (France), 29 October 1993, and Paris (France), 8 March 1994, to attend two days of lectures and discussions on "Gravitational experiments" organized by the Groupe de Recherche sur la Gravitation;

— Marina Del Rey (California, USA), 29 November-3 December 1993, to take part in the 25th PTTI meeting;

— Paris (France), 13-14 June 1994, to take part in the Journées 1994, Systèmes de Référence Spatio-Temporels.

4.8 Activities related to external organizations

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, in which he is a member of the working group on astronomical standards. He is a member of the

Scientific Council of the GRGS (France), a member of the Comité National Français de Géodésie et Géophysique.

C. Thomas is a member of the Comité National Français de Géodésie et Géophysique.

4.9 Visitors to the Time section

4.9.1 Research student

P. Wolf continues his participation in the Time section as a Postgraduate Research Student, begun on 5 October 1992.

4.9.2 Visitors

Dr R. S. Foster (NRL, Washington DC, USA), 4 October 1993.

Dr M. A. Weiss (NIST, Boulder, USA), 4-7 March 1994.

Dr D. W. Allan (Allan's TIME, Green Fountain, Utah, USA), 14 March 1994.

Dr J. Nawrocki (AOS, Borowiec, Poland), 23 March 1994.

Mr D. Sennedot (DCN, Brest, France), 18 May 1994.

Mr Y. Mervin (DCN, Brest, France), 21 June 1994.

Dr J. Lopez and Dr J. Figueroa (CENAM, Mexico), 21 July 1994.

Dr L. Breakiron (USNO, Washington DC, USA), 7 September 1994.

Dr A. Shenhar (INPL, Jerusalem, Israel), 8 September 1994.

5. Electricity (T. J. Witt)

5.1 Summary of the work of the Electricity section

The highlights of our activities in the year 1993-1994 include the first comparison of 10 V Josephson standards by means of a transportable Josephson apparatus. This comparison took place at the BNM/LCIE (Fontenay-aux-Roses, France). The result was a relative difference between 10 V Josephson voltage standards of the two laboratories of only 1,2 parts in 10^{10} with a total combined standard uncertainty of 1,2 parts in 10^{10} . For 10 V Josephson array work, a low noise voltage transfer device was developed. In December 1993 we took our transportable quantum Hall effect (QHE) resistance standard apparatus, including cryostat, magnet and resistance bridge, to the BNM/LCIE and carried out the first on-site comparison of QHE standards. The results demonstrate agreement between measurements made with the two systems to within a few parts in 10^9 with a combined total standard uncertainty of about the same value. Both the transportable Josephson-effect and QHE apparatus are capable of providing traceability between laboratories with accuracies an order of magnitude or more better than those of conventional travelling standards.

Important progress has also been made in the ac measurement of the quantized Hall resistance (QHR) at frequencies up to several kilohertz. At 1,6 kHz, sections of the resistance plateaus were observed to be flat to within 1 part in 10^8 . From 1 Hz to 1,6 kHz, variations in the ratios of the QHR to the resistance of an ac standard resistor were below 2 parts in 10^7 .

Results have now been obtained for the variation of output voltage as a function of relative humidity for some 1,018 V Zener voltage standards of the type most often used in precise voltage metrology. Decreases in relative humidity of 0,10 provoked *increases* of 1,0 μV and 1,5 μV in the 1,018 V outputs of two Zener standards.

Our programme of bilateral comparisons of basic electrical standards is attracting interest and this year four national laboratories are participating in them.

5.2 Electrical potential

5.2.1 Josephson effect (D. Reymann)

Much of our time was devoted to the 10 V Josephson junction array measurement system. A new low-noise 10 V source was built for use as a transfer device between a Zener standard and a 10 V array. The device effectively decouples the noise of the Zener from the array, and improves the stability of the voltage steps. It consists of an electronic current source delivering 10 mA to two resistors of 80 Ω and 1000 Ω in series. Eight mercury batteries improve the stability of the output by a factor of 450 with respect to the unstabilized source. The total potential difference across the resistors produces a low-noise 10 V output across the 1000 Ω resistor which, although not constant, drifts at a constant rate of about 4 $\mu\text{V}/\text{h}$. Although this drift rate is acceptable, it is about three times that anticipated and we are trying to find a source of more stable batteries. The peak-to-peak noise of the transfer device is 40 nV. The circuit is fitted in a thermo-regulated enclosure which is also provided with low-thermal emf switches for polarity reversals and connections to the array, the Zener standard and a detector. With this device we have been able to achieve standard uncertainties of a few parts in 10^9 , a value limited by the stability of the Zener standards.

As an additional check on the accuracy of our 10 V array system, and to demonstrate the feasibility of carrying out comparisons of Josephson standards at 10 V by transporting the BIPM equipment, we made a two-part comparison with the BNM/LCIE. In the first part, 10 V Zener standards were measured in both laboratories on the same day and the results were compared. The measured difference was 5 parts in 10^9 with a standard uncertainty of 3 parts in 10^9 . In the second part the BIPM equipment was taken to the LCIE. Comparisons were carried out both with the transfer standard and directly. The result, expressed as the difference between

the values attributed to a 10 V standard by the two laboratories, and the combined standard type A and type B uncertainty are

$$U_{\text{BNM/LCIE}} - U_{\text{BIPM}} = 1,2 \text{ nV} \quad s = 1,2 \text{ nV}.$$

Relative to the output voltage, this corresponds to $1,2 \pm 1,2$ parts in 10^{10} .

In the course of our work on 10 V arrays we have occasionally observed spurious voltages in series with the Josephson voltage. These amount to a few microvolts and increase with increasing microwave power. They may well be due to rectification of the microwave current by imperfect contacts between the chip and the output leads of its mount. The quality of the contacts appears to decrease with time but some test procedures have been developed to check them. If necessary, the contacts can be remade.

5.2.2 Study of the effects of humidity on Zener-diode standards (T. J. Witt)

Two humidity-regulated enclosures were built to study the variation of the 1,018 V output of Zener diode based voltage standards as a function of humidity. Because it was necessary to stabilize the relative humidity to within close limits over periods of sixty days or more, active electronic regulators were built using selected, calibrated capacitive humidity sensors. The Zener standards we studied are of the type used as working standards in Josephson voltage metrology in the national laboratories and as travelling standards by most laboratories that send Zener standards to the BIPM for calibration. Although we do not use these in our own 1,018 V Josephson measurements, our routine procedure for international comparisons of Josephson standards now includes the comparison of the results of measurements of Zener standards using the BIPM's Josephson apparatus and that of the collaborating laboratory.

Measurements of output voltage versus relative humidity have been carried out on two of our three Zener standards. For the first, an output voltage change of $-1,5 \mu\text{V}$ was observed following an increase of relative humidity from 0,43 to 0,52 and a change of $+1,0 \mu\text{V}$ was observed following a decrease of relative humidity from 0,50 to 0,40. The times required for the voltage changes to settle to within $1/e$ of the total changes were 19 days and 30 days respectively. Qualitatively similar behaviour was observed for the second Zener standard. Such behaviour could lead to significant errors in voltage calibrations and comparisons between laboratories.

5.2.3 Reduced thermal emfs in electro-mechanical relays (T. J. Witt)

The automatic standard cell comparator has now been in service for more than ten years. As anticipated when this equipment was developed,

the thermal emfs of relays in the crucial voltage measurement circuit have increased over this long period. Furthermore, run-to-run increases of thermal emfs of some tens of nanovolts occurred when groups of cells were measured in succession. Both effects are probably due to wear of the relay contacts. It was decided to reduce the conduction of heat from the switching coils to the sensitive contacts and to replace the original gold-plated rhodium contact pads with gold-plated copper ones. Extensive tests were made over periods exceeding 24 hours and these show no tendency for the thermal emfs to vary with time. The measured mean thermal emf was 0 nV with a standard uncertainty of 2 nV.

5.3 Electrical impedance (F. Delahaye)

5.3.1 International comparisons of quantum Hall effect resistance standards

The BIPM transportable quantum Hall effect (QHE) resistance standard, assembled in 1992-1993, was taken to the BNM/LCIE in December 1993. The equipment transported included a set of two QHE samples mounted on a cryogenic probe, a cryostat containing a superconducting magnet and a low-temperature insert, and a room-temperature alternating current comparator bridge operating at 1 Hz. Three resistance standards of 1 Ω , 100 Ω and 10 000 Ω were also taken to the BNM/LCIE and measured using the QHE standards of the two laboratories. Thus, and for the first time, it was possible to compare the results of essentially simultaneous measurements carried out with two totally distinct QHE standards without having to rely on the stability of resistance standards transported between measurements. Until now, the limiting source of uncertainty in the comparison of the most accurate QHR results has been that due to the stability of travelling standard resistors. The BIPM resistance ratio-bridge operates at 1 Hz. The BNM/LCIE uses a bridge based on a cryogenic current comparator (CCC) operating with dc. Consequently, it is essential to know the residual dc-1 Hz resistance differences of the three transfer standards and to apply the corresponding corrections before comparing the BIPM and BNM/LCIE results. These differences were evaluated at the BIPM by measuring the three resistors in terms of the quantized Hall resistance (QHR) with the transportable ac bridge and with the BIPM's CCC bridge at dc. For these standards the dc-1 Hz resistance differences are low, of order a few parts in 10^9 for the 100 Ω and 10 000 Ω standards and 1 part in 10^8 for the 1 Ω standard.

A report giving the detailed results of the comparison was presented at the CPEM'94 conference. The results are quite satisfactory, showing agreement at the level of a few parts in 10^9 between the two laboratories, and are consistent with the estimated uncertainties which are of the same order. In particular, the values attributed to the 100 Ω standard, which was directly linked to the QHR of the quantum number $i = 2$ plateau in

a one-step measurement, agree to within 2 parts in 10^9 with a combined standard uncertainty of 3 parts in 10^9 .

