

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES



COMITÉ INTERNATIONAL
DES
POIDS ET MESURES

Procès-verbaux de la 84^e session
Report of the 84th Meeting
1995

TOME 63

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

ISSN 0370-2596
ISBN 92-822-2144-X

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
ANSTO	Australian Nuclear Science and Technology Organisation, Menai (Australie)
AOS	Astronomiczne Obserwatorium Szerokosciowe (Pologne)
*ASMW	Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, Berlin (Allemagne), <i>voir</i> PTB
BARC	Bhabha Atomic Research Centre, Trombay (Inde)
*BCM/CBNM	Bureau central de mesures nucléaires/Central Bureau for Nuclear Measurements, IMMR-CEC, 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)
BIH	Bureau international de l'heure
BIML	Bureau international de métrologie légale
BIPM	Bureau international des poids et mesures
BNM	Bureau national de métrologie, Paris (France)
BNM-INM	Bureau national de métrologie, Institut national de métrologie, Paris (France)
BNM-LCIE	Bureau national de métrologie, Laboratoire central des industries électriques, Fontenay-aux-Roses (France)
BNM-LPRI	Bureau national de métrologie, Laboratoire primaire des rayonnements ionisants, Saclay (France)
BNM-LPTF	Bureau national de métrologie, Laboratoire primaire du temps et des fréquences, Paris (France)

* 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.

*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
CCEMRI	Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants
CCM	Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées
CCPR	Comité consultatif de photométrie et radiométrie
CCQM	Comité consultatif pour la quantité de matière
CCT	Comité consultatif de thermométrie
CCU	Comité consultatif des unités
CEC	Commission des Communautés européennes/Commission of the European Communities
CEI/IEC	Commission électrotechnique internationale/International Electrotechnical Commission
CEM	Centro Español de Metrología, Madrid (Espagne)
CENAM	Centro Nacional de Metrología, Mexico (Mexique)
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)
CIEMAT	Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Madrid (Espagne)
CIPM	Comité international des poids et mesures
*CMI	Czech Institute of Metrology, Prague (Rép. tchèque), <i>voir</i> COSMT
CMS-ITRI	Centre for Measurement Standards of the Industrial Technology Research Institute, Hsinchu (Taiwan)
CNAM	Conservatoire national des arts et métiers, Paris (France)
CNES	Centre national d'études spatiales, Toulouse (France)
CNM/NMC	Centre national de métrologie/National Metrological Center, Sofia (Bulgarie)
CNR	Consiglio Nazionale delle Ricerche, Turin (Italie)
CODATA	Committee on Data for Science and Technology
COOMET	Cooperation in Metrology among the Central European Countries
COSMT	(ex CMI) Czech Office for Standards, Metrology and Testing, Prague (Rép. tchèque)

CPEM	Conference on Precision Electromagnetic Measurements
CRI	Cambridge Research & Instrumentation Inc., Cambridge (É.-U. d'Amérique)
CRL	Communications Research Laboratory, Tokyo (Japon)
CSIR	(ex NPRL) Council for Scientific and Industrial Research, Division of Production Technology, Pretoria (Afrique du Sud)
CSIRO	(ex NML) Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Division of Applied Physics, Lindfield (Australie)
CSM	Committee for Standardization and Metrology, Sofia (Bulgarie)
*CSMU	Československý Metrologický Ústav, Bratislava et Prague (Rép. slovaque et Rép. tchèque), voir CMI et SMU
DFM	Danish Institute of Fundamental Metrology, Lyngby (Danemark)
*DSIR	Department of Scientific and Industrial Research, Lower Hutt (Nouvelle-Zélande), voir MSL
DSS	Department of Science Service, Bangkok (Thaïlande)
EFTF	Forum européen fréquence et temps/European Frequency and Time Forum
ENS	École normale supérieure, Paris (France)
*EOLAS	Irish Science and Technology Agency, Dublin (Irlande), voir FORBAIRT
ESA	Agence spatiale européenne/European Space Agency
ESA-ESTEC	Agence spatiale européenne, Centre européen de recherche et de technologie spatiales/European Space Agency, European Space Research and Technology Centre, Noordwijk (Pays-Bas)
ESTEC	voir ESA
ETL	Electrotechnical Laboratory, Tsukuba (Japon)
EUREKA	European Research Coordination Agency
EUROMET	European Collaboration in Measurement Standards
EZU	Elektrotechnický Zkusební Ústav, Prague (Rép. tchèque)
FORBAIRT-NML	(ex EOLAS) National Metrology Laboratory, Dublin (Irlande)
FTZ	Fernmeldetechnisches Zentralamt, Darmstadt (Allemagne)
GGTTS	CCDS Group on GPS Time Transfer Standards
GOST/GOSTANDART	The State Committee of the Russian Federation for Standardization, Metrology and Certification, Moscou (Féd. de Russie)
GRGS	Groupe de recherches de géodésie spatiale
GT-RF	Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences/ Working group on radiofrequency quantities
GUM	Główny Urząd Miar/Central Office of Measures, Varsovie (Pologne)
HP	Hewlett-Packard, Les Ulis (France)

HUT	Helsinki University of Technology, Helsinki (Finlande)
IAEA	<i>voir</i> AIEA
IAU	<i>voir</i> UAI
ICRM	International Committee for Radionuclide Metrology
ICRP	International Commission on Radiological Protection
ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurements
IEC	<i>voir</i> CEI
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IEN	Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin (Italie)
*IER-EPFL	<i>voir</i> IRA
IERS	Service international de la rotation terrestre/International Earth Rotation Service
IFA/IFTAR	Institute for Atomic Physics, Bucarest (Roumanie)
IGM	Inspection générale de la métrologie, Bruxelles (Belgique)
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), <i>voir</i> BNM
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, Rio de Janeiro (Brésil)
INTELSAT	International Telecommunications Satellite Organization
IOP	Institute of Physics, Londres (Royaume-Uni)
IPQ	Instituto Português de Qualidade, Lisbonne (Portugal)
IRA	(ex IER-EPFL) Institut de radiophysique appliquée, Lausanne (Suisse)
IRL	Industrial Research Limited, Lower Hutt (Nouvelle-Zélande)
IRMM	<i>voir</i> IMMR
ISO	Organisation internationale de normalisation/International Organization for Standardization
ISO/TC12	Organisation internationale de normalisation, Comité technique 12 (grandeurs, unités, symboles, facteurs de conversion)/International Organization for Standardization, Technical Committee 12 (Quantities, units, symbols, conversion factors)
ITRI	<i>voir</i> CMS
IUGG	<i>voir</i> UGGI
IUPAC	<i>voir</i> UICPA

JILA	Joint Institute for Laboratory Astrophysics, Boulder (É.-U. d'Amérique)
JV	(ex NMS) Justervesenet, Oslo (Norvège)
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), <i>voir</i> BNM
*LNETI	Laboratório Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, Lisbonne (Portugal)
LNMRI	Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes, Rio de Janeiro (Brésil)
LPRI	(ex LMRI) Laboratoire primaire des rayonnements ionisants, Saclay (France), <i>voir</i> BNM
LPTF	Laboratoire primaire du temps et des fréquences, Paris (France), <i>voir</i> BNM
MRC	Marmara Research Centre, Gebze-Kocaeli (Turquie), <i>voir</i> UME
MRI	Metrology Research Institute, Helsinki (Finlande)
MSL	(ex DSIR) Measurement Standards Laboratory of New Zealand, Lower Hutt (Nouvelle-Zélande)
NAC	National Accelerator Centre, Faure (Afrique du Sud)
*NBS	National Bureau of Standards, Gaithersburg (É.-U. d'Amérique), <i>voir</i> NIST
NIM	Institut national de métrologie/National Institute of Metrology, Beijing (Rép. pop. de Chine)
NIRH	<i>voir</i> SIS
NIST	(ex NBS) National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg (É.-U. d'Amérique)
NMC	<i>voir</i> CNM
NMi	(ex VSL) Nederlands Meetinstituut, Delft (Pays-Bas)
*NML	National Measurement Laboratory, Lindfield (Australie), <i>voir</i> CSIRO
*NML	<i>voir</i> FORBAIRT
*NMS	National Measurement Service, Oslo (Norvège), <i>voir</i> JV
NPL	National Physical Laboratory, Teddington (Royaume-Uni)
*NPRL	National Physical Research Laboratory, Pretoria (Afrique du Sud), <i>voir</i> CSIR
NRC	Conseil national de recherches du Canada/National Research Council of Canada, Ottawa (Canada)
NRLM	National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba (Japon)

*NSIS	Norwegian Statens Institutt for Strålehygiene, Østerås (Norvège), voir SS
OCA	Observatoire de la Côte d'Azur, Grasse (France)
OFMET	Office fédéral de métrologie/Eidgenössisches Amt für Messwesen, Wabern (Suisse)
OIML	Organisation internationale de métrologie légale
OMH	Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest (Hongrie)
ONERA	Office national d'études et de recherche aérospatiales, Châtillon (France)
ONU/UN	Organisation des Nations unies/United Nations
OP	Observatoire de Paris (France)
OPRI	(ex SCPRI) Office de protection contre les rayonnements ionisants, Le Vésinet (France)
ORB	Observatoire royal de Belgique, Bruxelles (Belgique)
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), voir OPRI
SIS/NIRH	Statens Institut for Strålehygiejne/National Institute of Radiation Hygiene, Brønshøj (Danemark)
SISIR	Singapore Institute of Standards and Industrial Research (Singapour)
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)
SS	Statens Strålevern, Østerås (Norvège)
SSDL	Secondary Standards Dosimetry Laboratories
TL	Telecommunication Laboratories (Taiwan)
TUE	Technical University of Eindhoven, Eindhoven (Pays-Bas)
TUG	Technical University, Graz (Autriche)
TWICOLS	Twelfth International Conference on Laser Spectroscopy
UAI/IAU	Union astronomique internationale/International Astronomical Union
UGGI/IUGG	Union géodésique et géophysique internationale/International Union of Geodesy and Geophysics
UICPA/TUPAC	Union internationale de chimie pure et appliquée/International Union of Pure and Applied Chemistry

UME-MRC	Ulusal Metroloji Enstitüsü, Marmara Research Centre/National Metrology Institute of Turkey, Marmara Research Centre, Gebze-Kocaeli (Turquie)
UN	<i>voir</i> ONU
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)
VNIIIM	Institut de métrologie D.I. Mendéléev/D.I. Mendeleev Institute for Metrology, Saint-Petersbourg (Féd. de Russie)
*VSL	Van Swinden Laboratorium, Delft (Pays-Bas), <i>voir</i> NMI

2. Sigles des termes scientifiques

Acronyms for scientific terms

DVM	Voltmètre numérique/Digital Voltmeter
EAL	Échelle atomique libre/Free atomic time scale
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
ITS-90	<i>voir</i> EIT-90
LS	Scintillateur liquide/Liquid Scintillator
MCR	Radiomètre cryogénique refroidi mécaniquement/Mechanically Cooled Cryogenic Radiometer
QHE	Effet Hall quantique/Quantum Hall effect
QHR	<i>voir</i> 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
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
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 1995, 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, Tchéque (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 5 octobre 1995

Président

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

Secrétaire

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

Membres

3. W.R. BLEVIN, Division of Applied Physics, CSIRO, P.O. Box 218, Bradfield Road, Lindfield NSW 2070, Australie. *Vice-président.*
4. P.B. CLAPHAM, ancien 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 du Joint Laboratory of High Technology Metrology and Measurement, conseiller au China State Bureau of Technical Supervision, BP 8010, Beijing 100088, Rép. pop. de Chine.
7. K.B. GEBBIE, directeur du Laboratoire de physique, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899-0001, 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.

* Nous avons appris le décès de M. Crovini le 21 octobre 1995. Une notice nécrologique figure à la page 103.

10. R. KAARLS, directeur au 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. G. MOSCATI, Instituto de Fisica, Université de São Paulo, Caixa Postal 66318, 05389-970 São Paulo SP, Brésil.
13. P. PÂQUET, directeur de l'Observatoire royal de Belgique, 3 avenue Circulaire, B-1180 Bruxelles, Belgique.
14. K. SIEGBAHN, Institut de physique de l'Université d'Uppsala, Box 530, 75121 Uppsala 1, Suède.
15. J. SKÁKALA, professeur à l'Université technique slovaque, Nám. Slobody 17, 812 31 Bratislava, Rép. slovaque. *Vice-président*.
16. R. STEINBERG, Département de physique et métrologie, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, 1101 Buenos Aires, Argentine.
17. Yu V. TARBÉEV, directeur général de l'Institut de métrologie D.I. Mendéléev, 19 Moskovsky Prosp., 198005 Saint-Pétersbourg, Féd. de Russie.
18. J. VANIER, ancien directeur général de l'Institut des étalons nationaux de mesure, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa K1A 0S1, Canada.

Membres honoraires

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

LISTE DU PERSONNEL
DU
BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
au 1^{er} janvier 1996

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, P. Wolf⁽¹⁾,
Mlle H. Konaté, M. P. Moussay, Mme M. Thomas

Électricité : M. T.J. Witt

MM. F. Delahaye, J. Melcher⁽¹⁾, 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, M. 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, 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

* Nous avons appris le décès de M. H. Moreau, survenu le 12 avril 1996.



ORDRE DU JOUR

1. Ouverture de la session ; quorum ; ordre du jour.
 2. Rapport du secrétaire et activités du bureau du Comité (octobre 1994 – septembre 1995).
 3. La Convention du Mètre et l'Organisation internationale de métrologie légale.
 4. Vingtième Conférence générale des poids et mesures.
 5. Comités consultatifs :
 - rapport du CCE,
 - rapport du CCU,
 - rapport du CCQM,
 - rapport du Groupe de travail du CCDS sur le TAI,
 - rapport des Sections I, II et III du CCEMRI,
 - rapport du Groupe de travail *ad hoc* du CCM sur la constante d'Avogadro,
 - réunions futures,
 - présidence des comités consultatifs.
 6. Travaux du BIPM : Rapport du directeur :
 - travaux du BIPM,
 - traçabilité.
 7. Questions administratives et financières :
 - « Rapport aux gouvernements » pour 1994,
 - quitus pour 1994,
 - exercice 1995 en cours,
 - promotions,
 - statut du personnel.
 8. Composition du CIPM.
 9. Questions diverses.
-

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

84^e session
(5, 6 et 12 octobre 1995)

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

D. Kind, président

Le Comité international des poids et mesures (CIPM) s'est réuni pour sa 84^e session les jeudi 5, vendredi 6 et jeudi 12 octobre 1995. Il a tenu cinq séances en tout, les quatre premières au Pavillon de Breteuil et la cinquième au Centre de Conférences internationales du ministère des Affaires étrangères, à Paris.

Étaient présents : MM. BLEVIN, CLAPHAM, CROVINI, GAO Jie, Mme GEBBIE, MM. GOPAL, IZUKA, KAARLS, KIND, KOVALEVSKY, MOSCATI, PAQUET (absent le 12 octobre), SIEGBAHN, SKÁKALA, TARBÉEV, VANIER (absent le 12 octobre) et QUINN (directeur du BIPM).