5.3.2 AC measurements of the quantized Hall resistance at kilohertz frequencies

Work continued on the project begun last year aimed at calibrating capacitance standards in terms of the QHR. Investigations were carried out in order to determine whether QHE samples can be used as ac resistance standards at frequencies of order 1 kHz. The ratio between the QHR (12906Ω for $i = 2$) of a GaAs based heterostructure and a reference ac resistor (Vishay type) of the same nominal value was measured at frequencies from 1 Hz to 1,6 kHz. At 1 Hz the measurements were made with the alternating current comparator bridge. From 400 Hz to 1,6 kHz they were made with a coaxial ac bridge incorporating an inductive voltage divider with ratio 1/1. The coaxial bridge was specially designed to accommodate QHRs defined as four terminal-pair impedances. The QHRs of two GaAs heterostructures diced from the same wafer were compared by substitution in the coaxial bridge.

The first results are encouraging. At frequencies up to at least 1,6 kHz and for an rms measuring current of $40 \mu\text{A}$ there is a flat region in the QHR plateaus of the two samples over which the resistance is constant to within 1 part in 10^8 . Accurate measurements, carried out with the magnetic flux density adjusted to a value corresponding to the centre of the flat region, show that the ratio between the QHR of the first sample and the reference resistance varies by less than 2 parts in 10^7 from 1 Hz to 1,6 kHz, a significant part of the variation probably being due to the frequency dependence of the reference resistor itself. The QHRs of the two samples are in agreement to within 1 part in 10^8 from 1 Hz to 800 Hz but at 1,6 kHz a significant difference, somewhat unstable and having a mean value of 3 parts in 10^8 , is observed. Another problem is the existence of rather sharp resonances at frequencies between 2 kHz and 3 kHz, for which the QHR shows large deviations (a few parts in 10^6) from the lower-frequency value. The resonances are interpreted as mechanical resonances of the alternating-current carrying wires bonded to the sample, caused by the force exerted by the large magnetic flux density (10 T). Further work is needed to resolve these problems.

5.4 Bilateral comparisons of electrical standards at the BIPM (T. J. Witt)

A scheme for bilateral comparisons of electrical standards was introduced last year (*see* Director's report 1993) as a means of providing rigorous comparisons for laboratories wishing to show the traceability of their basic electrical standards to those of the BIPM. Results and uncertainties will be published, in tabular form in the *Procès-verbaux du*

CIPM and in *Metrologia*. The table below lists the results of bilateral comparisons that have become available over the last year. As usual, they are given in the form $Q_{\text{LAB}} - Q_{\text{BI}}$, the difference in values of the quantity Q (a voltage or resistance) attributed to a standard by the named laboratory and by the BIPM. The quantity s is the combined total standard uncertainty of the comparison. The right-hand column indicates if, as a result of the comparison, the laboratory has chosen to modify its reference standard in such a way as to reduce $Q_{\text{LAB}} - Q_{\text{BI}}$ to zero.

VOLTAGE STANDARDS

Laboratory	Date	1,018 V		10 V		change
		$(U_{\text{LAB}} - U_{\text{BI}})/\mu\text{V}$	$s/\mu\text{V}$	$(U_{\text{LAB}} - U_{\text{BI}})/\mu\text{V}$	$s/\mu\text{V}$	
INETI (Lisbon)	1992-12-11	0,23	0,29			yes
BEV (Vienna)	1993-08-21			5,0	6,4	no
BEV (Vienna)	1993-09-13	- 0,10	0,70			no
FORBAIRT (Dublin)	1994-03-27			0,31	2,5	no
FORBAIRT (Dublin)	1994-03-31	- 0,09	0,51			no

RESISTANCE STANDARDS

Laboratory	Date	1 Ω		10 k Ω		change
		$(R_{\text{LAB}} - R_{\text{BI}})/\mu\Omega$	$s/\mu\Omega$	$(R_{\text{LAB}} - R_{\text{BI}})/\text{c}\Omega$	$s/\text{c}\Omega$	
BEV (Vienna)	1993-08-21	0,05	0,30	0,02	0,65	no
NMS (Oslo)	1993-12-14	0,057	0,085			yes
INETI (Lisbon)	1994-01-19	0,18	0,37			no
FORBAIRT (Dublin)	1994-03-28	0,03	0,40	0,06	0,80	no

5.5 Routine calibrations

This year, routine calibrations were carried out on the following standards: bare cells for Austria and Bulgaria; cells in a thermo-regulated enclosure for Egypt; 1,018 V and 10 V Zener diode standards for Austria, Belgium, Brazil, the Czech Republic, Ireland and Portugal; 1 Ω resistors for Belgium, Bulgaria, the Czech Republic, Ireland and Norway; 10 k Ω resistors for Belgium, Bulgaria, the Czech Republic and Ireland.

5.6 Publications, lectures, travel: Electricity section

5.6.1 External publications

1. REYMANN D., FELLER U., DE LA COURT P., WITT T. J., Comparisons of the Josephson Voltage Standard of the BIPM with those of the OFM and the NMI, *Metrologia*, 1993, **31**, 45-48.
2. REYMANN D., LO-HIVE J.-P., GENEVÈS G., A Comparison of One Volt Josephson Junction Array Voltage Standards Driven by a Common Microwave Source, *Metrologia*, 1993, **31**, 35-37.

5.6.2 Lectures and presentations

T. J. Witt gave two lectures entitled "The BIPM and the SI Units" and "Some Activities of the BIPM in the Field of International Comparisons" at the Commonwealth-India Metrology Centre Group Training Workshop at the NPLI (New Delhi, India), on 26 May 1994. He gave a lecture entitled "Some International Comparisons Carried out by the BIPM" at the IEN (Turin, Italy), on 25 July 1994.

T. J. Witt, F. Delahaye and D. Reymann attended the CPEM'94 (Boulder, USA), 27 June-1 July 1994, and gave or co-authored the following lectures:

"A review of realizations and comparisons of Josephson effect voltage standards" (T. J. Witt), invited lecture, *CPEM'94 Digest*, 1994, 262;

"A study of the stability of some Zener-diode based voltage standards" (T. J. Witt, D. Reymann and D. Avrons), *CPEM'94 Digest*, 1994, 274-275;

"A transfer device for 10 V Josephson array measurements" (D. Reymann and D. Avrons), *CPEM'94 Digest*, 1994, 49-50;

"Comparisons of 10 V Josephson array voltage standards between the BNM/LCIE and the BIPM" (J.-P. Lo-Hive, D. Reymann and G. Genevès), *CPEM'94 Digest*, 1994, 91-92;

"DC and AC quantum Hall measurements" (F. Delahaye), invited lecture, *CPEM'94 Digest*, 1994, 107;

"Comparison of quantum Hall effect resistance standards of the BNM/LCIE and the BIPM" (F. Delahaye, T. J. Witt, F. Piquemal and G. Genevès), *CPEM'94 Digest*, 1994, 134-135.

5.6.3 Travel (committees, visits to laboratories and institutions)

F. Delahaye attended two meetings of the IEC working group on the vocabulary of general concepts in electrotechnology at Darmstadt (Germany), 18-20 October 1993 and at Geneva (Switzerland), 14-18 March 1994.

T. J. Witt attended the 6th meeting of EUROMET contact persons in electricity at the NPL (Teddington, United Kingdom), 19-20 October 1993.

T. J. Witt attended the British Electromagnetic Measurements Conference at the NPL (Teddington, United Kingdom), 2 November 1993.

F. Delahaye visited the LCIE (Fontenay-aux-Roses, France), 9-20 December 1993 for comparisons of QHE standards. He was accompanied by T. J. Witt on 9-13 December 1993.

T. J. Witt, F. Delahaye and D. Reymann attended the second EUROMET meeting on single electron tunnelling devices and quantum current standards at the BNM/LCIE (Fontenay-aux-Roses, France), 8-9 March 1994. They visited the Quantronics Group of the CEA (Saclay, France) on the afternoon of 9 March 1994.

D. Reymann visited the LCIE (Fontenay-aux-Roses, France), 28 March-8 April 1994, for comparisons of 10 V Josephson arrays.

T. J. Witt visited the laboratories of the NPLI (New Delhi, India), 26-27 May 1994, and the Electronics Regional Test Laboratory (North) (New Delhi, India), 27 May 1994.

T. J. Witt visited the laboratories of the IEN (Turin, Italy) and attended a meeting of the Scientific Council of the IEN on 25-26 July 1994.

5.7 Activities related to external organizations

T. J. Witt is a member of the Technical Program Committee of the CPEM'94 and of the Executive Committee of the CPEM. He also presided at a CPEM'94 session on Josephson voltage standards. He was named a member of the Scientific Council of the IEN (Turin, Italy) in July 1994.

F. Delahaye is a member of the IEC working group on general concepts in electrotechnology.

5.8 Visitors to the Electricity section

Mr G. Slanar (BEV, Vienna, Austria), 25 October 1993.

Dr R. B. Frenkel (CSIRO, Lindfield, Australia), 25 October 1993.

Mr Tore Sørdsdal (NMS, Oslo, Norway), 27 October 1993.

Dr Kyu-Tai Kim (KRISST, Taejon, Republic of Korea), 29 October 1993.

Dr O. Petersons (NIST, Gaithersburg, USA), 5 November 1993.

Dr T. Endo (ETL, Tsukuba, Japan), 9-10 March 1994.

Mr T. Leahy (FORBAIRT, Dublin, Ireland), 6 May 1994.

Drs R. E. Hebner, A. H. Cookson, R. E. Harris and E. R. Williams (NIST, Gaithersburg and Boulder, USA), 27 May 1994.

Mrs I. Delgado (CEN, Madrid, Spain), 21 July 1994.

Mr P. Chrobok (CMI, Prague, Czech Republic), 23 August 1994.

Mr M. Lobo (INETI, Lisbon, Portugal), 14 September 1994.

6. Radiometry, photometry, thermometry and pressure (R. Köhler)

6.1 Radiometry (R. Köhler, R. Goebel)

The international comparison of the spectral responsivity of silicon photodiodes, begun in 1991, was completed in 1994. A draft report containing the results of the comparison of silicon photodiodes and trap detectors from the fourteen participating laboratories in the first round of the comparison, together with an appendix giving the results of the detectors from the four second round participants, was prepared and sent to the participating laboratories. The final corrected report, taking into account comments from the participants, has been submitted to the Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie.

An additional result of the international comparison is the observation of ageing effects in the silicon photodiodes after exposure to UV radiation. After the comparison was completed some supplementary measurements were carried out in order to investigate the effect further. It was found that the change in observed responsivity of a detector depends mainly on the wavelength and duration of the exposure to UV radiation, but is independent of the irradiance level. The change in responsivity seems to be an effect produced inside the devices: it is not dependent on the surface qualities since measurements of the front surface reflectance during the exposure show no changes.

A commercial cryogenic radiometer has been purchased from the Oxford Instruments company. The instrument is a new type of radiometer: many features of its design result from discussions, organized by the BIPM, with possible users of such an instrument and with the manufacturers. The necessary auxiliary equipment (vacuum system, parts of the electronics etc.) was designed and built at the BIPM. The system was installed in January 1994 and is now operational. Many different tests are being carried out to investigate its repeatability and accuracy. Currently the repeatability of a series of six electrical substitution cycles for an optical power measurement when compared with the old BIPM absolute radiometric reference, a QED-200 detector, is of the order of 2,5 parts in 10^5 . Measurement series taken on different days, however, can differ by up to 1 part in 10^4 . The reasons for this are not yet known and are under investigation.

Soon after delivery of our cryogenic radiometer another, of identical design for delivery to the CSIRO (Sydney, Australia), came to the BIPM for tests. Although the time was too short for a useful comparison of performance to be carried out, many useful measurements were made which allowed us to improve our understanding of the behaviour of these instruments.

A comparison with another commercial cryogenic radiometer, a CRI Laserad, from the INM (Paris, France), was carried out at the beginning of July 1994 at the BIPM. This was the first direct comparison of the only cryogenic radiometers commercially available. The two radiometers, of different design but operating on the same working principle, agreed to within 1,8 parts in 10^4 . The difference in responsivity of the two systems is just within the uncertainties stated by the manufacturers, but the type A uncertainties are much smaller than the measured difference indicating a systematic effect.

In photometry, the working standards for measurements of distribution temperature have been compared with the group of lamps used in the first international comparison of distribution temperature (1963-1964).

6.2 Thermometry and pressure (R. Köhler)

Following a decision by the Comité Consultatif de Thermométrie (CCT) at its 18th meeting in September 1993, a comparison of triple point of water cells has begun. Cells from the USA (Jarret) and Russia (VNIIM) were purchased. Other cells, originating from the Republic of Korea (KRIS), Italy (IMGC) and the United Kingdom (NPL) were brought to the BIPM by these laboratories. The triple points were all measured at the BIPM and then dispatched in two groups of three cells each. Each group will be measured at three different laboratories before returning to the BIPM where they will be remeasured to check for possible degradation of the cells. The comparison is planned for completion before the next meeting of the CCT, provisionally scheduled for 1996.

The BIPM manobarometer, which was renovated in 1993, is fully operational again. As a check, it has been compared with a pressure balance that is taking part in a medium pressure comparison of the Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées (CCM). This balance took part in a comparison at the BIPM in 1984. The results of the new measurements agree within their uncertainties, that is, to about 1 Pa.

6.3 Calibration work

Photometric standard lamps of luminous intensity and luminous flux have been calibrated for the CMI (Prague, Czech Republic) and the SP (Borås, Sweden). One lamp of colour temperature has been calibrated for the NPL.

Calibrations of pressure gauges have been made for the Electricity, Mass and Ionizing Radiations sections throughout the year with a frequency of about one per month.

A total of fifteen platinum resistance thermometers was calibrated at the triple point of water and at the melting point of gallium for the Electricity, Mass and Radiometry sections.

6.4 Publications, lectures, travel: Radiometry section

6.4.1 BIPM report

1. KÖHLER R., GOEBEL R., PELLO R., Report on the international comparison of spectral responsivity of silicon photodiodes, *Rapport BIPM-94/9*, July 1994, 71 pages + Annex, 23 pages (also working document CCPR/94-2).

6.4.2 Lectures and presentations

R. Köhler gave two presentations, with R. Goebel and R. Pello, entitled “First Results of Measurements with the BIPM Absolute Cryogenic Radiometer” and “Results of the International Comparison of Spectral Responsivity of Silicon Photodiodes” at the Newrad’94 conference and participated in one presentation.

R. Köhler gave a talk at the NPL (Teddington, United Kingdom) on the results of the international comparison of silicon photodiodes.

R. Goebel gave a presentation, with R. Köhler and R. Pello, entitled “Some Effects of Low-power UV Radiation on Silicon Photodiodes” at the Newrad’94 conference and participated in the two other presentations mentioned above.

6.4.3 Travel (committees, visits to laboratories and institutions)

R. Köhler visited:

— the NPL (Teddington, United Kingdom), 8-11 November 1993, to visit the Radiometry, Photometry and Temperature sections;

— the PTB (Braunschweig, Germany), 28-29 March 1994, to assist as an observer at an EUROMET meeting on radiometry;

— the CNAM (Paris, France), 4 May 1994, to attend the bi-centenary of the CNAM celebration day on temperature and radiation;

— the NPL (Teddington, United Kingdom), 18-20 May 1994, to deliver triple point of water cells belonging to the NPL and the KRISS (Taejon, Rep. of Korea), to prepare for a comparison of cryogenic radiometers from the NPL and the BIPM, and to have discussions with staff from the Pressure, Radiometry, Photometry and Temperature sections;

— Berlin (Germany), 19-21 September 1994, to attend the Newrad’94 conference;

— Berlin (Germany), 22-23 September 1994, to attend a CIE Division 2 meeting.

R. Goebel visited:

— the CNAM (Paris, France), 4 May 1994, to attend the bi-centenary of the CNAM celebration day on temperature and radiation;

— the NPL (Teddington, United Kingdom), 15-17 June 1994, to return a pressure balance and triple point of water cells to the NPL;

— Berlin (Germany), 19-21 September 1994, to attend the Newrad'94 conference.

R. Pello visited:

— the CNAM (Paris, France), 4 May 1994, to attend the bi-centenary of the CNAM celebration day on temperature and radiation;

— the NPL (Teddington, United Kingdom), 15-17 June 1994, to return a pressure balance and triple point of water cells to the NPL;

— Noisy-le-Sec (France), to attend a seminar on the use of aluminium in vacuum installations.

6.5 Activities related to external organizations

R. Köhler is a member of the CIE technical committee 2.29 on measurement of detector linearity.

6.6 Visitors to the Radiometry, photometry, thermometry and pressure section

Mr L. Liedquist (SP, Borås, Sweden), 15 October 1993.

Mr O. Touayar (INM, Paris, France), 17 November 1993.

Mr M. Woolfrey and Mr A. Goater (Oxford Instruments, Oxford, United Kingdom), 10-14 January 1994.

Mr J. Bastie (INM, Paris, France), 12 January 1994.

Mr N. Fox (NPL, Teddington, United Kingdom), 27 January 1994.

Mr A. Pokhodun (VNIIM, St. Petersburg, Russia), 2 February 1994.

Mr M. Woolfrey (Oxford Instruments, Oxford, United Kingdom), 14-25 February 1994.

Dr P. Bloembergen (NMI/VSL, Delft, Netherlands), 25 February 1994.

Mr F. Hejsek, Mr P. Chrobok, Mr J. Zikan (CMI, Prague, Czech Republic), 28 March 1994.

Mr N. Patrikios (Oxford Instruments, Oxford, United Kingdom), 25 May 1994.

7. Ionizing Radiations (J. W. Müller)

As in previous years, the work of the Ionizing Radiations section has centred on comparisons. The primary role of the BIPM in ensuring world-wide traceability of the basic quantities on which dosimetry and activity measurements rely was emphasized at the meeting of the Comité

Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CEMRI) held at Sèvres in April 1994.

7.1 Dosimetry (M. Boutillon and V. D. Huynh)

7.1.1 Gamma rays and x rays (M. Boutillon and A.-M. Perroche)

i) *Calibration in terms of absorbed dose to water* (^{60}Co)

The calibration factor of a transfer instrument, in terms of absorbed dose to water, is obtained at the BIPM with an uncertainty of 0,5 % (statistical uncertainty below 0,03 %). Since the conditions of measurement can be slightly different from those existing at the laboratory where the instrument will be used, experiments have been carried out to evaluate the influence of various parameters on the calibration factor N_D (scatter of the beam, dose rate, non-uniformity of the beam, depth in water). The effect is found to be small for chambers of small size.

ii) ^{137}Cs source (1 TBq)

The geometry for determination of air kerma uses a source to reference plane distance of 1 m, and a beam diameter of 10 cm. The standard, in graphite, is of a design similar to that used in the ^{60}Co beam. The volume of the cavity has been determined ionometrically by comparison with another standard, in both the ^{60}Co and ^{137}Cs beams. The numerical value obtained, $v = (6,834 \pm 0,003) \text{ mm}^3$, holds for both beams. The experimental determination of the correction factors $k_{r,n}$ and k_s , for the influence of the radial beam non-uniformity — which is more pronounced for the ^{137}Cs source than for the ^{60}Co one — and for the ions which are not collected, has already been carried out ($k_{r,n} = 1,005$, $k_s = 1,0014$). The variation of the chamber response with distance from the source has been shown to deviate from the inverse square law by about 0,3 % for a variation in the distance of 30 cm. This small difference can be explained by the scattered radiation which originates far from the source, for example in the collimator.

iii) *Comparisons and calibrations at the BIPM* (^{60}Co)

Comparisons have been made in terms of air kerma, absorbed dose to graphite and absorbed dose to water (Table 7.1).

The comparisons of air kerma standards are direct, whereas those of absorbed dose to graphite are either direct or indirect. Most results show agreement with the BIPM standards to within 1σ . For comparison, Table 7.1 also shows earlier results obtained in comparisons with the NMi (Delft, Netherlands) and the LPRI (Saclay, France).

Indirect comparisons of standards of absorbed dose to water have been carried out with laboratories which determine this quantity by transfer from the absorbed dose to graphite either by the scaling theorem method (ENEA, Rome, Italy and BEV, Vienna, Austria) or from the calibration of an ionization chamber in graphite (LPRI). The results are satisfactory.