Assistaient aussi à la session : M. GIACOMO (directeur honoraire du BIPM); M. PRESTON-THOMAS (membre honoraire du CIPM); Mlle MONPROFIT, Mme LE COZ (secrétariat).

Excusés : MM. LOUNASMAA et STEINBERG.

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

Le président ouvre la 84^e session du Comité international des poids et mesures (CIPM) et accueille les présents, en particulier M. Moscati du Brésil, récemment élu, 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 cette réunion.

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

L'ordre du jour est adopté, après l'adjonction d'un point relatif à la composition du CIPM (point 8) et d'un point sur l'équivalence des étalons primaires (point 6.2). Il est décidé que le point relatif à la composition du CIPM devrait figurer en permanence à l'ordre du jour.

Le président informe les membres d'un changement dans l'ordre du jour de la Conférence générale résultant d'une grève des fonctionnaires français le 10 octobre. Il annonce que, le Parc de Saint-Cloud étant fermé, la visite des laboratoires du BIPM et la réception prévues ce jour-là seront déplacées au mercredi 11 après-midi. Le président du CIPM dit qu'il adressera une lettre de protestation au ministre français des Affaires étrangères pour demander que des mesures soient prises pour que, dans l'avenir, l'accès au BIPM soit toujours assuré.

Il invite ensuite le secrétaire du Comité à présenter son rapport.

2. Rapport du secrétaire du CIPM et activités du bureau du Comité (octobre 1994 - septembre 1995)

M. Kovalevsky, secrétaire du CIPM, présente le rapport suivant, 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 résume la situation financière du BIPM. Son rapport résume aussi l'activité du bureau du Comité depuis octobre 1994.

Le bureau s'est réuni trois fois durant l'année, deux fois au Pavillon de Breteuil et une fois à la Physikalisch-Technische Bundesanstalt, à Braunschweig.

États membres de la Convention du Mètre

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

Composition du Comité international

Le siège devenu vacant au Comité international, après le décès de Tomasz Plebanski, a été pourvu par l'élection le 30 janvier 1995 du professeur Giorgio Moscati.

M. Moscati est professeur de physique à l'Institut de physique de l'université de São Paulo, au Brésil.

Vingtième Conférence générale

Le bureau a approuvé le texte du « Programme de travail et budget du BIPM pour les quatre années 1997-2000 » qui a été envoyé aux Gouvernements des États membres au mois de mars 1995. Le bureau a aussi discuté des effets de la révision des coefficients de contribution des Nations unies sur la contribution au BIPM des États membres de la Convention du Mètre. Certaines modifications résultant de cette révision ont entraîné des changements importants des contributions à la dotation du BIPM. Le directeur a informé les ambassades à Paris (ainsi que les membres du Comité) des nouveaux coefficients de contribution pour 1995, en indiquant à chacun le montant qui sera, par conséquent, ajouté ou soustrait dans la *Notification* pour 1996. Le secrétaire ajoute qu'une autre révision des coefficients de contribution pour 1996 vient d'être communiquée au BIPM par les Nations unies à New York. Ces derniers changements, bien que non négligeables, sont moins importants que les précédents. La liste des nouveaux coefficients a été distribuée aux membres du Comité. Le directeur fait remarquer que les Gouvernements de tous les États membres des Nations unies ont déjà reçu ce document.

Le bureau du Comité a approuvé le Rapport du président du Comité international à la Conférence générale.

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

La proposition d'un éventuel rapprochement entre l'Organisation internationale de métrologie légale (OIML) et la Convention du Mètre, adressée le 29 mars 1995 au secrétaire du Comité et au directeur du BIPM par le ministère français des Affaires étrangères, a été immédiatement communiquée au bureau du Comité. Au cours des mois suivants, les membres du bureau ont longuement discuté de la position à adopter. Les membres du Comité international ont été informés de cette initiative et de la réponse du bureau dans une lettre du directeur datée du 29 juin 1995. Le directeur du BIPM a adressé aux membres du Comité de plus amples informations, ainsi qu'une copie de la Note diplomatique adressée par le ministère français des Affaires étrangères aux Gouvernements des États membres, le 17 juillet 1995. À cette lettre était aussi jointe une copie de la lettre du directeur qu'il a envoyée aux directeurs des instituts nationaux de métrologie des États membres de la Convention du Mètre, du moins à ceux qui lui étaient connus.

Le bureau est unanimement convaincu que, s'il doit y avoir rapprochement entre l'OIML et la Convention du Mètre, une proposition que le bureau approuve entièrement, celui-ci doit se faire sous les auspices de la Convention du Mètre, et donc, que les activités de métrologie légale doivent s'exercer sous l'autorité du CIPM.

Le bureau propose que cette importante question soit portée à la connaissance de la Conférence générale en ajoutant un point supplémentaire

à l'ordre du jour, juste après le Rapport du président du Comité international.

Indications financières

Le tableau ci-dessous donne l'actif du BIPM, en francs-or, au 1^{er} janvier des années portées en tête de colonne. Il faut noter que, par suite de la décision du CIPM en 1994, quatre millions de francs-or ont été transférés début janvier 1995 des fonds ordinaires à la Caisse de retraite, les premiers ayant été réduits à 16 millions de francs-or et les seconds ayant été portés à 22,3 millions de francs-or.

Comptes	1992	1993	1994	1995
I. — Fonds ordinaires . .	12 431 411,07	12 113 526,07	18 931 178,64	20 025 335,94
II. — Caisse de retraite . .	15 364 041,35	16 395 611,25	17 555 532,69	18 264 877,72
III. — Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique .	172 765,56	171 995,64	0,00	114 348,53
IV. — Caisse de prêts so- ciaux	327 514,70	358 173,05	398 083,17	443 208,69
V. — Fonds de réserve pour les bâtiments	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	728 727,58	1 165 671,44	1 591 701,63
Total	28 295 732,68	29 768 033,59	38 050 465,94	40 439 472,51

Questions diverses

Le bureau a discuté de questions diverses, telles que des propositions du directeur relatives à certaines modifications du Statut du personnel touchant principalement à la retraite pour invalidité, aux congés de maladie et au travail à temps partiel, au recrutement de personnel pour la section des rayonnements ionisants et à certaines questions relatives au personnel du BIPM.

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

La question des relations futures entre les organes de la Convention du Mètre et l'OIML fait l'objet d'une longue discussion.

M. Quinn signale que la proposition de rapprochement entre le BIPM et l'OIML faite par le ministère français des Affaires étrangères le 29 mars 1995 était une totale surprise pour le bureau du Comité. Il résume

brièvement les événements qui ont eu lieu depuis la réunion du bureau du Comité au mois de mars. Le secrétaire informe les membres du CIPM que le ministère français des Affaires étrangères a reçu dix-huit réponses à sa Note diplomatique de juillet 1995, réponses toutes plus ou moins positives.

Le président comprend parfaitement l'attrait que représente pour les politiciens l'idée d'une fusion entre les deux organisations intergouvernementales de métrologie et la perspective des économies qui pourraient en découler. En fait, ces économies semblent assez limitées au premier abord, parce que le chevauchement des activités des deux organisations n'est pas grand. La raison pour envisager une fusion ne devrait donc pas être d'ordre financier. Elle serait plutôt liée à l'évolution de la métrologie dans le monde, et en particulier au développement des organismes d'accréditation de la métrologie au niveau national et international, au rôle important joué par les directives de l'Union européenne relatives à la métrologie et au besoin croissant des pays en voie de développement de mettre en place dès que possible une infrastructure métrologique. Une seule organisation intergouvernementale de métrologie permettrait de mieux faire face aux besoins changeants de la métrologie internationale que deux organismes distincts. Le président présente au Comité un projet de résolution pour la Conférence générale que le bureau a préparé et qui porte sur un groupe de travail commun avec l'OIML, suivant la proposition faite par le Gouvernement français dans sa Note diplomatique aux États membres. Le Comité discute et approuve ce projet de résolution. (Après un premier contact avec le président de l'OIML et avec le directeur du Bureau international de métrologie légale (BIML) lors de la Conférence générale, il a été décidé de constituer un groupe de travail regroupant le bureau du Comité et son équivalent au sein de l'OIML. Ce groupe se réunirait pour la première fois au Pavillon de Breteuil les 22 et 23 février 1996.)

Les principales conclusions de la discussion, au sein du Comité, sur la proposition du Gouvernement français sont que le Comité approuve la réponse du bureau à cette proposition, en particulier ses propositions sur les moyens de la réaliser, mais avant de prendre une décision définitive, il conviendra d'examiner avec soin les effets sur les deux organisations des nouveaux besoins exprimés à l'extérieur.

4. Vingtième Conférence générale

M. Quinn donne des détails sur les arrangements pratiques de la Conférence générale. Il présente la proposition d'ajouter à l'ordre du jour provisoire de la Conférence un point sur les relations futures avec l'OIML, qui sera discuté juste après le rapport du président, au point 6a.

Dotation

Le président rappelle aux membres qu'un comité *ad hoc* sur la dotation est établi au début de la Conférence générale pour préparer une proposition sur la dotation du BIPM qui sera soumise au vote à la fin de la Conférence.

M. Quinn ajoute qu'il est d'usage que douze États membres soient représentés à ce comité. La composition de ce comité doit tenir compte du pourcentage de contribution et de la répartition géographique des États membres. Après discussion, il propose de présenter à la Conférence la liste suivante : Allemagne, É.-U. d'Amérique, Brésil, Canada, Rép. pop. de Chine, France, Inde, Italie, Japon, Pologne, Royaume-Uni, Féd. de Russie.

Le président rappelle qu'une augmentation annuelle de 5,5 % de la dotation a été demandée pour la période 1997-2000. Il demande aux membres s'ils ont une indication sur la position de leur Gouvernement au sujet de cette proposition. Certains membres ne connaissent pas exactement la position de leur Gouvernement, d'autres signalent que leur Gouvernement est opposé à toute augmentation de la dotation en termes réels (Australie, Belgique, Canada, Royaume-Uni, Suède), et les États-Unis demandent qu'il n'y ait aucune augmentation. En général, il semble qu'une augmentation comprise entre 4 % et 4,5 % soit acceptable.

5. Comités consultatifs

Depuis la précédente session du CIPM, le Comité consultatif des unités s'est réuni pour sa onzième session en février 1995, le Groupe de travail du CCDS sur le TAI s'est réuni en mars 1995, le Comité consultatif pour la quantité de matière a tenu sa première session en avril 1995, les trois sections du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants se sont réunies aux mois d'avril et mai 1995 et le Comité consultatif d'électricité a tenu sa vingtième session en juin 1995, précédée de la réunion du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences.

5.1 Comité consultatif d'électricité

M. Kind, président du Comité consultatif d'électricité (CCE), présente le rapport sur la vingtième session du CCE qui a eu lieu les 14 et 15 juin 1995 au Pavillon de Breteuil.

Le CCE a passé en revue l'état d'avancement des laboratoires nationaux pour réaliser des mesures exactes de la résistance de Hall quantifiée et a étudié les perspectives de travaux futurs. Les résultats des comparaisons internationales d'étalons de référence utilisant des étalons voyageurs de réseaux de jonctions de Josephson sont assez satisfaisants, et les instituts

nationaux de métrologie d'une douzaine de pays sont en accord à environ 2×10^{-10} près. Une comparaison récente d'étalons de résistance avec l'OFMET (Suisse), à l'aide du nouvel étalon voyageur de résistance du BIPM à effet Hall quantique, est très encourageante; les résultats diffèrent seulement de $1,5 \times 10^{-9}$. L'ensemble du comité est d'accord pour dire que la résistance de Hall quantifiée est indépendante de l'échantillon, à condition de bien respecter les conseils du CCE pour la réalisation de la résistance de Hall quantifiée.

Les progrès des expériences pour contrôler la stabilité du prototype international du kilogramme au moyen de méthodes électriques, ainsi que d'autres expériences associées à la détermination de constantes fondamentales (comme la constante d'Avogadro), ont été étudiés. Les progrès pour atteindre une incertitude de l'ordre de quelques 1×10^{-8} semblent moins rapides que prévu et aucun résultat nouveau n'est disponible à ce jour.

Un groupe de travail du CCE, présidé par M. Hebner du NIST, a été chargé de faire des propositions pour une série de comparaisons internationales clés visant à démontrer l'équivalence des étalons électriques au niveau international. Le groupe de travail a promis son rapport pour la fin de 1995.

Aucune réunion n'est envisagée avant 1997.

5.2 Comité consultatif des unités

M. Quinn présente le rapport sur la onzième session du Comité consultatif des unités (CCU) qui s'est tenue les 21 et 22 février 1995. M. de Boer n'a pu assister à cette réunion, c'est pourquoi le bureau du Comité a demandé à M. I. Mills, de l'université de Reading (Royaume-Uni), de présider la réunion. M. de Boer avait préalablement annoncé son intention de démissionner de la présidence du CCU. Lors de cette réunion, il a été rendu hommage à M. de Boer pour la manière dont il a guidé et dirigé le CCU, depuis ses débuts, et pour l'importante contribution qu'il a apportée à la mise au point du SI.

M. Quinn introduit son rapport sur la réunion en disant que les tâches qui incombent au CCU sont parmi les plus difficiles qui incombent aux comités consultatifs. Les décisions qui sont prises par le CCU ont une grande portée et une grande importance pour le SI; elles sont fondées sur des arguments souvent extrêmement subtils qui demandent une grande expérience et une connaissance approfondie de la physique. La brochure sur le SI est reconnue dans le monde entier comme le texte de base sur le SI et il est de la plus haute importance pour la réputation du BIPM, du CIPM et de la Convention du Mètre, qu'elle soit bien conçue.

Cette réunion a été centrée sur la préparation d'une nouvelle édition de la brochure sur le SI, y compris la discussion et l'approbation finale du

texte du projet de résolution pour la Conférence générale sur la suppression de la classe des unités supplémentaires dans le SI.

Une grande partie des discussions concernait le Chapitre IV, sur les unités en dehors du SI, et en particulier les tableaux 8 à 12. Alors qu'il était clair que tous les participants au CCU étaient d'accord pour encourager l'utilisation du SI et à terme pour abandonner les unités en dehors du SI, les avis étaient partagés sur la meilleure manière de parvenir à cet objectif. Certains pensaient qu'il convenait de déconseiller l'usage de toutes les unités en dehors du SI, à de très rares exceptions près, alors que d'autres considéraient qu'il était préférable d'encourager l'utilisation du SI et de ne pas se hâter de déconseiller l'usage d'unités qui, pour une raison ou pour une autre, sont toujours largement utilisées. Le rapport sur la réunion montre qu'il n'est pas toujours facile de trouver un terrain d'entente entre ces deux points de vue.