TABLE 7.1
Comparisons and calibrations at the BIPM
⁶⁰Co γ rays

Laboratory	Air kerma K_{LAB}/K_{BIPM}	Absorbed dose D_{LAB}/D_{BIPM}	
		graphite	water
NMi		0,9975*	
NMi		0,9976	
LPRI	1,0025*	0,9995*	0,9990
ENEA		0,9966	0,9970
BEV	1,0040*		0,9990
NMi (1979)		0,9998	
LPRI (1977)		0,9999	

* direct comparisons

Ionization chambers used as secondary standards of absorbed dose to water by the NMi and the CIEMAT (Madrid, Spain) have been calibrated in water. The CIEMAT chambers (Shonka type, $\varnothing = 12$ mm) are inserted in a thick envelope in perspex and polythene. Calibration at three depths ($5 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$, $11 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$ and $17 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$) showed variations not exceeding 0,1 % of the calibration factor. The value of the factor C_{λ} is 1,0872. Three other chambers (PTW type), calibrated in the same conditions, have a C_{λ} factor of 1,096.

A secondary standard has also been calibrated for the CMI (Prague, Czech Rep.), in terms of air kerma, in the medium energy x-ray range (x-ray tube voltage from 60 kV to 250 kV) and in the ⁶⁰Co beam.

Active collaboration with the IAEA continues. Six sets of three thermoluminescent dosimeters were irradiated (2 Gy) for the IAEA in the BIPM water phantom in November 1993, February 1994 and September 1994. The results of all the irradiations made within the past two years are satisfactory: the mean value, $D_{IAEA}/D_{BIPM} = 0,997 \pm 0,005$, is well within the 1 % uncertainty quoted by the IAEA.

7.1.2 Neutron measurements (V. D. Huynh)

i) *International comparison of neutron fluence measurements*

The comparison of the neutron fluence measurements at 24,5 keV, using three Bonner spheres as transfer instruments, is in progress. The measurements at the NIST (USA) and the CIAE (Beijing, People's Rep. of China) were completed in July 1993 and May 1994, respectively. The Bonner spheres were returned to the BIPM for stability checks after measurement by each participant, using a check-source arrangement established at the BIPM. The transfer instruments were sent to the PTB (Germany) in June 1994.

ii) *Neutron emission rate measurements*

A new calibration of the BIPM Ra-Be(α,n) standard neutron source was carried out in February 1994. This made it possible to calibrate two neutron sources, one from the LPRI and the other from the LNMRI (Rio de Janeiro, Brazil), using the BIPM manganese bath. For this purpose, a ^{56}Mn solution of well-known activity is required. In collaboration with the radionuclide group at the BIPM a suitable solution of ^{56}Mn was obtained using the $4\pi\beta\text{-}\gamma$ coincidence method. The results of the neutron emission rate measurements are in good agreement with previous calibrations which have a spread of just 0,2 %, over the period from 1964 to 1986.

The ^{252}Cf neutron source of the LPRI was calibrated in April-May 1994. Three measurements were performed with a spread of 0,03 %. The Am-Be(α,n) neutron source of the LNMRI was calibrated in June 1994 and the reproducibility of the measurements is better than 0,1 %.

7.2 Radionuclides (J. W. Müller)

7.2.1 Activity measurements (G. Ratel)

i) *Trial comparison of ^{204}Tl activity measurements*

The choice of ^{204}Tl as a subject for comparison is important for two reasons: it is the first time that a pure beta emitter will be standardized in the framework of an international comparison of activity measurements and this comparison will be carried out, to a large extent, by means of the liquid-scintillation technique. The comparison is also a test of the NIST-CIEMAT method* and will show whether it is appropriate for the standardization of beta-emitting radionuclides in the International Reference System (SIR).

* GRAU MALONDA A., GARCIA-TORANO E., Evaluation of Counting Efficiency in Liquid Scintillation Counting of Pure β -Ray Emitters, *Int. J. Appl. Radiat. Isot.*, 1982, 33, 249-253.

Many laboratories were interested in taking part in the trial comparison. To ensure the success of the exercise, we had to limit the participants to those with experience of the liquid-scintillation technique. For this reason the CIEMAT, the LPRI, the NAC (Faure, South Africa), the NIST and the PTB have been selected. The BIPM will also participate, more in matters of organization than of expertise.

Following a proposal by A. Grau Malonda (CIEMAT), coordinator of the working group for the extension of the SIR, the properties of a suitable solution have been defined. Since no other laboratory has offered to prepare the solution, the BIPM will undertake this work, as it has already done for the ^{75}Se international comparison. The solution will be of 1 mol/dm^3 HNO_3 , with $6 \mu\text{g/ml}$ of thallium as carrier.

An improved version of the report form has been sent to the interested laboratories with a request for comments. The trial comparison will take place in the autumn of 1994.

ii) *EUROMET comparison*

A EUROMET comparison of activity measurement methods using the liquid-scintillation technique has been initiated by P. Cassette (LPRI). Different measuring methods (e.g. CIEMAT-NIST or the triple to double coincidence ratio (TDCR) method) will be checked on pure beta emitters such as ^{63}Ni (in 1994) or ^{55}Fe (in 1995). The framework of this comparison has been enlarged in order to allow the participation of laboratories outside western Europe, such as the NAC, the NIST and the IEA which have specific knowledge of these techniques. The BIPM takes part in order to acquire the competence necessary to apply these methods to the SIR.

Solutions of ^{63}Ni and ^3H , both required by the laboratories using the CIEMAT-NIST method, have been provided by the LPRI. Together with the radionuclidic solutions, an aliquot of the same scintillator used for the preparation of the ^{63}Ni samples is included so that the laboratories may prepare sets of quenched ^3H samples with identical scintillation properties.

The CIEMAT-NIST method, as used at the BIPM, has two parts: one is purely experimental and determines the count rate as a function of a parameter characterizing the level of quenching of the samples, while the other is an algorithm which computes the beta spectra of ^3H and ^{63}Ni . In combination, these parts allow the detection efficiency of a radionuclide of unknown activity to be determined.

The main obstacle to measurement of the activity of a solution is that the quenching level of the sample is unknown and so, also, is the detection efficiency. The use of a set of standardized samples of ^3H allows this ambiguity to be resolved.

Five quenched samples of a tritiated solution were prepared from the standardized ^3H solution delivered by the LPRI and have been measured in our liquid-scintillation device. The built-in quenching parameter, using an

external standard of ^{137}Cs , has been employed. This measures the position of the inflexion point of the Compton edge of the ^{137}Cs spectrum for a given level of quenching.

The five samples of ^{63}Ni delivered by the LPRI, as well as five others prepared at the BIPM from the primary solution, have been measured. The detection efficiency, deduced from the measurements of the quenched samples of ^3H and the calculated spectra, is 78 %. The final value for the activity of the ^{63}Ni samples is $(82,2 \pm 0,2) \text{ kBq} \cdot \text{g}^{-1}$.

The main contributions to the uncertainty arise in the standardization of the ^3H solution and in the determination of the figure of merit as a function of the quenching parameter.

iii) *International reference system for measuring the activity of gamma-ray emitting radionuclides (SIR)*

Since October 1993 we note a clear increase in the number of ampoules sent to the BIPM and in the number of participating laboratories: we have received thirty-five ampoules filled with twenty-one different radionuclides, namely ^{22}Na , ^{46}Sc , ^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{56}Mn , ^{60}Co , ^{67}Ga , ^{85}Sr , ^{88}Y , ^{99}Mo , $^{99}\text{Tc}^m$, $^{110}\text{Ag}^m$, ^{113}Sn , ^{131}I , ^{133}Ba , ^{133}Xe , ^{137}Cs , ^{152}Eu , ^{155}Eu , ^{201}Tl and ^{243}Am . Of these, ^{155}Eu and ^{243}Am have been measured for the first time. This gives nineteen new results from ten laboratories (AECL, ANSTO, BIPM, CNEA, ETL, IRA, IRMM, LPRI, NPL and OMH). A total of 614 ampoules has now been measured and 449 independent results for 53 different gamma-ray emitters have been entered in the registration tables of the SIR.

In view of the interest shown by the national laboratories in gas ampoules, usually filled with ^{133}Xe , it has been decided to order one thousand ampoules of the NIST type, designed especially for the SIR chambers.

7.2.2 Counting statistics (J. W. Müller)

In evaluating dead-time corrections in the parity method of counting, lengthy algebraic rearrangements are often necessary. In carrying these out the quantity $T(r,k)$, given by the expression below, occurred and its evaluation was found to have an inherent interest. It is necessary to evaluate:

$$T(r,k) = \sum_{j=0}^{r-1} \binom{r-j}{j} S(j+1,k)$$

where S is a Stirling number of the second kind. Some numerical results of T are assembled in tabular form:

	$k = 1$	2	3	4	5
$r = 1$	1				
2	2	1			
3	4	5	1		
4	8	19	9	1	
5	16	65	55	14	1

A close look reveals that the terms follow the recurrence

$$T(r,k) = (k+1) T(r-1,k) + T(r-1,k-1),$$

which reminds us that similar relations also exist for the factors, namely

$$\binom{n}{k} = \binom{n-1}{k} + \binom{n-1}{k-1}$$

and

$$S(n,k) = k S(n-1,k) + S(n-1,k-1).$$

With the notation $B(j,k) = \binom{j-1}{k-1}$, the above relation can be written in the matrix form

$$\mathbf{T} = \mathbf{B} \times \mathbf{S},$$

where both \mathbf{B} and \mathbf{S} are triangular matrices of infinite order. We can now ask how recurrences, valid for the factors, transfer to the product matrix.

To discuss the general case we put

$$A_{i,j} = \sum_{r=1}^{m_1} \alpha_r A_{i-1,j-r+1},$$

and

$$B_{j,k} = \sum_{s=1}^{m_2} \beta_s B_{j-1,k-s+1}.$$

For the element $C_{i,k}$ of the product matrix \mathbf{C} , that is, for

$$C_{i,k} = \sum_j A_{i,j} B_{j,k} = \sum_{t=1}^M \gamma_t C_{i-1,k-t+1},$$

we are primarily interested in the structure of the coefficients γ_t , which are uniquely determined by α_r and β_s , as well as in their number M .

For the case $m_1 = m_2 = 4$ a direct evaluation leads to the following expressions for the ten coefficients γ_t :

$$\begin{aligned}\gamma_1 &= \alpha_1 + \alpha_2\beta_1 + \alpha_3\beta_1^2 + \alpha_4\beta_1^3, \\ \gamma_2 &= \alpha_2\beta_2 + \alpha_32\beta_1\beta_2 + \alpha_43\beta_1^2\beta_2, \\ \gamma_3 &= \alpha_2\beta_3 + \alpha_3(2\beta_1\beta_3 + \beta_2^2) + \alpha_4(3\beta_1^2\beta_3 + 3\beta_1\beta_2^2), \\ \gamma_4 &= \alpha_2\beta_4 + \alpha_3(2\beta_1\beta_4 + 2\beta_2\beta_3) + \alpha_4(3\beta_1^2\beta_4 + 6\beta_1\beta_2\beta_3 + \beta_3^3), \\ \gamma_5 &= \alpha_3(2\beta_2\beta_4 + \beta_3^2) + \alpha_4(3\beta_1\beta_3^2 + 6\beta_1\beta_2\beta_4 + 3\beta_2^2\beta_3), \\ \gamma_6 &= \alpha_32\beta_3\beta_4 + \alpha_4(3\beta_2\beta_3^2 + 6\beta_1\beta_3\beta_4 + 3\beta_2^2\beta_4), \\ \gamma_7 &= \alpha_3\beta_4^2 + \alpha_4(3\beta_1\beta_4^2 + 6\beta_2\beta_3\beta_4 + \beta_3^3), \\ \gamma_8 &= \alpha_4(3\beta_2\beta_4^2 + 3\beta_3^2\beta_4), \\ \gamma_9 &= \alpha_43\beta_3\beta_4^2, \\ \gamma_{10} &= \alpha_4\beta_4^3.\end{aligned}$$

It is possible to obtain from the listed results the general expression for arbitrary values of m_1 and m_2 . Its structure is

$$\gamma_t = \sum_{j=1}^{m_1} \alpha_j \sum_{(t)} \prod_{s=1}^t \beta_s^{\eta_s} p_s,$$

with $\eta_s = 0, 1, 2, \dots$. The sum (t) extends over all arrangements of the coefficients β_s (with s from 1 to m_2) for which

the number of factors β_s is $j-1$,

the sum of the indices s , weighted by their exponent η_s , equals $t+j-2$.

The term $p_s = (j-1)! / \prod_s \eta_s!$ is the number of permutations of the factors β_s .

It accounts for the values observed above, since for example for $\beta_1\beta_2\beta_4$ we have $p_s = 3!/1! = 6$, whereas for $\beta_1\beta_3^2$ one finds $p_s = 3!/2! = 3$.

Note also that the number of coefficients γ_t is given by

$$M = (m_1 - 1)(m_2 - 1) + 1,$$

thus $M = 10$ for $m_1 = m_2 = 4$.

The result will find few applications in its general form, but it readily yields formulae for shorter recurrences. Thus, for the simple case $m_1 = m_2 = 2$, by neglecting all coefficients α and β with indices exceeding 2, we obtain

$$\gamma_1 = \alpha_1 + \alpha_2\beta_1 \quad \text{and} \quad \gamma_2 = \alpha_2\beta_2.$$

7.3 Publications, lectures, travel: Ionizing Radiations section

7.3.1 External publications

1. BOUTILLON M., PERROCHE A.-M., Determination of calibration factors in terms of air kerma and absorbed dose to water in the ^{60}Co gamma rays, *SSDL Newsletter*, 1993, **32**, 3-13.
2. MÜLLER J. W., Applied modulo counting, In *International Workshop on Advanced Mathematical Tools in Metrology*, Turin, October 1993, 2 pages.
3. MÜLLER J. W., Some mathematical problems in applied statistics, In *International Workshop on Advanced Mathematical Tools in Metrology*, Turin, October 1993, 2 pages.
4. RATEL G., Measurement of the activity concentration of a solution of ^{75}Se , *Nucl. Instrum. Meth.*, 1993, **A339**, 408-413.
5. RATEL G., International comparison of activity measurements of a solution of ^{109}Cd , *Nucl. Instrum. Meth.*, 1994, **A345**, 289-295.
6. Particle counting in radioactivity measurements, *ICRU Report 52*, 1994, 80 pages (J. W. Müller acted as Chairman of the Report Committee).

7.3.2 BIPM reports

7. MÜLLER J. W., A note on recurrences, *BIPM Working Party Note 237*, February 1994, 5 pages.
8. PERROCHE A.-M., BOUTILLON M., GRIMBERGEN T. W. M., Van DIJK E., Comparison of the standards of absorbed dose to graphite of the NMi and the BIPM for ^{60}Co γ rays, *Rapport BIPM-94/1*, March 1994, 8 pages.
9. PERROCHE A.-M., BOUTILLON M., GUERRA A. S., LAITANO R. F., PIMPINELLA M., Comparison of the standards of absorbed dose of the ENEA and the BIPM for ^{60}Co γ rays, *Rapport BIPM-94/4*, March 1994, 6 pages.
10. PERROCHE A.-M., BOUTILLON M., DAURES J., DELAUNAY F., LEROY E., OSTROWSKY A., CHAUVENET B., Comparison of the standards of air kerma and of absorbed dose of the LPRI and the BIPM for ^{60}Co γ rays, *Rapport BIPM-94/6*, May 1994, 10 pages.
11. PERROCHE A.-M., BOUTILLON M., LEITNER A., Comparison of the standards of air kerma and of absorbed dose to water of the BEV and the BIPM for ^{60}Co γ rays, *Rapport BIPM-94/7*, May 1994, 7 pages.

7.3.3 Travel (committees, visits to laboratories and institutions)

J. W. Müller visited:

— Turin (Italy), 20-22 October 1993, to participate in the International Workshop on Advanced Mathematical Tools in Metrology, where he gave two invited lectures entitled “Applied modulo counting” and “Some mathematical problems in applied statistics”;

— LPRI (Saclay, France), 2 March 1994, where he gave a lecture entitled “Le nouveau guide sur l’expression des incertitudes de mesure”;

— Ann Arbor (USA), 16-19 May 1994, to participate in the 1994 Symposium on Radiation Measurements and Applications, where he gave a lecture entitled “Statistics of a scaled-down Poisson process”;

— Gaithersburg (USA), 25-30 July 1994, to participate in the annual meeting of the ICRU Main Commission as the BIPM representative. On this occasion, he visited the NIST on 21-22 July, where he gave a lecture on “Progress in parity counting”.

M. Boutillon:

— attended the 1994 Symposium on Radiation Measurements and Applications held in Ann Arbor (USA), 16-19 May 1994, and gave a lecture entitled “A brief look at absorbed dose measurements”;

— took part in the annual meeting of the ICRU Main Commission held in Washington DC, 25-30 July 1994, and visited the NIST (USA), 21-22 July 1994;

— took part in the World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, held in Rio de Janeiro (Brazil), 21-26 August 1994. She gave a lecture entitled “Direct calibration at the BIPM in terms of absorbed dose to water”.

M. Boutillon and A.-M. Perroche attended the consultants meeting on external quality audit of the absorbed dose comparison methods used by the IAEA (Vienna, Austria), 19-21 December 1993. A.-M. Perroche gave a lecture entitled “Determination of calibration factors in terms of air kerma and absorbed dose to water in the ^{60}Co gamma rays”.

P. J. Allisy-Roberts:

— attended a Council meeting of the Society for Radiological Protection (United Kingdom), held in London on 5 September 1994;

— took part in an Article 31 Group (EC Euratom) meeting on medical radiation exposures in Brussels (Belgium), on 22-23 September 1994.

G. Ratel attended the International Conference on Advances in Liquid Scintillation Spectrometry (Glasgow, United Kingdom), 8-12 August 1994.

G. Ratel and C. Colas attended a technical training course “Formation à la personne compétente – sources scellées” at the Socotec (Paris, France), 25-26 May 1994.

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 and Chairman of an ICRU Report Committee. 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 INM (Paris), and a member of the ISO working group of TAG 4 on the expression of uncertainties.

P. J. Allisy-Roberts is a member of Committee 3 of the ICRP. She is also a member of the British Committee for Radiation Units, based at the NPL. She assists the UK Department of Trade and Industry in its annual review of radiation metrology at the NPL, and is a scientific member of the UK Health and Safety Commission's working group on ionizing radiation.

7.5 Visitors to the Ionizing Radiations section

7.5.1 Guest workers

Mme A.-M. Perroche (OPRI, Le Vésinet, France) continues her participation in the work of the Ionizing Radiations section (Dosimetry) as she has done since 1961.

Messrs T. W. M. Grimbergen and E. Van Dijk (NMI, Utrecht, Netherlands) stayed at the BIPM from 27 September to 6 October 1993 for the comparison of the calorimetric standard of absorbed dose to graphite of their laboratory and for the calibration of two ionization chambers in terms of absorbed dose to water, in the ^{60}Co gamma radiation.

Mr A. Brosed (CIEMAT, Madrid, Spain) stayed at the BIPM from 12 to 19 November 1993 for the calibration of three ionization chambers of his laboratory in terms of absorbed dose to water, in the ^{60}Co gamma radiation.

Messrs A. Ostrowsky and E. Leroy (LPRI, Saclay, France) stayed at the BIPM from 26 November to 10 December 1993 for the comparisons of the standards of air kerma, absorbed dose to graphite and absorbed dose to water of their laboratory in the ^{60}Co gamma radiation.

Dr A. S. Guerra (ENEA, Rome, Italy) stayed at the BIPM from 21 to 25 February 1994 for comparisons of the standards of absorbed dose to graphite and absorbed dose to water from his laboratory in the ^{60}Co gamma radiation.