Une attention particulière a été consacrée aux unités figurant aux tableaux 8, 10, 11 et 12, et à la question de savoir s'il convenait de transférer certaines d'entre elles d'un tableau à un autre, voire de les supprimer totalement de la brochure. Ces décisions, qui seront reconsidérées lors de la session d'avril 1996 du CCU, ont été précédées d'une discussion sur le titre des tableaux 10 à 12, certains ayant suggéré que le sens du titre anglais était plus fort que celui du titre français. Les participants étaient de cet avis, et de nouveaux titres ont été considérés. Le symbole du litre a été discuté, et il a été décidé de ne pas le changer. Les unités astronomiques ont fait l'objet d'une longue discussion, en particulier M. Kovalevsky a proposé de réintroduire l'unité astronomique au tableau 9 et l'UAI a proposé d'introduire le jansky au tableau 12. Des unités de grandeur sans dimension (bel, decibel, neper) ont été discutées, ainsi que des unités utilisées dans les technologies de l'information (octet, bit). Une proposition de l'ISO TC-12 d'introduire le grade (gon en anglais) comme unité d'angle plan a été provisoirement acceptée, mais certains documents reçus après la réunion indiquent que cette décision pourrait ne pas être définitive. Le CCU a établi des groupes de travail restreints pour étudier certaines de ces questions. Toutes les décisions prises lors de cette réunion sont provisoires, en ce sens qu'elles seront reconsidérées lors de la session d'avril 1996 du CCU et que les décisions définitives sur la nouvelle édition de la brochure sur le SI seront soumises au CIPM pour approbation à la session de septembre 1996.

Enfin, M. Quinn donne lecture de la Recommandation U 1 (1995) sur les multiples de deux pour les unités utilisées dans les techniques informatiques, qui a été proposée par le CCU, et demande s'il y a des commentaires.

Certains membres du Comité apprécient la difficulté du travail du CCU, cependant la majorité est d'avis que certaines décisions provisoires, prises lors de la session de février 1995, de transférer des unités d'un tableau à un autre tableau du Chapitre IV semblent arbitraires et ne sont pas

suffisamment justifiées. Le Comité est d'avis de ne pas agir avec trop de hâte pour essayer de restreindre l'usage d'unités, ou de systèmes d'unités, en dehors du SI encore largement utilisés par une communauté particulière de scientifiques. Alors que le CIPM a une autorité officielle pour prendre certaines décisions relatives au SI, son autorité n'est que morale en ce qui concerne les unités en dehors du SI et elle est donc limitée. Le Comité demande au CCU de reconsidérer certaines propositions qu'il a faites lors de sa session de février 1995. En ce qui concerne le projet de recommandation sur les multiples de deux pour les unités utilisées dans les techniques informatiques, le CIPM pense qu'il est trop tard pour influencer le monde des technologies de l'information et décide de ne pas y donner suite.

5.3 Comité consultatif pour la quantité de matière

M. Kaarls, président du Comité consultatif pour la quantité de matière (CCQM), présente le rapport sur la première session que ce comité a tenue au Pavillon de Breteuil les 19 et 20 avril 1995.

Il rappelle que le CCQM a été établi par le CIPM lors de sa 82^e session en 1993. Des représentants de quinze instituts ont participé à cette première session. La réunion a débuté par une discussion des missions qui ont été approuvées par le CIPM en 1994, afin d'établir une méthode de travail claire. La question de savoir s'il est nécessaire ou pas de mettre en oeuvre un programme de travail au BIPM à l'appui de cette activité a été mentionnée à la lumière des ressources restreintes du BIPM. La discussion de cette question a été reportée à la fin de la réunion.

Certains participants se demandaient si les études entreprises par le CCQM au plus haut niveau d'exactitude métrologique étaient pertinentes pour le travail au niveau de la pratique courante. De nombreux participants aux comparaisons qui ont déjà eu lieu n'avaient aucune expérience des mesures physiques et la terminologie avait besoin d'être précisée. En particulier, il a été jugé nécessaire de définir le sens des termes « méthode de mesure primaire » et « matériau de référence primaire ».

Le CCQM a conclu que sa première et principale tâche était d'identifier un certain nombre de méthodes de mesure primaires – comme par exemple la spectrométrie de masse avec dilution isotopique, la coulométrie, la gravimétrie, le titrage, la détermination de la dépression du point de congélation – car c'est la seule manière d'établir la traçabilité aux unités SI. Le comité sait bien qu'il ne suffit pas de définir une méthode. Des groupes de travail ont été établis pour collecter des informations et rédiger des documents pour décrire et expliquer l'utilisation métrologique de ces méthodes, l'évaluation de leurs incertitudes, les difficultés liées à leur utilisation et les comparaisons internationales en cours. Il a aussi été envisagé de démontrer que ces méthodes pouvaient s'appliquer à des matériaux complexes aussi bien qu'à des matériaux simples.

La première réunion a été considérée comme très réussie et une deuxième réunion doit avoir lieu en février 1996.

Le président remercie M. Kaarls et se dit très satisfait de la rapidité avec laquelle les choses ont avancé. Il est important que les travaux du nouveau comité consultatif puissent être connus et appréciés de la communauté des chimistes le plus tôt possible.

5.4 Groupe de travail du CCDS sur le TAI

M. Kovalevsky, président du Comité consultatif pour la définition de la seconde (CCDS), présente le rapport sur la réunion du Groupe de travail du CCDS sur le TAI, réunion qui s'est tenue les 13 et 14 mars 1995 au Pavillon de Breteuil.

Les points importants qui ont été discutés sont l'application aux étalons de fréquence primaires de la correction due au rayonnement du corps noir et l'obtention récente de données provenant d'un nouvel étalon de grande exactitude du NIST. De plus, des discussions détaillées ont eu lieu quant aux améliorations susceptibles d'être apportées au calcul du TAI au BIPM afin de profiter des meilleurs résultats fournis par les étalons de fréquence du commerce qui sont comparés au moyen du GPS. L'accord s'est fait pour appliquer la correction due au rayonnement du corps noir et une recommandation a été préparée à l'attention du CCDS, pour sa session de mars 1996, pour que cette correction soit appliquée à tous les étalons de fréquence primaires. En fait, depuis cette réunion du Groupe de travail du CCDS sur le TAI, la PTB a calculé la correction due au rayonnement du corps noir qu'il convient d'appliquer à l'étalon PTB-CS2 et une décision a été prise au BIPM de l'appliquer de telle façon que les données de CS2 et du nouvel étalon du NIST, NIST-7, puissent être combinées de manière cohérente. M. Kind explique ensuite que l'étalon PTB-CS1, le premier des deux étalons de fréquence primaires en service depuis longtemps, a été mis hors service principalement pour des raisons économiques, bien que cet étalon soit toujours en état de marche. Deux nouveaux étalons, CS3 et CS4, vont être mis en service et leurs données seront bientôt disponibles pour le BIPM. Actuellement, toutefois, il ne reste plus que deux étalons de fréquence de grande exactitude qui fassent le lien entre le TAI et la seconde du SI, ce sont les étalons PTB-CS2 et NIST-7, qui ont tous deux des incertitudes de l'ordre de 1×10^{-14} .

Une des questions liées au calcul du TAI est la manière la plus efficace de pondérer les données des horloges qui contribuent au TAI. Le BIPM poursuit ses études sur ce sujet et sur d'autres propositions relatives au TAI, comme la diminution de la durée des calculs, en vue de présenter des documents de travail au CCDS en 1996.

Le président du Groupe de travail du CCDS sur le TAI a toujours été, depuis sa création, M. G. Winkler de l'US Naval Observatory (USNO, Washington DC, É.-U. d'Amérique). M. Winkler ayant maintenant pris sa

retraite de l'USNO, un nouveau président a été nommé pour une période de cinq ans. Le nouveau président est M. Pâquet, membre du CIPM et représentant de l'Union géodésique et géophysique internationale. Lors de la réunion du Groupe de travail du CCDS sur le TAI, le président du CCDS, le directeur du BIPM et l'ancien directeur du BIH, M. Guinot, ont chaleureusement rendu hommage à M. Winkler pour le soutien sans faille qu'il a apporté, d'abord au BIH puis au BIPM.

M. Pâquet note avec satisfaction que le Groupe de travail du CCDS sur l'application de la relativité générale à la métrologie du temps a fait de grands progrès et qu'un projet de rapport sera présenté à la réunion du CCDS en 1996. M. Tarbéev fait référence à un article de G. Petit et P. Wolf, du BIPM, sur l'application de la relativité générale aux comparaisons d'horloges publié dans *Astronomy and Astrophysics*¹.

La prochaine session du CCDS se tiendra les 12 et 13 mars 1996, et elle sera précédée le 11 mars d'une réunion du Groupe de travail du CCDS sur le TAI, qui se tiendra en parallèle à une réunion à la PTB du Groupe de travail du CCDS sur les comparaisons bidirectionnelles d'horloges.

5.5 Sections I, II et III du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants

M. Quinn présente un bref rapport sur les réunions des Sections I, II et III du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI) qu'il a présidées, en l'absence de M. Vanier, président du CCEMRI, qui n'a pu y assister pour des raisons de santé.

La Section I (rayons x et γ , électrons) a tenu sa douzième réunion les 24, 25 et 26 avril 1995. Comme de coutume, les participants à cette réunion étaient très nombreux, car les activités de cette section sont étroitement liées à des questions importantes de santé et de sécurité. Une des questions particulières à l'ordre du jour de cette réunion était comment assurer l'uniformité au niveau mondial des étalons de dose absorbée (dont l'unité est le gray) et d'équivalent de dose (dont l'unité est le sievert) maintenant que de nombreux utilisateurs font appel à des énergies de plus en plus élevées, qui dépassent le niveau de celles qui sont disponibles au BIPM et dans de nombreux instituts nationaux de métrologie. Le problème pour le BIPM et les laboratoires nationaux est le coût des machines nécessaires pour les mesures aux hautes énergies. Il a été décidé d'explorer une méthode utilisant des chambres d'ionisation qui peuvent être étalonnées aux basses énergies et utilisées aux hautes énergies. Des chambres d'ionisation étalonnées aux basses énergies ont été données au BIPM par des laboratoires nationaux. La Section I a aussi décidé de préparer un résumé commenté de toutes les comparaisons internationales

¹ PETIT G., WOLF P., Relativistic theory for picosecond time transfer in the vicinity of the Earth, *Astron. Astrophys.*, 1994, 286, 971-977.

qui ont été faites au cours des vingt dernières années, pour publication dans *Metrologia*.

La Section II (mesure des radionucléides) a tenu sa treizième réunion les 9, 10 et 11 mai 1995. Les participants à cette réunion étaient aussi très nombreux. Les activités de cette section sont centrées autour du Système international de référence (SIR) qui a été récemment étendu pour inclure les émetteurs bêta (y compris des échantillons mesurés par comptage à l'aide d'un scintillateur liquide). La traçabilité internationale et l'équivalence des étalons nationaux dans ce domaine sont assurées par les comparaisons internationales et par le SIR, sur la base des directives de la Section II.

La Section III (mesures neutroniques) a tenu sa onzième réunion les 27 et 28 avril 1995. Une des questions à l'ordre du jour de cette réunion était comment organiser au mieux les comparaisons internationales de mesures neutroniques maintenant que le travail sur les neutrons a cessé au BIPM. Les étalons de mesures neutroniques ont été passés en revue, en tenant compte du *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure* publié par l'ISO avec le concours du BIPM et d'autres organisations internationales. Le nombre de participants présents à cette réunion était décevant, en particulier en ce qui concerne les pays extérieurs à l'Europe.

Les rapports des trois sections seront présentés à la réunion du CCEMRI qui doit avoir lieu en juin 1996.

M. Clapham demande si le BIPM a constaté un mécontentement de ses utilisateurs du fait de la décision de cesser les étalonnages dans le domaine des neutrons au BIPM. M. Quinn répond qu'il est trop tôt pour tirer des conclusions; les conséquences ne seront visibles que d'ici deux ou trois ans. Le nombre d'étalonnages directs effectués ces dix dernières années était limité; le rôle du BIPM était essentiellement de coordonner les comparaisons internationales et d'y participer.

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

M. Iizuka présente le rapport sur la réunion du Groupe de travail *ad hoc* du CCM sur la constante d'Avogadro qui s'est tenue au BIPM les 28 et 29 mars 1995. Sept laboratoires ont été invités à cette réunion. MM. Quinn, Giacomo et Davis du BIPM y étaient présents. Le président de ce groupe était P. Becker de la PTB. L'état des recherches en cours a été passé en revue et tous les participants étaient d'avis que ce groupe de travail pouvait remplir un rôle utile dans la coordination de cet effort de recherche au niveau mondial. Les points discutés étaient, par exemple, les différences de masse volumique observées entre différents échantillons de silicium très pur, la détermination de la masse molaire de silicium naturel, la détermination de la concentration des vacances dans le réseau du silicium ainsi que la fabrication et la mesure de sphères en silicium. Les participants se sont mis d'accord pour se réunir à la PTB à Braunschweig au

voisinage de la Conference on Precision Electromagnetic Measurements, en juin 1996.

M. Iizuka note que le travail sur la pureté et l'uniformité du silicium est une très bonne application de la nanométrie; ce travail est très important pour l'industrie.

M. Tarbéev évoque la possibilité pour la Russie de contribuer à ce programme.

5.7 Réunions futures des comités consultatifs

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

CCDM	1997
CCDS	12 et 13 mars 1996 Réunion des représentants des laboratoires qui contribuent au TAI, sous les auspices du Groupe de travail du CCDS sur le TAI : 11 mars 1996
CCE	1997
CCEMRI	27 et 28 juin 1996
CCM	29 au 31 mai 1996 Groupes de travail du CCM : 27 et 28 mai 1996
CCPR	1998
CCQM	14 et 15 février 1996
CCT	18 au 20 septembre 1996
CCU	16 et 17 avril 1996

5.8 Présidence des comités consultatifs

Le président informe les membres que M. Vanier a décidé de quitter la présidence du CCEMRI. M. Vanier propose que M. Moscati lui succède. Cette proposition est approuvée.

Le président introduit ensuite l'importante question de la succession de Jan de Boer à la présidence du CCU. Quand il est devenu clair, au début de 1995, que M. de Boer ne pourrait pas assurer la présidence du CCU en février, le bureau du Comité a accepté la suggestion de M. Quinn de demander à M. I. Mills de présider la réunion. En l'absence de personne particulière qualifiée au CIPM, le président propose maintenant au Comité de demander à M. Mills d'assurer la présidence du CCU pour une période de cinq ans. M. Mills est le président de l'Interdivisional Committee on Nomenclature and Symbols de l'UICPA et il est l'un des principaux auteurs de la publication de l'UICPA *Quantities Units and Symbols in Physical Chemistry*. Il est professeur de chimie à l'université de Reading au Royaume-Uni. Le Comité approuve cette proposition et le président se

propose d'inviter M. Mills à présenter son rapport et le projet de nouvelle édition de la brochure sur le SI au Comité lors de sa prochaine session, en septembre 1996 (M. Mills a maintenant accepté de présider le CCU pour une période de cinq ans à compter du 1^{er} janvier 1996).

6. Travaux du BIPM : rapport du directeur

6.1 Travaux du BIPM

Du fait de la Conférence générale en 1995, le CIPM ne se réunit que deux jours au Pavillon de Breteuil et il ne dispose pas du temps nécessaire à la présentation habituelle des travaux par le personnel scientifique du BIPM. M. Quinn demande donc aux membres de se référer au Rapport du directeur pour une description plus complète des travaux réalisés depuis la dernière session.