Dr A. Leitner (BEV, Vienna, Austria) stayed at the BIPM from 25 to 29 April 1994 for comparisons of the standards of air kerma and absorbed dose to water from his laboratory in the ^{60}Co gamma radiation.

Dr E. S. da Fonseca (LNMRI, Rio de Janeiro, Brazil) stayed at the BIPM from 13 June to 1 July 1994, for the calibration of an Am-Be (α, n) neutron source from his laboratory.

7.5.2 Visitors

Dr Shian-Jang Su and Dr Dong-Pao Chou (Institute of Nuclear Energy Research, Lung-Tan, Taiwan), 25-26 October 1993.

Dr V. Sochor (CMI, Prague, Czech Republic), 18 January 1994.

Miss M. Stucki (Socotec, Paris, France), 25 January and 8 March 1994.

Miss M.-N. Peron and Dr P. Cassette (LPRI, Saclay, France), 15 February 1994.

Messrs B. Chauvenet and F. Delaunay (LPRI, France), 1 March 1994.

Messrs P. Blanchis and J.-P. Picolo (LPRI, Saclay, France), 15 March 1994.

Miss S. Seralda, Messrs P. Berthe and P. Blanchis (LPRI, Saclay, France), 14 April 1994.

Miss M.-N. Peron and Dr P. Cassette (LPRI, Saclay, France), 11 May 1994.

Dr Shuh-Hwa Lee and Dr Hung-Kang Jan (National Yunlin Institute of Technology, Yunlin, Taiwan), 27 May 1994.

Mr M. Abdou Saleh (NCRRT, Cairo, Egypt), 31 May 1994.

Miss D. Hainos, Messrs P. Blanchis and J. de Sanoit (LPRI, Saclay, France), 8 June 1994.

Mr P. J. Lamperti (NIST, USA), 23 June 1994.

IV. — PUBLICATIONS OF THE BIPM

1. General publications

Since July 1993 the following have been published:

Procès-Verbaux des Séances du Comité International des Poids et Mesures, Tome **61**, 82nd meeting, September 1993, 200 pages.

Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde, 12th meeting, 1993, 74 pages.

Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées, 5th meeting, 1993, 165 pages.

Annual Report of the BIPM Time section (1993), **6**, 1994, 129 pages.

Circular T (monthly), 4 pages.

2. Metrologia (D. A. Blackburn)

Volume 30 of *Metrologia* was published in 1993 and early 1994. For this volume the four research issues were supplemented by two special issues. Both supplements take the form of conference proceedings of which one covers the meeting on *New Developments and Applications in Optical Radiometry IV* held in Baltimore (USA) in October 1992 and the other the CCM Second International Seminar *Pressure Metrology from 1 kPa to 1 GPa*, held in Paris in June 1993.

In Volume 30, 120 articles were published, 36 regular research papers and 82 conference papers. A new category, *International Reports*, was introduced in which 2 items were published. In the year 1 January 1993 to 31 December 1993, 48 research papers were submitted for publication. Of these, 27 were published, 4 await publication, 11 were refused publication, 1 was withdrawn, and 5 remain under consideration. From 1 January to 31 May 1994, 31 research papers and 2 international reports were submitted. At 31 May 1994, 1 of the papers and the 2 reports had been published, 7 papers had been accepted for publication, 4 had been refused and 19 remained under consideration.

V. — MEETINGS AND LECTURES AT THE BIPM

1. Meetings

The CCEMRI met from 12 to 13 April 1994.

The CCPR met from 14 to 16 September 1994.

2. Lectures

The following lectures were given at the BIPM as part of the regular schedule of seminars:

G. Petit: Pulsars binaires et relativité générale, 16 November 1993.

P. De Bièvre (IRMM, Geel, Belgium): Stable isotope dilution: an essential tool for metrology, 26 November 1993.

T. Niebauer (Axis Instruments, Boulder, USA): Status of the new Axis gravimeter, 15 December 1993.

J. Bastie (INM, Paris): Radiométrie et photométrie à l'Institut National de Métrologie (INM), 12 January 1994.

P. Giacomo: Vocabulaire et concepts en métrologie, 23 February 1994.

G. Girard: Vérifications périodiques des prototypes nationaux du kilogramme, 16 March 1994.

P. Cassette (LPRI, Saclay, France): Mesures d'activité par scintillation liquide, 11 May 1994.

J. Gaignebet (OCA, Grasse, France): Télémétrie laser et ses applications au transfert du temps, 15 June 1994.

VI. — CERTIFICATES AND NOTES OF STUDY

In the period from 1 October 1993 to 30 September 1994, 53 Certificates and 7 Notes of Study were delivered.

For a list of Certificates and Notes, *see* page 93.

VII. — ACCOUNTS

Details of the accounts for 1993 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 97-102.

The headings for the tables may be translated as follows:

Compte I – Fonds ordinaires	Account I – Ordinary funds
Compte II – Caisse de retraite	Account II – Pension fund
Compte III – Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique	Account III – Special fund for the improvement of scientific equipment
Compte IV – Caisse de prêts sociaux	Account IV – Special loans fund
Compte V – Réserve pour les bâtiments	Account V – Building reserve 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 – Réserve pour l'assurance maladie	Account VII – Reserve for medical insurance

Two additional tables detail the payments made against budget in 1993 and the balance of accounts at 31 December 1993. This is done under the headings:

DÉTAIL DES DÉPENSES BUDGÉTAIRES	STATEMENT OF BUDGETARY EXPENDITURE
Bilan au 31 décembre 1993	Balance at 31 December 1993

It should be noted that in all tables the unit of currency is the gold franc (franc-or) which is defined by the equivalence

1 franc-or = 1,81452 French francs.

OBITUARIES

Frederick John LEHANY

1915 - 1994

Fred Lehany, Honorary Member of the Comité International des Poids et Mesures (CIPM), died in Sydney on 6 August 1994 at the age of seventy-nine.

Born in New Zealand, he came to Australia in 1939, having first graduated from the University of New Zealand with first-class honours in Mathematics and Physics, and having obtained a Master of Science degree. Like a number of Australian physicists, he spent the World War II years 1939-1945 working in defence projects in the Research Laboratory of Amalgamated Wireless (Australasia) Ltd at Ashfield, Sydney. He became expert in radiofrequency and microwave technology.

In 1945 Lehany transferred to the CSIR, the predecessor of today's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO), and three years later at the young age of thirty-two he took charge of its Division of Electrotechnology. This was one of three Divisions that constituted the then National Standards Laboratory, whose long-term function was to develop a comprehensive range of national standards for physical measurement and to promote their use throughout the community. This Laboratory had been established at the University of Sydney just prior to the War, but was largely diverted from its intended mission by defence requirements.

Lehany's area of responsibility grew as the three Divisions amalgamated first into two and by 1974 into one, when his title became Director of the National Measurement Laboratory. His heavy involvement from an early age in scientific management prematurely truncated Lehany's career in personal research. But he more than compensated for this by motivating his staff to achieve world's best practice and by providing a first-rate environment for standards research. The following examples of some of their developments in electrical standards illustrate why the National Measurement Laboratory soon won a high reputation internationally.

Work by A. M. Thompson, D. G. Lampard and W. K. Clothier led to a new theorem in electrostatics and a greatly improved physical standard

for the well-known electric unit of impedance, the ohm. This standard took the form of a specially designed capacitor, and the CSIRO prototype served for over twenty years as the world's most stable reference for the ohm. W. K. Clothier and G. J. Sloggett fundamentally redetermined the value of the volt in terms of the units of length, mass and time, using a novel mercury pool electrometer. Their results were a major contribution to an international redefinition in 1990 of the Josephson constant now used world-wide with modern quantized standards for the volt. I. K. Harvey developed novel techniques for applying superconductivity to electrical measurement, and in particular developed a cryogenic current comparator that increased by several orders of magnitude the accuracy with which electric currents can be compared. The list goes on.

In 1963 Lehany was elected to the CIPM, and in 1968 to the presidency of its Comité Consultatif d'Électricité. Soon afterwards he also assumed the chairmanship of the CCE working group on radiofrequency quantities. He remained an effective participant in these committees until his retirement from the CIPM in 1980. At the time he was elected an Honorary Member, the then President of the CIPM, Dr J. V. Dunworth, remarked that Lehany had brought to the committees "a broad and deep scientific knowledge and a sure touch in international negotiations".

Although the Australian Government is empowered by the Constitution to make laws with respect to weights and measures, the first legislation enacted in this field was the Weights and Measures (National Standards) Act 1948, later replaced by what is now titled the National Measurement Act 1960. These Acts gave legal recognition to CSIRO's standards of measurement, and also established the National Standards Commission to advise the Government on issues of legal metrology. Lehany was one of the foundation Commissioners, a post he held for some thirty years, and with the late A. F. A. Harper was a major force in determining the Commission's future directions. One of the Commission's most significant achievements during his time was its persuasion of the Government to metricate Australia.

Lehany also gave much support to the National Association of Testing Authorities, Australia, which had been established by the Commonwealth Government in 1947 as the national body for coordinating measurement and testing laboratories. He was the foundation chairman of its Registration Advisory Committee for Electricity, and later served on its Council and Executive. He also collaborated closely with the Standards Association of Australia.

In his final years before retiring from CSIRO in 1979, Lehany's major achievement was the construction for his Division of a large modern laboratory complex in the Sydney suburb of Lindfield. This complex, occupied in 1978 and titled the National Measurement Laboratory, was purpose designed to provide the physical services and environment required

for precision measurement. It is recognised as one of the world's finest facilities for physical measurement and testing.

Much of Lehany's success stemmed from his personal attributes. He was a modest man and the epitome of the quiet achiever. He built strong interpersonal relationships with a wide network of people and had a genuine interest in the welfare and careers of his staff at all levels, commanding their respect, loyalty and confidence. Though an outstanding strategic planner, he believed in direct, common-sense solutions to problems and was never devious.

Lehany's contributions to science and Australia have been recognised in several ways. In 1976 he received an Honorary Doctorate of Science from the University of Sydney, and in 1978 the award of Officer of the Order of Australia. The main lecture theatre at the National Measurement Laboratory has been named the Lehany Theatre in memory of a remarkable colleague and leader.