M. Quinn rappelle que les instituts nationaux de métrologie subissent une pression de plus en plus forte pour justifier leur travail et faire face aux besoins des utilisateurs dans le domaine industriel et scientifique. Alors que le BIPM est en contact avec les laboratoires nationaux, directement et par l'intermédiaire des comités consultatifs, il n'a aucun contact direct avec les utilisateurs. Il ressent néanmoins la pression exercée sur les laboratoires nationaux. Les étalonnages et les comparaisons internationales effectuées par le BIPM ainsi que les comparaisons organisées par les comités consultatifs prennent de plus en plus d'importance pour servir de base à la traçabilité internationale des étalons de mesure. La traçabilité internationale ou l'équivalence internationale sont maintenant demandées par nombre d'organismes d'accréditation et de certification, au niveau national et international, et c'est l'un des points à l'ordre du jour de la présente réunion.

Certaines comparaisons internationales sont maintenant réalisées en transportant des étalons primaires du BIPM indépendants dans les laboratoires nationaux. Parmi ces étalons, il y a par exemple des étalons à effet Josephson ou à effet Hall quantique, des lasers asservis sur l'iode et un radiomètre cryogénique. Il arrive parfois qu'un certain nombre de laboratoires nationaux d'une même région participent en même temps à la comparaison. Ce mode d'organisation des comparaisons internationales présente de nombreux avantages : c'est une méthode efficace pour faire participer des laboratoires qui ne pourraient pas autrement se rendre au BIPM, de plus elle permet souvent des interactions utiles entre le personnel des laboratoires nationaux et le personnel du BIPM qui participe à ces comparaisons. L'inconvénient pour le BIPM est que ces comparaisons exigent un très gros effort de préparation et par conséquent, réduisent le temps disponible pour le travail de recherche et de mise au point.

M. Blevin est d'accord avec M. Quinn : le déplacement de membres du personnel et des étalons du BIPM dans les laboratoires nationaux est une très bonne occasion pour les laboratoires d'une même région de comparer très rapidement leurs étalons, et c'est aussi une méthode très instructive. M. Quinn répond que de nombreux laboratoires sollicitent le BIPM pour ce type de comparaisons et qu'il est nécessaire de s'assurer que les laboratoires participants ont un niveau technique suffisant.

M. Clapham s'informe des services d'étalonnage. Comme la pression exercée sur le budget et le personnel est de plus en plus forte, les comités consultatifs ou le CIPM ont dans le passé recommandé de cesser certains étalonnages, par exemple dans les domaines de la thermométrie, des mesures de longueur classiques ou de la dosimétrie neutronique. Il est préoccupé des effets négatifs qui pourraient en résulter à long terme pour le BIPM et les États membres. M. Quinn lui répond que, bien qu'il considère les étalonnages comme très importants pour le BIPM, il se voit contraint d'être sélectif et de s'adapter à l'évolution des circonstances. Il remarque à ce sujet que, ces dernières années, il y a eu très peu de demandes d'étalonnage d'étalons à traits ou à bouts. Dans ce type d'étalonnage, il vient un moment où les demandes sont si peu nombreuses que chaque étalonnage finit par prendre de plus en plus de temps, parce que l'équipement doit à chaque fois être remis en état et vérifié, et il devient de plus en plus difficile d'assurer la qualité et l'exactitude du travail, tout simplement parce que ce travail est effectué trop rarement. C'était le cas pour les étalons à traits et à bouts, et il a donc été décidé de cesser ce service. En électricité, toutefois, les demandes restent nombreuses, et il est beaucoup plus facile d'automatiser les services d'étalonnage.

M. Kaarls pense que tous les laboratoires devraient recevoir un service d'un type ou d'un autre. M. Moscatti mentionne les besoins en services d'étalonnage des pays plus modestes de la Convention du Mètre, et il remarque qu'il serait bon pour ces pays d'avoir une liste d'autres laboratoires qui font des étalonnages.

M. Quinn répond qu'au moins les deux tiers des États membres ont participé à des comparaisons ou ont eu recours à des étalonnages depuis la précédente Conférence générale.

M. Kaarls attire l'attention des membres sur le besoin d'une certaine compétence au BIPM pour superviser le travail du CCQM. M. Quinn lui répond qu'il est aussi favorable à amorcer une certaine activité dans ce domaine, suivant les recommandations du CCQM, mais que le problème est simplement d'ordre financier. Il espère qu'il lui sera possible de faire quelque chose au cours des quatre prochaines années. Il ajoute que, pour commencer à travailler sur la spectrométrie de masse avec dilution isotopique (IDMS), le BIPM aura besoin qu'un équipement lui soit prêté ou donné.

M. Quinn rappelle que les négociations avec le Technical Research Institute of the Japan Society for the Promotion of Machine Industry, qui

dépend du Ministry of International Trade and Industry, ont abouti au don d'un tour à pointe de diamant pour les mesures de masse au BIPM. M. Quinn exprime sa gratitude pour ce présent de grande valeur.

Le président attire l'attention des membres sur les projets futurs en gravimétrie, à la lumière du départ à la retraite de M. Sakuma au mois de mars 1996, lequel ne sera pas remplacé. Au cours des trente dernières années, le BIPM a joué un rôle clé en gravimétrie absolue au niveau international par les recherches qui y ont été effectuées en gravimétrie absolue et par la longue série de comparaisons internationales de gravimètres absolus qui ont eu lieu au BIPM en liaison avec Sèvres point A, le point de référence international pour le réseau gravimétrique mondial. M. Quinn expose ensuite ses plans pour la gravimétrie au BIPM. Pour faire face aux besoins futurs, le BIPM a acheté un gravimètre absolu commercial à Axis Instruments Company aux États-Unis. Avec cet instrument pour référence, les comparaisons internationales continueront sur une base régulière, mais le BIPM ne fera presque plus de travaux de recherche et de mise au point. M. Robertsson, de la section des longueurs, sera responsable de ce travail. Des discussions sont en cours pour transférer le gravimètre absolu de M. Sakuma à l'Institut de physique du globe, sous la responsabilité du Bureau des longitudes, en région parisienne, où M. Sakuma pourra continuer à travailler.

M. Siegbahn demande combien de temps M. Robertsson devra consacrer à la gravimétrie. La réponse est environ 20 % de son temps.

M. Kovalevsky demande quelle est la précision des gravimètres du commerce, en vue des expériences de la balance du watt. M. Quinn répond que pour cet usage une incertitude de 1×10^{-8} ou 2×10^{-8} suffit, mais que certaines questions relatives au gradient de la pesanteur n'ont pas encore été résolues.

Le président dit ensuite quelques mots de la carrière de M. Sakuma qui travaille au BIPM depuis 1960. M. Sakuma a contribué pendant de nombreuses années à l'immense réputation du BIPM dans le domaine de la gravimétrie, et il tient à exprimer combien il a apprécié son travail. Il le remercie au nom du CIPM et lui souhaite une retraite heureuse.

6.2 Traçabilité

Le président ouvre la discussion sur la traçabilité et l'équivalence des étalons en se référant au *Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie* pour une définition des termes « étalon national (de mesure) »* et « étalon primaire »** et présente la hiérarchie des étalons

* Étalon reconnu par une décision nationale, dans un pays, pour servir de base à l'attribution de valeurs aux autres étalons de la grandeur concernée.

** Étalon qui est désigné ou largement reconnu comme présentant les plus hautes qualités métrologiques et dont la valeur est établie sans se référer à d'autres étalons de la même grandeur.

de mesure. L'idée qu'il souhaite présenter au Comité pour servir de base à la discussion est la possibilité de considérer certains étalons nationaux, après comparaison avec les étalons du BIPM, comme des étalons *certifiés ou reconnus par le BIPM*. On pourrait mettre au point un système plus officiel de traçabilité des étalons au niveau international au moyen de ces étalons reconnus par le BIPM. En faisant cette proposition, le président souligne qu'il s'agit seulement d'une base de discussion et il souhaite entendre l'opinion des membres. Il ajoute, toutefois, que la question de la traçabilité internationale ou de l'équivalence des mesures au niveau international est de plus en plus pressante, et que le BIPM et le CIPM doivent s'en préoccuper.

M. Vanier remarque que cela pourra devenir un peu gênant si certains laboratoires insistent pour appeler leurs étalons « étalons primaires » ; d'un autre côté, certains étalons peuvent être supérieurs à ceux du BIPM.

M. Blevin pense aussi que la plupart des pays éprouvent le besoin, sous la pression du commerce international et des industries de haute technologie, d'une traçabilité internationale de leurs étalons de mesure. Si le BIPM n'assume pas la responsabilité d'évaluer l'équivalence des étalons conservés par les laboratoires nationaux, il y a un risque que les organismes d'accréditation des laboratoires tentent de le faire eux-mêmes. Alors que le BIPM et les comités consultatifs ont des experts compétents pour utiliser les résultats des comparaisons de mesure afin d'établir l'équivalence des étalons nationaux, ce n'est pas toujours le cas dans les organismes d'accréditation en général. Une telle reconnaissance par le BIPM n'aurait pas seulement pour effet de confirmer l'équivalence d'étalons primaires, mais elle aiderait aussi les laboratoires nationaux plus modestes qui ne possèdent que des étalons secondaires à identifier les laboratoires étrangers capables d'étalonner leurs étalons. Le BIPM et les comités consultatifs seraient conjointement responsables de maintenir et d'étendre le réseau existant de comparaisons sur lesquelles la traçabilité internationale est fondée.

M. Skákala est favorable à un système complet de reconnaissance des étalons primaires et secondaires. La traçabilité devrait être organisée selon un modèle économique de partage des compétences.

Pour M. Tarbéev, le BIPM devrait établir la traçabilité des meilleurs étalons nationaux sous les auspices des organes de la Convention du Mètre. Le BIPM est d'abord une institution scientifique ayant une expérience au plus haut niveau.

M. Kaarls demande quelle serait la vraie valeur ajoutée de la reconnaissance par le BIPM, celle-ci n'étant pertinente que si les autres pays acceptent les certificats du BIPM. Il faut concevoir un schéma beaucoup plus large d'équivalence des étalons.

Le président souligne le besoin d'établir un plan pour la traçabilité au plus haut niveau, comprenant les comités consultatifs. Pour lui,

la publication des résultats des comparaisons internationales permet l'acceptation mutuelle de la traçabilité.

M. Clapham désapprouve cette proposition telle qu'elle est présentée, car elle fait du BIPM un organisme d'accréditation. Il fait référence au projet de résolution B de la vingtième Conférence Générale sur la traçabilité des étalons de mesure au niveau mondial qui reconnaît le besoin d'une certaine sorte de traçabilité. Il ne pense pas que le BIPM soit compétent pour servir d'organisme de certification, ni que ce soit son rôle. Le BIPM devrait apporter ses compétences sur les aspects scientifiques de l'équivalence, mais il serait à la fois dangereux et inutile d'aller au-delà. Le CIPM ne devrait pas oublier que la Convention du Mètre se doit de servir tous les États membres. De plus, si vous donnez un certain statut à un étalon dans un pays, cet étalon peut fort bien être défectueux six mois plus tard : le CIPM risque de perdre sa crédibilité.

M. Quinn note que par le passé le BIPM n'exprimait aucun jugement de valeur lorsqu'il publiait les résultats des comparaisons internationales, maintenant il semble nécessaire de faire davantage. Tout en reconnaissant les dangers que M. Clapham a soulignés, M. Quinn partage le point de vue de M. Kind : si l'équivalence des mesures n'est pas démontrée d'une manière ou d'une autre par les organes de la Convention du Mètre, un organisme bureaucratique en sera chargé et ce sera encore plus dangereux. M. Kovalevsky pense aussi qu'il est dangereux de ne rien faire, dans le contexte des organisations régionales.

M. Giacomo rappelle que le BIPM doit servir tous les pays, et qu'il ne peut entrer en opposition avec aucun d'entre eux. Si nous exprimons un jugement de valeur sur un étalon national, nous pouvons interférer avec les organismes d'accréditation nationaux. M. Kaarls est du même avis.

Mme Gebbie est d'accord avec MM. Blevin et Kaarls : il convient de trouver un autre système de traçabilité.

M. Crovini pense aussi qu'il faut faire quelque chose, mais préfère éviter le mot certification. Il serait préférable de faire paraître une sorte de document périodique, qui présenterait simplement les résultats des comparaisons internationales, de manière à aider les organismes d'accréditation à se faire un jugement. L'Italie ne veut pas être amenée à reconnaître individuellement les étalons d'autres pays.

M. Gopal est d'accord avec M. Crovini : les laboratoires doivent démontrer leur compétence à des bureaucrates. M. Giacomo remarque que démontrer la compétence est aussi démontrer l'incompétence ; comment est-il possible de faire une telle chose !

M. Moscati remarque que la situation a changé puisque les étalons sont maintenant fondés en général sur des constantes fondamentales. Si les comparaisons internationales ne démontrent pas l'équivalence des étalons, alors le BIPM devrait recommander de changer la définition. Il considère qu'il y a une différence entre l'équivalence et la traçabilité.

Le président conclut en proposant que le CIPM établisse un groupe de travail pour discuter de la question de l'équivalence des étalons primaires. M. Quinn ajoute que ce groupe de travail devrait s'interroger sur la nécessité de donner suite à cette question. M. Iizuka propose que ce groupe de travail comprenne des représentants des différentes régions. Il est finalement décidé que le groupe de travail soit composé des présidents des comités consultatifs et de Mme Gebbie. Ce groupe de travail devrait se réunir au moment de la Conférence générale.

M. Kind, président de ce nouveau Groupe de travail du CIPM sur l'équivalence des étalons nationaux, présente un bref rapport sur la réunion qui a eu lieu le 11 octobre 1995 au Centre de Conférences internationales, à Paris. Les conclusions sont les suivantes :

- Il est demandé au BIPM d'étudier la situation actuelle, en collaboration avec les comités consultatifs, en vue de la reconnaissance des étalons de mesure.
- Il est demandé à M. Quinn de contacter les organismes d'accréditation qui ont une certaine expérience dans ce domaine pour savoir ce dont ils ont besoin pour apporter la preuve de l'équivalence internationale.

6.3 Dépôt des prototypes

Du fait de la Conférence générale en 1995, la visite du dépôt des prototypes métriques a eu lieu le mercredi 11 octobre ; le compte rendu de cette visite est publié dans les *Comptes rendus de la vingtième Conférence générale*.

7. Questions administratives et financières

7.1 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 1994*, ainsi que le rapport de l'expert comptable pour 1994. Ces rapports sont approuvés à l'unanimité et quitus est donné au directeur et à l'administrateur du BIPM pour l'exercice 1994.

L'état d'avancement du budget pour l'exercice 1995 est présenté et approuvé.

Le projet de budget pour 1996 est présenté et approuvé.

BUDGET POUR 1996

RECETTES

	francs-or
<i>Recettes budgétaires :</i>	
1. Contributions des États membres	25 918 000
2. Intérêts des fonds	1 260 000
3. Taxes de vérification	397 000
Total	<u>27 575 000</u>

DÉPENSES

<i>A. Dépenses de personnel :</i>	
1. Traitements	11 540 000
2. Allocations familiales et sociales	2 338 000
3. Assurance maladie	1 145 000
4. Assurance accidents	44 000
5. Caisse de retraite	2 300 000
	} 17 367 000
<i>B. Dépenses de fonctionnement :</i>	
1. Mobilier	40 000
2. Laboratoires et ateliers	1 283 000
3. Chauffage, eau, énergie électrique	514 000
4. Assurances	93 000
5. Impressions et publications	180 000
6. Frais de bureau	457 000
7. Voyages et transports d'appareils	536 000
8. Entretien courant	419 000
9. Bureau du Comité	60 000
	} 3 582 000
<i>C. Dépenses d'investissement :</i>	
1. Laboratoires	3 237 000
2. Atelier de mécanique	211 000
3. Bibliothèque	317 000
	} 3 765 000
D. Bâtiments (gros travaux d'entretien et de rénovation).	2 529 000
E. Frais divers et imprévus	332 000
Total	<u>27 575 000</u>

Le dernier document soumis au CIPM est le *Tableau de répartition de la dotation pour 1996* extrait de la *Notification des parts contributives*.

M. Quinn fait un bref compte rendu de la situation financière du BIPM depuis 1992, époque à laquelle le CIPM a mis en place un plan de réduction des dépenses. Les objectifs budgétaires que le CIPM avait fixés pour les dépenses globales et les dépenses de personnel ont été entièrement atteints.

7.2 Promotions

M. Quinn propose que M. R.S. Davis, responsable de la section des masses, et M. F. Delahaye, physicien à la section d'électricité, soient promus au grade de *physicien chercheur principal*. Leurs curricula vitae sont distribués. Le CIPM approuve à l'unanimité leur promotion à ce grade à compter du 1^{er} janvier 1996.

Il propose aussi que M. L. Robertsson, physicien à la section des longueurs qui sera chargé de la gravimétrie au BIPM après le départ en retraite de M. Sakuma, soit promu au grade de *physicien principal*. Son curriculum vitae est distribué, et le CIPM approuve à l'unanimité sa promotion à ce grade, à compter du 1^{er} janvier 1996.

7.3 Changements mineurs au Statut du personnel

Quelques changements mineurs au Statut du personnel relatifs au travail à temps partiel, aux congés de maladie, aux accidents du travail, à la retraite pour invalidité, aux congés de maternité, et aux allocations diverses relatives à ces dispositions sont discutés et approuvés. Les dispositions adoptées sont proches de celles en vigueur dans les Organisations coordonnées et elles ont été prises avec le plein accord de la Commission du Statut.

8. Composition du CIPM

8.1 Composition du CIPM

Le président informe les membres qu'il a pris sa retraite de la PTB et qu'il a l'intention de quitter le CIPM après la session de 1996.

M. Skákala annonce aussi son intention de démissionner après la session de 1996 du CIPM et dit qu'il n'envisage pas de conserver d'ici-là la charge de vice-président. Le président le remercie de ses nombreuses contributions à l'activité du bureau au cours des années où il en a été membre.

M. Clapham rappelle que le NPL a été privatisé le 1^{er} octobre 1995 et qu'il a cessé d'en être le directeur. Il annonce son intention de quitter le CIPM après cette session.

M. Vanier annonce aussi son intention de quitter le CIPM peu après la session.

Le président et M. Quinn remercient M. Clapham et M. Vanier pour le soutien sans faille qu'ils ont apporté au Comité et au BIPM pendant la période au cours de laquelle ils ont été membres du CIPM et ils leur présentent tous leurs vœux pour l'avenir.

8.2 Conséquences de la Conférence générale

Élection du bureau du CIPM

La dernière séance du CIPM, qui fait suite à l'élection et à la réélection des membres par la vingtième Conférence générale, a débuté sous la présidence du membre le plus ancien du CIPM, M. Siegbahn.

Après décompte des votes, à bulletin secret, le bureau du Comité est constitué de la manière suivante :

<i>Président :</i>	D. Kind
<i>Vice-présidents :</i>	W. R. Blevin K. Iizuka
<i>Secrétaire :</i>	J. Kovalevsky
<i>Secrétaire adjoint :</i>	L. Crovini

Besoins à long terme de la métrologie

Suite à l'adoption de la Résolution 11 sur les besoins à long terme de la métrologie par la Conférence générale, le président propose qu'un membre du CIPM soit chargé d'étudier la question et de présenter un rapport au CIPM. Il demande à M. Blevin s'il accepterait de le faire. M. Blevin accepte et dit qu'il présentera un rapport préliminaire à la prochaine réunion du bureau du Comité en février 1996.

9. Questions diverses

9.1 Source radioactive du BIPM

M. Quinn présente un bref historique des étalons internationaux du radium déposés au BIPM depuis 1910.

septembre 1910 Le Congrès de radiologie se réunit à Bruxelles et crée la Commission internationale de radioactivité.

Il demande à Madame Curie de préparer un étalon international de radium.

- 18 mars 1912 A. Debierne adresse une lettre à Ch.-Éd. Guillaume (sous-directeur à l'époque) et lui demande si l'étalon peut être gardé au BIPM.
- 12 mai 1912 S. Meyer, secrétaire de la Commission internationale des étalons de radium, remercie R. Benoît, directeur du BIPM, de bien vouloir accepter cette garde.
- 21 février 1913 L'étalon est déposé « dans la case inférieure du coffre-fort placé dans le premier caveau... ».
- 1913 – 1935 À huit reprises l'étalon international est sorti pour diverses comparaisons au Laboratoire Curie, et replacé dans le caveau au BIPM. Lors de sa dernière utilisation il a été conservé par le Laboratoire Curie.
- 1934 O. Hönigschmid prépare vingt étalons de radium à partir de pechblende à haute teneur en radium et exempte de mésothorium, provenant du Haut-Katanga. Parmi ceux-ci, l'étalon n° 5430, de masse quasiment identique à celle de l'étalon Curie, a été attribué à la France et remis au Laboratoire Curie.
- 21 avril 1939 L'étalon n° 5430 est déposé au BIPM.
- 30 mai 1940 L'étalon est transféré en province en vue de sa sauvegarde.
- 1948 À la neuvième CGPM proposition est faite par la délégation soviétique d'« organiser des comparaisons des étalons nationaux de radium avec des étalons internationaux du radium et la conservation de ces derniers au Bureau international ».
- juillet 1953 La Commission mixte de radioactivité, réunie à Stockholm, confie la garde de l'étalon n° 5430 au directeur de l'Institut du radium.
- 3 décembre 1959 La faculté des Sciences de Paris, dont dépend l'Institut du radium, décide de confier la garde de l'étalon de radium n° 5430 au Bureau international. Ce dernier reste toutefois « la propriété de l'Université de Paris ».
- 1960 La onzième CGPM autorise le BIPM à prendre en charge l'étalon de radium n° 5430.

- 9 mars 1961 L'Université de Paris donne l'étalon au Bureau international.
- 22 janvier 1993 Après trente-deux ans, l'étalon est évacué comme déchet radioactif par les autorités françaises.

9.2 Prochaine session du CIPM

Le CIPM décide que la prochaine session du CIPM se tiendra du :
24 au 26 septembre 1996.

Le président clôt la 84^e session du CIPM et remercie tous ceux 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 1994 - septembre 1995)

I. — PERSONNEL

Promotion et changement de grade

Mireille BOUTILLON, *physicien principal*, a été promue au grade de *physicien chercheur principal* par le CIPM lors de sa session de septembre 1994. Cette promotion prend effet le 1^{er} janvier 1995.

Chercheurs associés

Peter WOLF, étudiant en doctorat dans la section du temps depuis octobre 1992, a été engagé en qualité de chercheur associé à mi-temps à compter du 1^{er} avril 1995, pour une période de deux ans.

Jürgen MELCHER, physicien à la Physikalisch-Technische Bundesanstalt, né le 30 avril 1957 à Gelsenkirchen (Allemagne), a été engagé en qualité de chercheur associé dans la section d'électricité à compter du 1^{er} septembre 1995, pour une période de deux ans.

Leonid VITOUCHKINE, chercheur associé dans la section des longueurs depuis août 1993, a été prolongé dans ses fonctions jusqu'au mois d'août 1996.

Départs

Pierre BRÉONCE, *physicien principal*, a pris sa retraite le 31 octobre 1994 après 33 années de service effectuées avec grande compétence dans le domaine de l'électronique.

Fernando PEREZ, *technicien principal*, a été mis en retraite pour invalidité à compter du 15 février 1995, après 23 ans de service.

Vinh-Dinh HUYNH, *physicien chercheur principal*, a pris sa retraite le 31 août 1995, après 25 ans de services dévoués et efficaces dans le domaine des mesures neutroniques.

II. — BÂTIMENTS

Grand Pavillon

Remplacement de stores.
Rénovation d'un bureau.

Nouveau Pavillon

Remplacement de cloisons et rénovation de quatre bureaux en rez-de-jardin suite à un glissement de terrain.

Observatoire

Rénovation d'un laboratoire pour la section de radiométrie.
Remplacement de stores du Nouvel Observatoire.

Petit Pavillon

Rénovation partielle de l'appartement du gardien.

Bâtiment des lasers

Rénovation d'un bureau.

*Tous les bâtiments**

Installation d'un réseau informatique interne.
Installation de liaisons Internet.

Extérieurs et parc

Abattage d'arbres situés à des endroits dangereux.
Remplacement d'une serre.
Remplacement d'une partie de la clôture.
Remplacement d'un portail.

* Voir Chapitre 6.4, page 76.

III. — TRAVAUX SCIENTIFIQUES

1. Remarques générales

On assiste actuellement à une demande accrue de comparaisons internationales nécessitant le transport d'étalons primaires du BIPM dans des laboratoires nationaux de métrologie. Jusqu'à une époque récente, les comparaisons internationales étaient réalisées pour la plupart en faisant voyager des étalons secondaires entre le BIPM et les laboratoires nationaux. En premier lieu avec des lasers asservis sur l'iode, puis avec des équipements à effet Josephson et à effet Hall quantique et maintenant avec des radiomètres cryogéniques, il s'est avéré que l'exactitude des étalons primaires dépasse de beaucoup celle de n'importe quel étalon voyageur secondaire. Afin de tirer tout le parti possible de ces étalons, il a été nécessaire de mettre au point des versions transportables des étalons primaires eux-mêmes. Le BIPM a acquis une très grande expérience dans ce nouveau type de comparaison internationale et un certain nombre d'avantages paraissent maintenant évidents pour tous ceux qui sont concernés. Par exemple, pour les comparaisons de lasers, le laboratoire hôte organise généralement une comparaison multilatérale simultanée à laquelle participent par exemple une dizaine d'autres instituts nationaux de métrologie de la même région. Cela permet à des laboratoires qui n'auraient pas les moyens de venir au BIPM d'effectuer des comparaisons directes avec les lasers du BIPM. Cela permet aussi au personnel du BIPM dont l'expérience est grande d'apporter une aide importante et des conseils pratiques à des physiciens qu'il n'aurait autrement que peu de chance de rencontrer. En particulier, cela a permis de transmettre de nombreux détails, petits mais importants, concernant la mise en pratique de la définition du mètre, détails qui sont familiers à ceux qui ont de l'expérience dans le domaine mais pas aux nouveaux venus. Les comparaisons qui sont effectuées de cette façon sont efficaces et donnent en général de bons résultats car le personnel du BIPM a bien l'habitude de transporter les équipements et de conduire les comparaisons. Dans le domaine de l'électricité, des comparaisons multilatérales d'équipements à effet Josephson ou à effet Hall quantique n'ont pas encore lieu car le BIPM est quasiment le seul laboratoire à posséder des équipements transportables. C'est la raison pour laquelle le nombre de visites individuelles faites aux laboratoires nationaux est plus grand que pour les lasers. Depuis 1992 douze comparaisons de l'effet Josephson ont été faites, dont trois cette année en Australie, en Rép. de Corée et en Nouvelle-Zélande. De plus, l'équipement à effet Hall quantique a été transporté en Suisse. Des lasers asservis sur l'iode ont été transportés aux É.-U. d'Amérique, en Australie et au Portugal. L'évolution des travaux en radiométrie risque d'amener le BIPM à transporter son radiomètre cryogénique dans des laboratoires nationaux afin d'y faire des comparaisons. Actuellement, des étalons secondaires, comprenant des ensembles de cellules au silicium montées

dans la configuration d'un piège optique, sont utilisés mais il est probable que les comparaisons les plus exactes de radiomètres cryogéniques seront celles qui seront faites directement entre radiomètres. Il est rendu compte ici d'une comparaison de ce type faite avec un radiomètre cryogénique appartenant au NPL (Royaume-Uni) qui a été apporté au BIPM.

Il est tenu étroitement compte du résultat des discussions qui se tiennent actuellement au sein des comités consultatifs sur la meilleure façon de démontrer l'équivalence des étalons nationaux de mesure au moyen de comparaisons internationales spécifiquement choisies à cet effet. On espère que chaque comité consultatif sera en mesure d'identifier et d'effectuer un petit nombre de comparaisons-clés pour apporter la preuve de la compétence dans les principales techniques dans son domaine. Les résultats de ces comparaisons fourniront la base scientifique de l'équivalence demandée au niveau international : c'est ce que l'on appelle quelquefois la traçabilité internationale. En établissant le programme de ses travaux futurs, le BIPM fera tout ce qui est en son pouvoir pour se préparer à toute nouvelle comparaison qui sera demandée.

Dans la section des longueurs, le programme des comparaisons de lasers à $\lambda \approx 633$ nm se poursuit : huit comparaisons internationales ont été faites cette année, concernant vingt pays et le BIPM. L'une de celles-ci s'est déroulée au CSIRO-NML (Australie) et a réuni six laboratoires de la région Asie/Pacifique. La collaboration se poursuit également avec l'ENS (France), le BNM-LPTF (France) et le BNM-INM (France) sur la mesure de la fréquence absolue de lasers asservis à $\lambda \approx 778$ nm utilisant les transitions à deux photons entre les niveaux $5S_{1/2}$ et $5D_{3/2}$ dans le rubidium, et des mesures sont envisagées pour le début de 1996. Cette année, le SP (Suède), le MRI (Finlande) et l'HUT (Finlande) ont travaillé avec le BIPM à la réalisation d'une diode laser asservie à $\lambda \approx 633$ nm à l'aide d'une cavité externe. Nos deux lasers à Ar^+ , l'un asservi au moyen de la technique de la bande latérale en modulation de fréquence et l'autre au moyen de la technique de la troisième harmonique, sont maintenant en état de marche et des mesures sont en cours pour comparer les deux techniques. Il a été confirmé, tant par l'expérience que par le calcul numérique, que les décalages de fréquence observés l'an dernier avec les lasers à hélium-néon asservis à $\lambda \approx 612$ nm étaient dus à des pertes partielles du faisceau au niveau des ouvertures. Le système électronique d'asservissement de notre premier laser à $\lambda \approx 10,6$ μm a été construit et vérifié ; pour notre second laser les parties mécaniques ont été construites et le tube de gain est en état de marche. Avec la collaboration du BNM-INM, nous continuons à faire des calculs des constantes hyperfines.