W. R. BLEVIN
October 1994

Tomasz PLEBANSKI

1930 - 1994

Tomasz Plebanski was born 11 September 1930 in Warsaw. After completing his studies at the Faculty of Mathematics and Natural Sciences in Poznań University in 1952, he worked for two years at the Institute of Pharmaceutics in the Department of Antibiotics in Tarchomin on the purification of antibiotics. These antibiotics were the first produced in Poland. From 1954 to 1956 he was a doctoral student in Physical Chemistry at Warsaw University where he worked on cryometric methods of measuring the purity of chemical substances. Under the direction of Professor W. Swietoslowski, he obtained his PhD in 1960 for a thesis *Investigation of cryometric methods using a new kind of dilatometric cryometer*. He was already a research scientist at the Institute of Physical Chemistry of the Polish Academy of Sciences. In 1961 he won first prize in an important IUPAC competition on precision methods for measuring the purity of substances.

His success led to invitations from other laboratories, in particular from the National Bureau of Standards, and he was elected an honorary member of the Commission on Physicochemical Measurements and Standards of IUPAC. In Poland at that time the Polish Committee on Science and Technology began to upgrade the national office for Standards and Measurements to encompass the problems of physical chemistry and pure chemistry. The Chairman, Mr Wojtyła, asked Professor Swietoslowski, who at that time was Director of the Institute of Physical Chemistry, to find a good candidate to head the Department of Physical Chemistry. In October 1961 Professor Swietoslowski recommended the thirty-one year old Dr Plebanski noting that his expertise in physical chemistry was combined with talents in organization and economics.

Dr Plebanski organized a Department of Metrology of Physical Chemistry with nine laboratories which employed 55 people, among them four Assistant Professors and nine doctors. He started an organized system of standard reference materials in Poland which later became part of the system of physical standards. This work was carried out in collaboration with several Polish institutes: Institute of Metrology of Iron, Institute of Non-Ferrous Metals, Institute of Physical Chemistry, Institute of Organic Industry. Also involved were several Polish scientific committees, ISO, OIML and the now-defunct COMECON, as well as metrological institutes in the USA, France, UK, Bulgaria, Czechoslovakia, Hungary and the USSR. In connection with this work, Dr Plebanski received, in 1972, the title of Extraordinary Professor of Chemistry, then in 1978 the Central Institute for

Research and Development of Standard Reference Materials (WZORMAT), with Plebanski as its Director, was established. WZORMAT worked in collaboration with the Institute of Measurements at Lodz, its task being to coordinate Polish efforts in creating reference materials and to carry out research on standards for certified physical and chemical properties and on the chemical properties of materials. In the 1980s, WZORMAT produced 260 standards for Polish and international use. In 1960, T. Plebanski took an initiative aimed at bringing order to a fundamental problem of science and technology to create a reference system for all physical and chemical data on the properties of substances and materials. This idea came to fruition in 1984 when the National Centre for Reference Data was created and when the National Committee on Data for Science and Technology was created. He was Vice President of this National Committee from 1978-1984 and he closely collaborated with the International CODATA of which he was Vice-President from 1974 to 1978.

A hard blow to Professor Plebanski was the decision to dissolve WZORMAT in 1991 as a result of the difficult economic situation in Poland. He took early retirement, and for some time was Advisor to the Vice Chairman of the Polish Committee on Standards, Measurement and Quality.

Elected a member of the Comité International des Poids et Mesures (CIPM) in 1983, his long experience in the field of chemical standards soon became invaluable when the Comité began addressing the problems of metrology in chemical analysis. He strongly supported the idea of setting up a CIPM working group to advise on whether or not the CIPM should take some action in this field. When the decision was being made a few years later, in 1993, to establish a Comité Consultatif pour la Quantité de Matière he urged that it be given the broadest possible terms of reference for the treatment of chemical measurement standards.

With his death on 20 August 1994 the CIPM lost an active and valuable member who will be long remembered.

T. J. QUINN

(T. J. Quinn wishes to thank Professor A. Michalik and Dr K. Mordzinski for kindly supplying the details of Tomasz Plebanski's work in Poland.)

March 1995

TABLE DES MATIÈRES
TABLE OF CONTENTS

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

83^e session (septembre 1994)
83rd Meeting (September 1994)

	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 de la session	XX
Procès-verbaux des séances, 27, 28 et 29 septembre 1994	1
1. Ouverture de la session ; quorum ; ordre du jour	1
2. Rapport du secrétaire du CIPM	2
3. Projet de convocation à la vingtième Conférence générale	4
4. Comités consultatifs	5
4.1 Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants	5
4.2 Comité consultatif de photométrie et radiométrie	7
4.3 Comité consultatif pour la quantité de matière	8
4.4 Réunions futures des comités consultatifs	12
5. Travaux du BIPM : Rapport du directeur	12
5.1 Travaux du BIPM	12
5.2 Dépôt des prototypes	14

6. Questions administratives et financières	15
6.1 Questions administratives et financières	15
6.2 Caisse de retraite du BIPM	18
6.3 Allocations familiales et de logement	19
6.4 Promotion	20
6.5 Metrologia	20
7. Questions diverses	21
7.1 Membres du CIPM	21
7.2 Groupe de travail du CCDS sur l'application de la relativité générale à la métrologie	21
7.3 Groupe de travail <i>ad hoc</i> du CCM sur les mesures d'humidité	22
7.4 Groupe de travail <i>ad hoc</i> du CCM sur la constante d'Avogadro	22
7.5 Groupe de travail du CCT sur les températures thermodynamiques ..	22
7.6 Prochaine session du CIPM	23
Rapport du directeur sur l'activité et la gestion du Bureau international des poids et mesures (octobre 1993 - septembre 1994)	25
I. Personnel. — Promotion et changement de grade (R. Köhler). Engage- ments (P. Allisy-Roberts, M. Nonis). Réengagement (A. Zarka). Départ (J. Bonheure)	25
II. Bâtiments	26
III. Travaux scientifiques	26
1. Remarques générales	26
1.1 Publications, conférences et voyages ne concernant pas directe- ment une section particulière	31
1.1.1 Publications extérieures	31
1.1.2 Rapport BIPM	31
1.1.3 Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts) ...	31
1.2 Activités en liaison avec des organismes extérieurs	32
2. Longueurs	33
2.1 Remarques générales	33
2.2 Mesures de longueur	33
2.2.1 Mesures de longueur classiques	33
2.2.2 Diffractomètre interférentiel à laser	34
2.2.3 Instrument de mesure des longueurs d'onde	34
2.3 Lasers	35
2.3.1 Lasers à argon asservis sur l'iode en cuve externe à $\lambda \approx 515$ nm	35
2.3.2 Lasers à He-Ne asservis sur l'iode à $\lambda \approx 543,5$ nm en cuve externe	36

2.3.3 Lasers à He-Ne asservis sur l'iode à $\lambda \approx 612$ nm en cuve interne ou externe	36
2.3.4 Lasers à He-Ne asservis sur l'iode à $\lambda \approx 633$ nm en cuve interne.....	36
2.3.5 Laser à diode asservi sur le rubidium à $\lambda \approx 778$ nm en utilisant les composantes hyperfines des transitions 5S-5D à deux photons	39
2.3.6 Lasers à He-Ne asservis sur le méthane à $\lambda \approx 3,39 \mu\text{m}$ en cuve interne ou externe	39
2.3.7 Lasers à CO ₂ à $\lambda \approx 10,6 \mu\text{m}$ à cuve externe contenant du SF ₆	40
2.3.8 Chaîne de synthèse de fréquences pour mesurer la fréquence absolue des lasers à He-Ne asservis sur l'iode à $\lambda \approx 633$ nm	40
2.3.9 Cuves à iode	41
2.3.10 Structure hyperfine	41
2.3.11 Diodes lasers dans la partie rouge du spectre visible, avec I ₂ comme référence	41
2.4 Publications, conférences et voyages : section des longueurs	42
2.4.1 Publications extérieures	42
2.4.2 Rapport BIPM	42
2.4.3 Conférences et exposés	42
2.4.4 Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts) ...	43
2.5 Visiteurs de la section des longueurs	45
2.5.1 Stagiaires	45
2.5.2 Visiteurs	45
3. Masse et grandeurs apparentées	46
3.1 Introduction	46
3.2 Étalons de 1 kg en acier inoxydable	47
3.3 La nouvelle balance à suspensions flexibles, FB-2	47
3.4 Effets de surface sur les étalons de masse en platine iridié	48
3.5 Anélasticité des pivots flexibles et des rubans de torsion	50
3.6 Spécification des alliages en acier inoxydable	51
3.7 Nouveaux prototypes	51
3.8 Gravimétrie	52
3.9 Publications, conférences et voyages : section des masses	53
3.9.1 Publication extérieure	53
3.9.2 Conférences et exposés	53
3.9.3 Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts) ...	54
3.10 Visiteurs de la section des masses	54
4. Temps	55
4.1 Temps atomique international (TAI) et Temps universel coordonné (UTC)	55
4.2 Algorithmes pour les échelles de temps	55

4.3 Liaisons horaires	57
4.3.1 Global Positionning Sysytem (GPS)	58
4.3.2 Global navigation Satellite System (GLONASS)	59
4.3.3 Comparaisons horaires par aller et retour	60
4.3.4 Laser Synchronization from Satellite Orbit (LASSO)	60
4.3.5 Experiment on Timing Ranging and Atmospheric Soundings (ExTRAS)	60
4.4 Application de la relativité générale à la métrologie du temps	61
4.5 Pulsars	61
4.6 Autres activités	62
4.6.1 Laboratoire de temps	62
4.6.2 Radio-interférométrie à très longue base	62
4.7 Publications, conférences et voyages : section du temps	63
4.7.1 Publications extérieures	63
4.7.2 Rapports BIPM	64
4.7.3 Conférences et exposés	64
4.7.4. Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts) ..	65
4.8 Activités en liaison avec des organismes extérieurs	66
4.9 Visiteurs de la section du temps	67
4.9.1 Stagiaire	67
4.9.2 Visiteurs	67
5. Électricité	67
5.1 Résumé des travaux de la section d'électricité	67
5.2 Potentiel électrique	68
5.2.1 Effet Josephson	68
5.2.2 Étude des effets de l'humidité sur les étalons à diode de Zener	69
5.2.3 Réduction des forces électromotrices thermiques des relais électro-mécaniques	70
5.3 Résistance électrique	70
5.3.1 Comparaisons internationales d'étalons de résistance fondés sur l'effet Hall quantique	70
5.3.2 Mesures de la résistance de Hall quantifiée en courant alternatif à des fréquences de l'ordre du kilohertz	71
5.4 Comparaisons bilatérales d'étalons électriques au BIPM	72
5.5 Étalonnages de routine	73
5.6 Publications, conférences et voyages : section d'électricité	73
5.6.1 Publications extérieures	73
5.6.2 Conférences et exposés	73
5.6.3 Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts) ...	74
5.7 Activités en liaison avec des organismes extérieurs	74
5.8 Visiteurs de la section d'électricité	75
6. Radiométrie, photométrie, thermométrie et manométrie	75