Dans la section des masses, la comparaison internationale d'étalons de 1 kg en acier inoxydable, faite à l'initiative du CCM, se poursuit et devrait s'achever en 1996. Deux paires d'étalons sont actuellement en circulation entre les douze laboratoires participants. La construction de

la nouvelle balance à suspensions flexibles est terminée et elle est en ce moment soumise à des essais systématiques. Ces essais comportent l'ajustage du système d'asservissement du fléau, l'évaluation de la fiabilité de l'échangeur de masses et la mesure de la stabilité et de l'uniformité de la température à l'intérieur de la cage de la balance. Pour chacun de ces paramètres, il semble que les critères de la conception aient été remplis. Des pesées préliminaires d'une série de huit masses de 1 kg en acier inoxydable, fabriquée spécialement au BIPM pour cette balance, ont été d'une qualité comparable à celles qui ont été faites avec la balance prototype à suspensions flexibles. On a observé des variations apparentes de la masse au cours d'une étude du comportement des étalons du BIPM en platine iridié en utilisant la balance Mettler HK 1000. Nous pensons maintenant que ces observations ne correspondent pas à des variations de masse mais à des défauts du fonctionnement de l'échangeur de masses de la balance. En utilisant des détecteurs commerciaux à condensateur, un nouveau système pour la mesure des gradients de l'humidité relative a été construit et relié à un ordinateur personnel. Ce nouveau système nous a permis de montrer que les gradients de l'humidité relative et de la température atteignent un état stable dans lequel la température du point de rosée est constante dans la totalité de l'enceinte étanche. Une série d'objets en platine iridié est en cours de fabrication pour le NPL, au moyen de la technique d'usinage à l'outil à pointe de diamant du BIPM; ces objets serviront à des pesées dans le vide et à l'étude des surfaces. Suite à la comparaison internationale de gravimètres absolus qui s'est déroulée au BIPM en 1994, de nouvelles mesures faites à l'aide du gravimètre BIPM FG5 apportent une contribution complémentaire à l'analyse des résultats de cette comparaison.

Dans la section du temps, les échelles de temps de référence TAI et UTC ont été régulièrement calculées et publiées dans *Circular T*, à parution mensuelle. Les résultats définitifs pour 1994 sont disponibles depuis le 5 avril 1995 sous forme de fichiers lisibles par ordinateur dans le FTP anonyme de la section du temps du BIPM; le volume imprimé du *Rapport annuel de la section du temps du BIPM* pour 1994 (volume 7) a été diffusé au début du mois de mai 1995. La stabilité de l'échelle libre de temps atomique EAL pour les données de 1993 et de 1994, exprimée à l'aide de l'écart-type d'Allan, est estimée à environ 4×10^{-15} pour toute période comprise entre dix et quatre-vingts jours. L'EAL est la première étape du calcul du TAI. Dans le domaine de la recherche sur les algorithmes d'échelles de temps, l'activité de la section du temps a été essentiellement dominée par la préparation de la réunion du Groupe de travail du CCDS sur le TAI, qui s'est tenue au BIPM les 13 et 14 mars 1995. Ce travail comporte des études dont le but est d'améliorer la stabilité à long terme de l'EAL et de définir une stratégie sûre pour le pilotage de la fréquence. Pendant un grand nombre d'années, l'exactitude du TAI a été fondée sur les résultats des étalons primaires de fréquence PTB-CS1 et PTB-CS2. La

situation est maintenant radicalement changée. Depuis la seconde moitié de l'année 1994, le BIPM reçoit régulièrement des données provenant d'évaluations de l'étalon primaire à pompage optique NIST-7 mis au point au NIST. Ces évaluations donnent un niveau d'exactitude, caractérisé par une incertitude de 1×10^{-14} (1σ), jamais encore obtenu. Ces résultats sont corrigés pour le décalage relatif de fréquence dû au rayonnement du corps noir, estimé à $-1,7 \times 10^{-14}$ quand l'atome de césium est à une température de 300 K. Dans le passé, les laboratoires qui rapportent des données d'étalons primaires de fréquence n'appliquaient pas cette correction de manière uniforme : en particulier, les résultats fournis par PTB-CS1 et CS2 n'ont jamais été corrigés. Nous avons été informés que, depuis juillet 1995, PTB-CS1 a cessé de fonctionner et le BIPM a reçu une valeur estimée de la correction à appliquer aux résultats de PTB-CS2, qui continue à fonctionner, pour compenser l'effet du rayonnement du corps noir. Il s'ensuit que, depuis juillet 1995, nous appliquons cette correction aux données de PTB-CS2 et nous évaluons la durée de l'intervalle unitaire du TAI à partir des résultats, corrigés de manière cohérente, des deux seuls étalons primaires PTB-CS2 et NIST-7. Cette façon de procéder est en accord avec les décisions du Groupe de travail du CCDS sur le TAI qui a recommandé au CCDS l'application uniforme de corrections visant à compenser le décalage de fréquence dû au rayonnement du corps noir. Le CCDS sera invité à prendre une décision définitive à ce sujet lors de sa réunion de mars 1996. Ce nouveau mode de calcul conduit à un décalage entre l'intervalle unitaire du TAI et la seconde du SI estimé à 2×10^{-14} s, avec une incertitude relative de $0,7 \times 10^{-14}$, pour la période des deux mois de juillet et août 1995. Un processus de compensation pour cet effet a été amorcé immédiatement : il s'agit de cumuler des corrections de pilotage de fréquence, chacune d'amplitude relative 1×10^{-15} , appliquées à des dates distantes de soixante jours. Cette façon de faire ne devrait pas menacer la stabilité à long terme de l'échelle de temps. Les travaux sur la technique des vues communes pour le GPS et sur les liaisons horaires au moyen du GLONASS se poursuivent en profitant pleinement maintenant du nouveau laboratoire du temps. Une étude portant sur l'application de la théorie de la relativité pour la syntonisation des horloges au voisinage de la Terre a été achevée. La collaboration se poursuit avec les groupes de radio-astronomie pour obtenir des données des pulsars en vue de mettre au point des échelles de temps fondées sur des pulsars.

Dans la section d'électricité, trois comparaisons ont eu lieu à l'aide du dispositif transportable à effet Josephson. Elles se sont déroulées au KRISS (Rép. de Corée), au MSL (Nouvelle-Zélande) et au CSIRO-NML (Australie). Les résultats présentent des différences relatives, entre les étalons de tension de 1 V à effet Josephson de chaque laboratoire et celui du BIPM, inférieures à 3×10^{-10} avec une incertitude-type composée totale inférieure à 3×10^{-10} dans chaque cas en valeur relative. Au mois de novembre 1994 nous avons transporté notre appareil étalon de résistance

à effet Hall quantique comportant un cryostat, un aimant et le pont de résistance, à l'OFMET (Suisse) et nous y avons effectué la deuxième comparaison sur place d'étalons à effet Hall quantique. Les résultats des mesures obtenus avec les deux systèmes s'accordent entre eux à quelques 10^{-9} en valeur relative avec une incertitude-type composée totale d'environ la même valeur. Les deux dispositifs transportables, aussi bien celui à effet Josephson que celui à effet Hall quantique, sont en mesure d'assurer la traçabilité entre laboratoires avec des exactitudes meilleures, d'un ordre de grandeur ou mieux, que celles que l'on obtient avec des étalons voyageurs traditionnels. De nouveaux progrès ont été faits dans la mesure de la résistance de Hall quantifiée en courant alternatif à 1600 Hz. Nous avons effectué des comparaisons exactes des plateaux de résistance $i = 2$ et $i = 4$ et nous avons obtenu une quantification exacte à cette fréquence, mais il subsiste des imperfections résiduelles de l'ordre de 1×10^{-7} en valeur relative. Notre programme de comparaisons bilatérales d'étalons électriques fondamentaux continue d'attirer l'intérêt et, cette année, trois comparaisons sont en cours.

Dans la section de radiométrie, photométrie, thermométrie et manométrie, l'essentiel du travail cette année a été de préparer les comparaisons internationales dont le CCPR avait pris la décision lors de sa session de septembre 1994. En vue de la comparaison de radiomètres cryogéniques, trois comparaisons d'essai ont été faites. Deux ont été des comparaisons directes entre radiomètres cryogéniques au BIPM et la troisième a été une comparaison indirecte, réalisée en transportant des récepteurs à piège. Les résultats de toutes ces comparaisons confirment l'excellente reproductibilité des radiomètres cryogéniques : dans aucun des cas les différences relatives ne dépassent 2×10^{-4} . L'utilisation des récepteurs à piège comme instruments de transfert pour des comparaisons de ce genre nécessite d'avoir une connaissance exacte de leurs caractéristiques ; on en fait donc l'étude. Suite au réaménagement de l'une des pièces précédemment utilisée pour la thermométrie, il a été possible de séparer du radiomètre cryogénique les installations pour la radiométrie où l'on utilise un monochromateur et des lampes. Une pièce entière est maintenant réservée au radiomètre cryogénique, ce qui permet d'améliorer les installations expérimentales nécessaires et laisse davantage d'espace pour les radiomètres qui viennent d'autres laboratoires. En photométrie, la comparaison internationale de sensibilité lumineuse utilisant des photomètres a été préparée par un groupe de travail du CCPR avec le BIPM comme coordinateur. Des groupes de lampes fabriquées par Osram et Polaron ont été achetés et constitueront un nouveau groupe d'étalons de travail. La sphère intégrante de 1,5 m de diamètre, qui avait été repeinte en 1983, a été démontée, nettoyée et sa peinture photométrique blanche a été refaite. La comparaison internationale de cellules à point triple de l'eau, commencée en 1994, est bien avancée. Les deux groupes de laboratoires nationaux ont achevé leurs mesures. Les cellules voyageuses

ont été retournées au BIPM au mois d'août 1995 pour la dernière série de vérifications et de mesures. Une installation pour essayer et comparer les jauges à vide a été conçue et commandée.

Dans la section des rayonnements ionisants, le travail est divisé en deux grandes catégories, la dosimétrie et les radionucléides. Dans le domaine des rayonnements γ et x une étude approfondie a été faite sur la réponse d'une chambre de transfert en fonction de la qualité du rayonnement. Les recherches se poursuivent pour tenter de trouver une explication à la décroissance anormalement rapide que nous avons observée dans la dose absorbée pour le rayonnement du ^{60}Co , décroissance qui est de 0,2 % plus rapide que celle que l'on en attend d'après la période connue de 1925,5 jours. Le kerma dans l'air a été déterminé pour la nouvelle source de rayonnement du ^{137}Cs . L'incertitude totale est de 0,4 %, ce qui est légèrement supérieur à celle de la source de ^{60}Co . Une comparaison d'étalons de kerma dans l'air a été faite avec le GUM (Pologne) dans les faisceaux de rayons x du BIPM. Deux comparaisons d'étalons de kerma dans l'air dans le faisceau de rayonnement du ^{137}Cs du BIPM ont été faites avec le NIST (É.-U. d'Amérique) et l'OMH (Hongrie). Le BIPM a analysé les résultats de la comparaison de dose élevée (15 kGy et 45 kGy) dans le rayonnement du ^{60}Co organisée par l'AIEA, à laquelle ont participé neuf laboratoires. Plusieurs chambres d'ionisation utilisées comme étalons secondaires de kerma dans l'air ou de dose absorbée dans l'eau ont été étalonnées dans les faisceaux de rayonnement x , ou de rayonnement du ^{137}Cs ou du ^{60}Co , pour l'AIEA, le CSIR (Afrique du Sud), le BNM-LPRI (France), l'OMH (Hongrie), le SIS (Danemark), et le SS (Norvège). La collaboration active avec l'AIEA se poursuit. Une étude a été faite des méthodes qui pourraient être utilisées par le BIPM pour assurer l'équivalence des étalons internationaux pour la mesure de la dose absorbée dans l'eau de faisceaux de photons ou d'électrons de haute énergie. Suite à la décision de cesser le travail expérimental en dosimétrie neutronique au BIPM, les dernières mesures dans le domaine neutronique ont eu lieu. La stabilité des trois sphères de Bonner, utilisées comme instruments de transfert dans une comparaison internationale de mesures de fluence neutronique, a été contrôlée avant que la deuxième partie de la comparaison ne commence. À la fin de cette comparaison, en 1996, les sphères seront renvoyées au NPL d'où elles provenaient au départ. La fonction de réponse du détecteur à scintillation liquide utilisé a été mesurée. Dans le domaine des radionucléides, une comparaison d'essai de mesures de l'activité du ^{204}Tl a été achevée et les résultats ont été présentés à la réunion de la Section II du CCEMRI. Dans le cadre de l'EUROMET le BIPM a pris part à une comparaison de mesures de l'activité du ^{63}Ni . Suite au résultat d'une comparaison d'essai de mesures de l'activité du ^{192}Ir , il a été décidé par la Section II du CCEMRI qu'une autre comparaison d'essai devrait être faite pour inclure un plus grand nombre de participants. Le nombre de participants et le nombre de radionucléides entrant dans le Système

international de référence (SIR) pour les radionucléides émetteurs de rayonnement gamma continuent d'augmenter. Dans le cadre de l'intérêt que nous portons depuis longtemps aux statistiques de comptage, à l'évaluation des résultats des comparaisons et à l'expression des incertitudes, une étude a commencé sur l'application éventuelle à la métrologie de ce que l'on appelle les « statistiques robustes ».

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

1.1.1 Publications extérieures

QUINN T. J., Wozu braucht man genaue Messungen?, *PTB Mitteilungen*, 1994, **104**, 294-298.

QUINN T. J., Base Units of the Système International d'Unités, their Accuracy, Dissemination and International Traceability, *Metrologia*, 1995, **31**, 515-527.

QUINN T. J., News from the BIPM, *Metrologia*, 1995, **32**, 55-59.

QUINN T. J., Accurate measurements, who needs them and why?, *Measurement and Control*, 1995, **28**, 113-116.

KIND D., QUINN T. J., Metrology: Quo Vadis?, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1995, **44**, 85-89.

QUINN T. J., International Measurement Standards, In *Proceedings of Workshop on establishing international recognition of national measurement standards of developing countries*, 25 October - 4 November 1994, Hsinchu, Taiwan, coordinated by the Asia/Pacific Metrology Programme, 15-24.

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

T. J. Quinn s'est rendu à :

— Lindfield (Australie), du 19 au 21 octobre 1994, où il a visité le National Measurement Laboratory et a répondu à une enquête faite par le Gouvernement australien sur le système national de mesure en Australie ;

— Hsinchu (Taiwan), les 25 et 26 octobre 1994, où il a pris part à une réunion de l'Asia/Pacific Metrology Programme et a prononcé une conférence intitulée « The role of metrology in today's world » ;

— Ottawa (Canada), les 28 et 29 novembre 1994 et les 23 et 24 mai 1995, pour participer aux réunions du NRC Advisory Board de l'Institut des étalons nationaux de mesure ;

— Turin (Italie), le 7 décembre 1994 et le 11 avril 1995, pour participer aux réunions du conseil scientifique de l'Istituto di Metrologia G. Colonnetti ;

— Londres (Royaume-Uni), le 14 décembre 1994, pour donner la Wheatstone Memorial Lecture à l'Institution of Electrical Engineers intitulée « The role of accurate measurement in today's world » ;

— Amsterdam (Pays-Bas), le 16 janvier 1995, pour participer à une réunion de l'EUROMET steering group ;

— Londres (Royaume-Uni), le 6 février et le 31 mai 1995, pour participer à une réunion du Royal Society Paul Fund ;

— Londres (Royaume-Uni), le 7 février 1995, pour présenter la Jubilee Thomson Lecture de l'Institution of Measurement and Control au Science Museum intitulée « Accurate measurement, who needs it and why ? » ;

— Braunschweig (Allemagne), les 27 et 28 mars 1995, pour assister à la cérémonie de départ en retraite de D. Kind comme président de la PTB ;

— Bratislava (Rép. slovaque), du 4 au 6 avril 1995, pour participer à une réunion de COOMET ;

— Birmingham et Warwick (Royaume-Uni), les 2 et 3 mai 1995, pour y visiter les universités en sa qualité de représentant du Royal Society Paul Fund ;

— Noordwijk (Pays-Bas), le 15 mai 1995, pour faire une conférence à l'ESTEC (Agence spatiale européenne) intitulée « Science, the value of measurement » ;

— Strasbourg (France), les 18 et 19 mai 1995, pour une réunion de l'EUROMET Committee ;

— Lisbonne (Portugal), le 26 mai 1995, pour participer à un atelier sur la métrologie à l'Instituto Português da Qualidade et y faire une conférence sur les activités du BIPM ;

— Braunschweig (Allemagne), le 26 juin 1995, pour une réunion du bureau du Comité ;

— Washington DC (É.-U. d'Amérique), les 10 et 11 août 1995, pour une visite au Département d'État ;

— Copenhague (Danemark), le 21 août 1995, pour la célébration du dixième anniversaire du Danish Institute of Fundamental Metrology.

D. Blackburn a participé à une réunion de l'International Federation of Science Editors, à Barcelone (Espagne), du 9 au 13 juillet 1995, où il a fait une conférence intitulée « Electronic choice for small journals ».

2. Longueurs (J.-M. Chartier)

2.1 Remarques générales

Notre programme de comparaisons de lasers à $\lambda \approx 633$ nm se poursuit : huit comparaisons internationales ont été effectuées cette année ; elles ont concerné vingt pays et le BIPM. L'une d'elles s'est déroulée au

CSIRO (Australie) et a réuni six laboratoires de la région Asie/Pacifique. Notre collaboration se poursuit aussi avec l'ENS (France), le BNM-LPTF (France) et le BNM-INM (France) sur la mesure absolue de la fréquence de lasers à $\lambda \approx 778$ nm asservis à l'aide de la transition à deux photons de $5S_{1/2}$ à $5D_{3/2}$ dans le rubidium; il est prévu de faire des mesures au début de l'année 1996. Cette année, le SP (Suède), le MRI (Finlande) et le HUT (Finlande) ont travaillé avec le BIPM pour réaliser une diode laser à cavité externe à $\lambda \approx 633$ nm. Nos deux lasers asservis à Ar^+ , l'un faisant appel à la technique de la bande latérale en modulation de fréquence et l'autre à la technique du troisième harmonique sont maintenant en état de marche; des mesures sont en cours pour comparer ces deux techniques. Il s'est confirmé, tant par l'expérimentation que par le calcul, que les décalages de fréquence observés l'an dernier avec les lasers à He-Ne asservis à 612 nm étaient dus à des pertes partielles du faisceau aux ouvertures. L'asservissement électronique de notre premier laser qui fonctionne à $\lambda \approx 10,6$ μm , a été construit et vérifié; pour notre deuxième laser les parties mécaniques sont construites et le tube de gain est en état de fonctionnement. Nous poursuivons avec le BNM-INM le calcul des tables de constantes hyperfines.

2.2 Mesures de longueur

2.2.1 Mesures de longueur classiques

Les mesures de règles à traits et de calibres de grande longueur se terminent cette année. La conjonction de la rareté des demandes et du vieillissement de l'équipement fait que ce type de mesures prend de plus en plus de temps lorsqu'on recherche la meilleure exactitude. La priorité étant donnée aux travaux sur les lasers, cela a pour conséquence l'abandon des installations de mesure interférométrique des longueurs.

Les dernières mesures faites par le BIPM ont concerné une comparaison de mesures d'une règle à traits dans le cadre d'un programme d'EUROMET pour lequel une règle a circulé entre neuf laboratoires. Comme pour la comparaison qui s'est déroulée entre 1984 et 1988, on a trouvé une incertitude-type voisine de 1 μm pour la détermination d'une longueur de 1 m. C'est un peu moins bon que ce que l'on pouvait attendre d'après l'estimation des incertitudes.

2.2.2 Diffractomètre interférentiel à laser (L. Vitouchkine)

La construction du diffractomètre interférentiel à laser pour la mesure du pas des réseaux de diffraction est maintenant terminée. Le diffractomètre est monté et l'alignement effectué; une première étude a été faite en utilisant les réseaux de référence dont nous disposons. Pour la première comparaison d'étalons de petite longueur à graduations périodiques on

a utilisé des réseaux holographiques, l'un doré ayant un espacement de $0,28 \mu\text{m}$, un autre sur un substrat de germanium ayant un espacement de $0,39 \mu\text{m}$ et un autre avec un revêtement en aluminium et un espacement de $0,50 \mu\text{m}$. La comparaison s'est déroulée au BIPM en collaboration avec le VNIIM. La différence entre les résultats obtenus au BIPM et au VNIIM en utilisant la méthode à deux longueurs d'onde était de $0,1 \text{ nm}$ pour le réseau dont l'espacement est de $0,28 \mu\text{m}$, inférieure à 1 nm pour le réseau dont l'espacement est de $0,39 \mu\text{m}$ et 1 nm pour le réseau dont l'espacement est de $0,50 \mu\text{m}$.

En collaboration avec le VNIIM, une méthode pour mesurer la largeur d'une fente unique, ou d'un trait opaque, a été suggérée et une expérience a été faite au BIPM en utilisant le diffractomètre interférentiel à laser afin de démontrer qu'il est possible de mesurer des fentes ayant des largeurs comprises entre $0,1 \mu\text{m}$ et $10 \mu\text{m}$. M. S. A. Pul'kin (VNIIM) a pris part à cette comparaison.

La méthode de mesure à trois longueurs d'onde du pas des réseaux de diffraction au moyen du diffractomètre interférentiel a été étudiée. Elle évite d'avoir recours à un réseau de référence étalonné. L'espacement à mesurer est évalué en fonction des longueurs d'onde connues de radiations laser, en utilisant le rapport des franges d'interférence qui sont formées aux différentes longueurs d'onde et dans les différents ordres de diffraction par le réseau à mesurer. Le réseau holographique GH-A1-2 a été mesuré. La valeur mesurée du pas était de $0,499 \mu\text{m}$ avec une incertitude-type de $0,004 \mu\text{m}$. Ce résultat concorde avec celui qui a été obtenu en utilisant la méthode à deux longueurs d'onde, soit $0,501 \mu\text{m}$ avec une incertitude-type de $0,001 \mu\text{m}$.

M. A. L. Vitouchkine a participé à ces recherches et à ces mesures.

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

Avec l'introduction de lasers à diode et de lasers à l'état solide il est essentiel de disposer de moyens pour faire des mesures approximatives de longueur d'onde. Comme un seul instrument de mesure des longueurs d'onde ne peut être utilisé que dans un seul laboratoire à la fois, il est nécessaire que nous en ayons au moins deux. Nous avons obtenu gracieusement de Thomson Jaeger (France) un instrument commercial dont l'électronique de comptage a été entièrement repensée et refaite, conformément à nos besoins. Cet instrument est maintenant disponible pour les mesures. Bien qu'il soit très exact, il faut un certain entraînement avant d'obtenir de bonnes mesures.

* Stagiaire.

Parallèlement, un autre instrument, plus simple, a été réalisé au Bureau pour être utilisé avec les lasers à diode; il a été conçu de manière à permettre d'en réaliser un certain nombre du même type pour des activités futures. Cet instrument de mesure des longueurs d'onde a été soumis à des essais, un deuxième instrument est en construction. La réalisation d'un système différent de comptage de franges, également facile à reproduire, est envisagée pour cet instrument.

2.3 Lasers

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

La conception de la partie spectroscopique du nouveau système à Ar^+ , BIAR2, a été revue. Des cristaux à effet Faraday y ont été incorporés afin d'améliorer la maîtrise de la polarisation de la lumière, ainsi que des isolateurs optiques, afin de réduire la quantité de lumière rétro réfléchée vers le laser. On a aussi introduit des dispositifs pour stabiliser la puissance du laser pour chacun des systèmes que nous possédons.

Une série de mesures a été faite avec les deux lasers à argon asservis sur l'iode. L'objectif principal de ces mesures était de comparer deux techniques : l'asservissement à l'aide de la bande latérale en modulation de fréquence et l'asservissement habituel à l'aide du troisième harmonique. Bien évidemment, il est de toute première importance de démontrer qu'il n'y a aucun décalage systématique de fréquence ni discontinuité lorsqu'on passe d'une technique de réalisation du mètre à une autre. Des mesures de trois types ont été faites :

- reproductibilité de la fréquence : mesures pour déterminer la reproductibilité de la fréquence de la composante de référence a_3 , P(13) 43-0;
- stabilité de la fréquence : mesures de la variance d'Allan combinée pour les deux lasers;
- spectroscopie : mesure de la plupart des intervalles de fréquence entre les composantes des transitions P(13) 43-0 et R(15) 43-0.

2.3.2 Laser à Nd:YAG doublé à $\lambda \approx 532 \text{ nm}$ (L. Robertsson)

La mise au point de lasers à l'état solide au cours des dix dernières années permet aujourd'hui de penser que ce type de laser constitue un outil convenable pour réaliser le mètre. En combinant le milieu de gain pompé à l'aide d'une diode laser et des résonateurs monolithiques on peut obtenir des efficacités de conversion élevées et de faibles caractéristiques de bruit, et cela pour des puissances de sortie élevées. La fréquence doublée du laser à Nd:YAG est tout particulièrement appropriée à cette application. Les expériences donnent une bonne stabilité de la fréquence

et une bonne reproductibilité. La fréquence absolue de cette radiation a été aussi mesurée, elle constitue donc un excellent candidat pour figurer dans la liste des radiations recommandées pour la mise en pratique de la définition du mètre. Cette radiation verte est importante pour les mesures pratiques de longueur fondées sur des techniques utilisant plusieurs longueurs d'onde.

Dans ce domaine il est à peu près certain que le laser à Nd:YAG se montrera une meilleure solution que le laser à Ar⁺ à $\lambda \approx 515$ nm et que le laser à He-Ne à $\lambda \approx 543$ nm qui sont d'usage courant. Le BIPM a entrepris un programme de travail fondé sur ce laser. Les premières résonances utilisant des techniques de bande latérale en modulation de fréquence ont été enregistrées et on a obtenu un très bon rapport signal sur bruit. Pour l'équipement nous avons l'intention de faire appel essentiellement à des composants commerciaux. Les laboratoires nationaux pourront ainsi le copier facilement et avoir rapidement accès à cette longueur d'onde et cela avec le minimum d'effort de mise au point de leur part.

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

Trois lasers, chacun étant équipé d'un tube de gain avec une fenêtre de Brewster et un miroir scellé, ont été nettoyés et réalignés. Les puissances de sortie mesurées montrent qu'ils peuvent encore être utilisés si on les asservit sur l'iode.

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

Le décalage de fréquence systématique dû à la troncature de la bande latérale détectée, lorsqu'on utilise des techniques de modulation en spectroscopie de saturation, a été étudié l'an dernier et il en a été rendu compte. On avait trouvé que si les ouvertures ou la petite taille des détecteurs occasionnent une perte partielle sur un point quelconque de la trajectoire du faisceau, la fréquence d'un laser asservi au centre d'une composante est décalée. Pour cette étude on a utilisé des lasers à $\lambda \approx 612$ nm, en cuve externe. Des expériences complémentaires ont été faites cette année pour augmenter le nombre de ces observations et vérifier l'interprétation que l'on a donnée du phénomène.

On a mesuré la variation de l'amplitude du troisième harmonique lorsque le laser est asservi sur une fréquence dont la distance à la fréquence centrale est variable. Les variations observées en fonction de la fréquence d'asservissement du laser concordent bien avec un modèle dans lequel les bandes latérales de fréquence de la lumière modulée du laser sont auto-focalisées, individuellement. Le calcul confirme cet accord.

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

i) Comparaisons internes de lasers du BIPM

Les deux lasers portables BIPMP1 et BIPMP3, qui sont normalement utilisés pour les comparaisons internationales faites en dehors du BIPM, ont été comparés plusieurs fois au laser de référence BIPM4 qui reste au BIPM. Toutes les différences de fréquence mesurées étaient inférieures à 5 kHz (1×10^{-11} en valeur relative).

La différence de fréquence mesurée entre le plus ancien laser de référence du BIPM, BIPM2, et le laser BIPM4 était elle aussi inférieure à 5 kHz.

Après la comparaison de lasers faite avec les laboratoires d'Europe occidentale (*voir ci-après*), nous avons soigneusement vérifié la température de la cuve à iode du laser BIPM4 au moyen d'un thermomètre à résistance de platine et avons trouvé une température de 14,73 °C : une correction a été faite pour ramener celle-ci à être aussi voisine que possible de 15,00 °C.

La puissance à l'intérieur de la cavité a été aussi réglée à 10 mW, comme cela est indiqué dans la Mise en pratique de la définition du mètre, après étalonnage de notre radiomètre par la section de radiométrie. Ces deux réglages conduisent à une correction de fréquence de 1,2 kHz (– 2,0 kHz pour la température de l'iode et 3,2 kHz pour la puissance à l'intérieur de la cavité).

ii) Comparaisons internationales

Les comparaisons internationales suivantes ont été faites :

— en juin 1994, au JILA (Boulder, Colorado, É.-U. d'Amérique), une comparaison entre le JILA et le BIPM (qui n'a pas été mentionnée dans le rapport de 1994) ;

— en juillet 1994, au CEM (Madrid, Espagne), une comparaison entre le CEM, l'IPQ (Portugal) et le BIPM (qui n'a pas été mentionnée dans le rapport de 1994) ;

— en novembre 1994, au BIPM, une comparaison entre l'UME-MRC (Gebze-Kocaeli, Turquie) et le BIPM ;

— en mars 1995, au BIPM, une comparaison entre la PTB (Braunschweig, Allemagne), le NPL (Teddington, Royaume-Uni), l'IMGC (Turin, Italie), le BNM-INM (Paris, France) et le BIPM ;

— en mars 1995, au BIPM, une comparaison entre le CEM (Madrid, Espagne), le NMi (Delft, Pays-Bas), l'IGM (Bruxelles, Belgique) et le BIPM ;

— en mai 1995, au BIPM, une comparaison entre l'OFMET (Wabern, Suisse) et le BIPM ;

— en juillet 1995, au CSIRO (Lindfield, Australie), une comparaison entre le CSIRO, le SISR (Singapour), l'IRL (Lower Hutt, Nouvelle-

Zélande), le CMS-ITRI (Hsinchu, Taiwan), le KRISS (Taejon, Rép. de Corée), le CSIR (Pretoria, Afrique du Sud) et le BIPM;

— en septembre 1995, au BIPM, une comparaison entre le VNIIM (Saint-Pétersbourg, Féd. de Russie), le CSM (Sofia, Bulgarie), l'IFA/IFTAR (Bucarest, Roumanie), le NMS (Oslo, Norvège) et le BIPM.