6.1 Radiométrie	75
6.2 Thermométrie et manométrie	76
6.3 Travaux d'étalonnage	77
6.4 Publications, conférences et voyages : section de radiométrie	77
6.4.1 Rapport BIPM	77
6.4.2 Conférences et exposés	77
6.4.3 Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts) ...	78
6.5 Activités en liaison avec des organismes extérieurs	79
6.6 Visiteurs de la section de radiométrie, photométrie, thermométrie et manométrie	79
7. Rayonnements ionisants	79
7.1 Dosimétrie	79
7.1.1 Rayons gamma et rayons x	79
7.1.2 Mesures neutroniques	81
7.2 Radionucléides	82
7.2.1 Mesures d'activité	82
7.2.2 Statistiques de comptage	84
7.3 Publications, conférences et voyages : section des rayonnements ionisants	86
7.3.1 Publications extérieures	86
7.3.2 Rapports BIPM	87
7.3.3 Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts) ...	87
7.4 Activités en liaison avec des organismes extérieurs	88
7.5 Visiteurs de la section des rayonnements ionisants	89
7.5.1 Stagiaires	89
7.5.2 Visiteurs	90
IV. Publications du BIPM	91
1. Publications générales	91
2. Metrologia	91
V. Réunions et exposés au BIPM	92
1. Réunions	92
2. Exposés	92
VI. Certificats et notes d'étude	93
VII. Comptes	97
 Notices nécrologiques	
Frederick John Lehany, par <i>W.R. Blevin</i>	103
Tomasz Plebanski, par <i>T.J. Quinn</i>	106

English text of the report

The BIPM and the Convention du Mètre	111
Members of the Comité International des Poids et Mesures	113
Staff of the Bureau International des Poids et Mesures	115
Agenda	118
Proceedings of the sessions, 27, 28 and 29 September 1994	119
1. Opening of the meeting; quorum; agenda	119
2. Report of the Secretary of the CIPM	120
3. Draft convocation to the twentieth Conférence Générale	122
4. Comités Consultatifs	123
4.1 Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants	123
4.2 Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie	124
4.3 Comité Consultatif pour la Quantité de Matière	125
4.4 Future meetings of the Comités Consultatifs	129
5. Work of the BIPM: Report of the Director	130
5.1 Work of the BIPM	130
5.2 Dépôt des prototypes	131
6. Administrative and financial affairs	132
6.1 Administrative and financial affairs	132
6.2 BIPM pension fund	133
6.3 Family and lodging allowances	136
6.4 Promotion	136
6.5 Metrologia	136
7. Other business	137
7.1 Membership of the CIPM	137
7.2 CCDS working group on the application of general relativity to metrology	137
7.3 CCM <i>ad hoc</i> working group on humidity measurements	138
7.4 CCM <i>ad hoc</i> working group on the Avogadro constant	138
7.5 CCT working group on thermodynamic temperatures	139
7.6 Next CIPM meeting	139
Director's Report on the Activity and Management of the Bureau International des Poids et Mesures (October 1993 - September 1994)	141
I. Staff. — Promotion and change of grade (R. Köhler). Appointments (P. Allisy-Roberts, M. Nonis). Re-appointment (A. Zarka). Departure (J. Bonheure).	141

II. Buildings	142
III. Scientific work	142
1. General introduction	142
1.1 Publications, lectures, travel not directly related to individual sections	146
1.1.1 External publications	146
1.1.2 BIPM report	146
1.1.3 Travel (committees, visits to laboratories and institutions)	146
1.2 Activities related to external organizations	148
2. Length	148
2.1 General remarks	148
2.2 Length measurement	149
2.2.1 Classical length measurement	149
2.2.2 Laser interference diffractometer	149
2.2.3 Wavemeter	149
2.3 Lasers	150
2.3.1 Iodine-stabilized argon lasers at $\lambda \approx 515$ nm using external cells	150
2.3.2 Iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda \approx 543,5$ nm using external cells	151
2.3.3 Iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda \approx 612$ nm using internal and external cells	151
2.3.4 Iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda \approx 633$ nm using internal cells	151
2.3.5 Rubidium-stabilized laser diodes at $\lambda \approx 778$ nm using the hyperfine components of 5S-5D two-photon transitions	154
2.3.6 Methane-stabilized He-Ne lasers at $\lambda \approx 3,39$ μm using internal and external cells	154
2.3.7 CO ₂ laser at $\lambda \approx 10,6$ μm using an external cell containing SF ₆	155
2.3.8 Frequency synthesis chain for measuring the absolute frequency of iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda \approx 633$ nm	155
2.3.9 Iodine cells	155
2.3.10 Hyperfine structure	156
2.3.11 Diode lasers in the visible red spectrum, with I ₂ as reference	156
2.4 Publications, lectures, travel: Length section	156
2.4.1 External publications	156
2.4.2 BIPM report	157
2.4.3 Lectures and presentations	157
2.4.4 Travel (committees, visits to laboratories and institutions)	158
2.5 Visitors to the Length section	159
2.5.1 Guest workers	159
2.5.2 Visitors	160

3. Mass and related quantities	161
3.1 Introduction	161
3.2 Stainless steel 1 kg standards	161
3.3 New flexure-strip balance, FB-2	162
3.4 Surface effects on Pt-Ir mass standards	163
3.5 Anelasticity in flexure pivots and torsion strips	164
3.6 Characterization of stainless steel alloys	165
3.7 New prototypes	165
3.8 Gravimetry	166
3.9 Publications, lectures, travel: Mass section	167
3.9.1 External publication	167
3.9.2 Lectures and presentations	167
3.9.3 Travel (committees, visits to laboratories and institutions)	168
3.10 Visitors to the Mass section	168
4. Time	168
4.1 International Atomic Time (TAI) and Coordinated Universal Time (UTC)	168
4.2 Algorithms for time scales	169
4.3 Time links	171
4.3.1 Global Positioning System (GPS)	171
4.3.2 Global Navigation Satellite System (GLONASS)	173
4.3.3 Two-way time transfer	173
4.3.4 Laser Synchronization from Satellite Orbit (LASSO)	173
4.3.5 Experiment on Time Ranging and Atmospheric Soundings (ExTRAS)	174
4.4 Application of general relativity to time metrology	174
4.5 Pulsars	175
4.6 Other activities	175
4.6.1 Time laboratory	175
4.6.2 Very Long Baseline Interferometry (VLBI)	176
4.7 Publications, lectures, travel: Time section	176
4.7.1 External publications	176
4.7.2 BIPM reports	177
4.7.3 Lectures and presentations	177
4.7.4 Travel (committees, visits to laboratories and institutions)	178
4.8 Activities related to external organizations	179
4.9 Visitors to the Time section	180
4.9.1 Research student	180
4.9.2 Visitors	180
5. Electricity	180
5.1 Summary of the work of the Electricity section	180
5.2 Electrical potential	181

5.2.1	Josephson effect	181
5.2.2	Study of the effects of humidity on Zener-diode standards	182
5.2.3	Reduced thermal emfs in electro-mechanical relays	182
5.3	Electrical impedance	183
5.3.1	International comparisons of quantum Hall effect resistance standards	183
5.3.2	AC measurements of quantized Hall resistance at kilohertz frequencies	184
5.4	Bilateral comparisons of electrical standards at the BIPM	184
5.5	Routine calibrations	185
5.6	Publications, lectures, travel: Electricity section	186
5.6.1	External publications	186
5.6.2	Lectures and presentations	186
5.6.3	Travel (committees, visits to laboratories and institutions)	186
5.7	Activities related to external organizations	187
5.8	Visitors to the Electricity section	187
6.	Radiometry, photometry, thermometry and pressure	188
6.1	Radiometry	188
6.2	Thermometry and pressure	189
6.3	Calibration work	189
6.4	Publications, lectures, travel: Radiometry section	190
6.4.1	BIPM report	190
6.4.2	Lectures and presentations	190
6.4.3	Travel (committees, visits to laboratories and institutions)	190
6.5	Activities related to external organizations	191
6.6	Visitors to the Radiometry, photometry, thermometry and pressure section	191
7.	Ionizing Radiations	191
7.1	Dosimetry	192
7.1.1	Gamma rays and x rays	192
7.1.2	Neutron measurements	194
7.2	Radionuclides	194
7.2.1	Activity measurements	194
7.2.2	Counting statistics	196
7.3	Publications, lectures, travel: Ionizing Radiations section	199
7.3.1	External publications	199
7.3.2	BIPM reports	199
7.3.3	Travel (committees, visits to laboratories and institutions)	200
7.4	Activities related to external organizations	201
7.5	Visitors to the Ionizing Radiations section	201
7.5.1	Guest workers	201
7.5.2	Visitors	202

IV. Publications of the BIPM	203
1. General publications	203
2. Metrologia	203
V. Meetings and lectures at the BIPM	204
1. Meetings	204
2. Lectures	204
VI. Certificates and Notes of Study	204
VII. Accounts	205

Obituaries

Frederick John Lehany, by <i>W.R. Blevin</i>	207
Tomasz Plebanski, by <i>T.J. Quinn</i>	210