Tous les résultats seront publiés dans la rubrique « International Reports » de *Metrologia*.

iii) Divers

Le BIPM a acheté un laser asservi à la société Winters Electro-Optics. Ce laser a été comparé à un autre laser du même type, appartenant à cette société, et au laser de référence BIPM4. Toutes les différences de fréquence mesurées étaient inférieures à 2 kHz (4×10^{-12}) durant une période d'une semaine.

2.3.6 Lasers à diode à cavité externe à $\lambda \approx 633$ nm (J. Åman, A. Zarka, J.-M. Chartier)

Un laser à diode à cavité externe a été conçu et construit pour produire une oscillation en régime monomode longitudinal, avec une faible largeur de raie, dont la longueur d'onde est voisine de celle d'un laser à He-Ne à $\lambda \approx 633$ nm. Le fonctionnement de ce laser a été étudié pendant l'année 1995, en utilisant la spectroscopie hétérodyne à des fréquences de battement inférieures à 3 GHz avec un laser à He-Ne asservi sur l'iode. La largeur de raie du laser a été réduite à moins de 1 MHz par une intense réinjection de la lumière dans la diode du laser à l'aide d'un réseau de diffraction holographique situé dans la cavité externe. Un fonctionnement en laser monomode avec une puissance de 1,3 mW a été obtenu avec les principaux modes latéraux réduits à moins de 30 dB. La couverture complète d'un large domaine spectral d'accord, normalement de plus de 10 nm centré autour de 633 nm, a été obtenue grâce à un revêtement antireflet du laser à diode. On a pu obtenir un réglage continu sans saut de mode sur plus de 5 GHz.

La spectroscopie de la transition P(33) 6-3 dans la bande X-B de $^{127}\text{I}_2$ a été réalisée pour la première fois à l'aide de lasers à diode. L'absorption de l'iode limitée par effet Doppler a été mesurée en utilisant une cuve à vapeur extérieure à la cavité du laser. Les composantes de structure hyperfine sous-jacentes ont été résolues par spectroscopie de saturation, en plaçant la cuve à l'intérieur d'une cavité externe résonnante, afin d'augmenter la puissance et la sensibilité. Cette expérience apporte la preuve des possibilités de ce laser dont la fréquence pourrait être utilisée à l'avenir en métrologie des étalons de longueur. Cette étude préliminaire sur la spectroscopie d'absorption à l'intérieur d'une cavité externe associée à une diode laser est terminée.

On envisage pour 1995-1996 d'autres recherches sur les possibilités offertes par les lasers à diode comme étalons de longueur d'onde à $\lambda \approx 633$ nm. Les travaux porteront en particulier sur l'asservissement de ces lasers sur les composantes hyperfines et l'évaluation de la reproductibilité et de la stabilité de leur fréquence.

Ce travail a été effectué en collaboration avec L. R. Pendrill du SP, E. Ikonen et H. Talvitie du MRI. L. Hollberg de la Division temps et fréquence du NIST (Boulder) a fourni les diodes. Une partie du travail a été effectuée au SP.

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

i) La construction du laser à diode transportable du BIPM asservi sur le rubidium est presque terminée. Les parties mécaniques de la source laser ont été montées et la stabilité naturelle de cet instrument sera contrôlée sous peu par rapport à des instruments mis au point au BNM-LPTF.

ii) La collaboration avec le BNM-LPTF, le BNM-INM et le laboratoire Kastler-Brossel de l'ENS se poursuit. Au BNM-LPTF, nous avons mis au point deux systèmes transportables dont on étudie actuellement le comportement du point de vue métrologique. Un instrument similaire fonctionne maintenant à l'ENS. Ces trois instruments ont été comparés au cours de l'été de 1995 avec l'aide d'une fibre optique reliant le BNM-LPTF et le laboratoire Kastler-Brossel. La chaîne de multiplication de fréquence du BNM-LPTF est en cours de modification afin de déterminer les fréquences absolues de ces instruments au début de l'année 1996.

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

i) Activités générales

La construction et l'étude des tubes de laser à He-Ne et des cuves à méthane se poursuivent. Nous avons reçu au cours de l'été de 1995 les embouts spéciaux dont nous avons besoin pour les fenêtres de Brewster en saphir. Cette partie a été fabriquée par une société commerciale, les Établissements Dumas.

ii) Collaboration avec d'autres laboratoires

Le projet de collaboration avec M. Gubin (Institut Lebedev, Moscou, Féd. de Russie) et G. Cramer (PTB, Braunschweig, Allemagne) proposé l'an dernier à l'International Association for the Promotion of Cooperation with Scientists from the Independent States of the Former Soviet Union a été rejeté. La mise au point d'un laser portable (He-Ne)/CH₄ à

$\lambda \approx 3,39 \mu\text{m}$, dans lequel la structure hyperfine de la raie F_2^2 serait résolue, intéresse pourtant le BIPM. Nous poursuivons donc d'étroites discussions avec des laboratoires intéressés par une future collaboration.

2.3.9 Laser à CO_2 à $\lambda \approx 10,6 \mu\text{m}$ à cuve externe contenant du SF_6 (S. Picard)

La partie électronique nécessaire pour contrôler la stabilisation de la fréquence du premier laser à CO_2 , BC1, est construite. L'adaptation optique du faisceau du laser entrant dans l'interféromètre de Perot-Fabry est en cours de réglage. Un deuxième laser à CO_2 , BC2, a été construit : celui-ci diffère du premier par quelques détails. Tous les éléments mécaniques ont été construits dans l'atelier de mécanique du BIPM et le tube du laser a été testé. Le laser BC2 a été monté et il est en cours d'alignement. Les caractéristiques du premier laser sont données dans le *Rapport BIPM-94/10*.

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

Le montage nécessaire pour mesurer la fréquence absolue d'un laser à He-Ne asservi sur l'iode à $\lambda \approx 633 \text{ nm}$ par rapport à la somme des fréquences du laser à (He-Ne)/ CH_4 à $\lambda \approx 3,39 \mu\text{m}$ et d'un laser à diode asservi sur le rubidium à $\lambda \approx 778 \text{ nm}$ est en cours d'étude. Plusieurs schémas optiques ont été étudiés. Avec J.-J. Zondy, du BNM-LPTF, nous avons étudié la possibilité de produire un rayonnement à $\lambda \approx 633 \text{ nm}$ en utilisant les cristaux non linéaires disponibles.

2.3.11 Cuves à iode

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

Cette année douze cuves saturées (du type dit S) et huit cuves non saturées (du type dit N) ont été remplies. Leur fréquence a été étalonnée en utilisant la technique de la fréquence de battement ; pour la plupart elles ont été cédées à des laboratoires de métrologie.

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

L'installation d'un nouveau laser pour vérifier la pureté de l'iode contenue dans des cuves en verre a été retardée à cause d'un problème survenu dans la construction. Quelques cuves remplies d'iode spécialement préparées ont été mesurées. Ces cuves vont être emportées à l'IMMR (Geel, Belgique) pour y être étudiées par P. De Bièvre par spectrométrie de masse.

2.3.12 Structure hyperfine (S. Picard)

La structure hyperfine de l'iode intéresse de nombreuses équipes qui travaillent sur la réalisation du mètre. Les résultats des calculs par différentes équipes de la structure hyperfine et des constantes hyperfines de diverses transitions ro-vibrationnelles dans le système B-X de $^{127}\text{I}_2$ ont été rassemblés en tableau, en coopération avec A. Razet (BNM-INM). Ce tableau a été accepté pour publication dans *Metrologia*. Une compilation semblable pour le $^{129}\text{I}_2$ est presque terminée.

2.3.13 Ordinateurs (A. Zarka)

i) *Système de dessin assisté par ordinateur*

Nous avons récemment acheté un instrument numérique pour fabriquer des circuits imprimés et des faces avant de tiroirs pour l'électronique. Cela devrait nous permettre de produire plus rapidement des travaux de bonne qualité. Une première série de neuf faces avant et quatre circuits imprimés différents a été réalisée. Nous étudions la façon de faire le meilleur usage de cet équipement en liaison avec notre système de dessin assisté par ordinateur.

ii) *Système numérique*

Des recherches sont en cours sur les éventuels avantages du système VXI (bus VME étendu) pour des systèmes numériques d'asservissement.

2.4 Publications, conférences et voyages : section des longueurs

2.4.1 Publications extérieures

1. BALLING P., BLABLA J., CHARTIER A., CHARTIER J.-M., ZIEGLER M., International Comparison of $^{127}\text{I}_2$ -Stabilized He-Ne Lasers at $\lambda \approx 633$ nm Using the Third and the Fifth Harmonic Locking Techniques, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1995, **44**, 173-176.
2. CHARTIER J.-M., CHARTIER A., LABOT J., WINTERS M., Absolute gravimeters : status report on the use of iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda \approx 633$ nm, *Metrologia*, 1995, **32**, 181-184.
3. TOUAHRI D., NEZ F., ABED M., ZONDY J.-J., ACEF O., HILICO L., CLAIRON A., MILLERIOUX Y., BIRABEN F., JULIEN L., FELDER R., LPTF Frequency Synthesis Chain: Results and Improvement for the Near Future, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1995, **44**, 170-172.
4. NEZ F., PLIMMER M. D., BOURZEIX S., JULIEN L., BIRABEN F., FELDER R., MILLERIOUX Y., DE NATALE P., Determination of the Rydberg Constant by Direct Frequency Measurement, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1995, **44**, 568-571.

5. VITUSHKIN L. F., LAZARYUK S. V., PUL'KIN S. A., ROBERTSSON L., TOPTYGINA G. I., Resonances of Subnatural Line Width in Iodine Vapor Driven by a Polychromatic Laser Light Field at $\lambda = 515$ nm: A Proposal, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1995, **44**, 177-180.
6. FELDER R., TOUAHRI D., ACEF O., HILICO L., ZONDY J.-J., CLAIRON A., DE BEAUVOIR B., BIRABEN F., JULIEN L., NEZ F., MILLERIOUX Y., Performance of a GaAlAs laser diode stabilized on a hyperfine component of two-photon transitions in rubidium at 778 nm, *SPIE Proc.*, 1995, **2378**, 52-57.
7. ZONDY J.-J., TOUAHRI D., ACEF O., HILICO L., ABED M., CLAIRON A., MILLERIOUX Y., FELDER R., DE BEAUVOIR B., NEZ F., BIRABEN F., JULIEN L., Absolute frequency measurement of a diode laser locked on a hyperfine component of $5S_{1/2}$ - $5D_{5/2}$ two-photon transitions of rubidium ($\lambda \approx 778.1$ nm, $\nu = 385.3$ THz), *SPIE Proc.*, 1995, **2378**, 147-155.

2.4.2 Conférences et exposés

L. Robertsson, J.-M. Chartier et L. F. Vitouchkine ont présenté un exposé devant la XXI^e Assemblée générale de l'UGGI, intitulé « New determination of the value of 'g' in the BIPM micronetwork using the FG-5 absolute gravimeter », voir *Abstracts*, p. B30.

L. F. Vitouchkine, T. M. Niebauer et A. L. Vitouchkine ont présenté un exposé devant la XXI^e Assemblée générale de l'UGGI, intitulé « Ballistic gradiometer for the measurement of the vertical gravity gradient: a proposal », voir *Abstracts*, p. B30.

L. F. Vitouchkine a présenté un exposé au NIST, intitulé « Investigations of laser microinterferometric diffractometry for measurement of the spacing of diffraction gratings in the range of 0,25 μm - 10 μm ».

J. Åman, J.-M. Chartier, H. Talvitie, L. R. Pendrill, A. Zarka et M. Hammersberg, ont présenté un exposé à TWICOLS'95 intitulé « External cavity diode laser around 633 nm: a possible future optical frequency standard ».

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

J.-M. Chartier s'est rendu :

— au CSIRO (Lindfield, Australie), du 7 au 21 juillet 1995, pour participer à une comparaison de lasers à He-Ne à $\lambda \approx 633$ nm ;

— à l'IRL-MSL (Lower Hutt, Nouvelle-Zélande), le 31 juillet 1995, pour visiter le laboratoire et discuter de leurs problèmes mutuels ;

— au SISIR (Singapour), les 7 et 8 août 1995, pour participer à une comparaison de lasers à He-Ne à $\lambda \approx 633$ nm.

L. Robertsson s'est rendu à Wabern (Suisse), les 17 et 18 octobre 1994, pour assister à une réunion d'EUROMET.

R. Felder a passé les deux tiers de l'année au BNM-LPTF, où il a poursuivi son travail sur la mise au point d'un laser de référence potentiel à $\lambda \approx 778$ nm.

R. Felder et S. Picard se sont rendus à Arcueil (France), le 10 janvier 1995, pour assister à une journée d'exposés sur les « Sources laser solides ».

S. Picard s'est rendue à Villetaneuse (France), le 13 décembre 1994, au Laboratoire de physique des lasers du BNM-INM pour parler des impuretés dans les cuves à iode.

A. Zarka s'est rendu à :

— Compiègne (France), du 6 au 17 février 1995, pour suivre un cours sur les ordinateurs et la science à l'Université technologique de Compiègne ;

— Borås (Suède), du 16 au 25 avril 1995, pour travailler au SP sur les lasers à diode asservis à $\lambda \approx 633$ nm.

L. F. Vitouchkine s'est rendu à :

— Gaithersburg (É.-U. d'Amérique), les 29 et 30 juin 1995, pour des discussions au NIST ;

— Boulder (É.-U. d'Amérique), les 14 et 15 juillet 1995, pour des discussions au JILA.

2.5 Visiteurs de la section des longueurs

2.5.1 Stagiaires

Mme M. Erin, M. A.N. Titov et M. B. Karaboce (UME-MRC, Gebze-Kocaeli, Turquie), ont séjourné au BIPM, du 14 au 22 novembre 1994, pour une comparaison de lasers à $\lambda \approx 633$ nm entre leur laboratoire et le BIPM.

M. J. Åman (Chalmers University of Technology, Göteborg, Suède), a séjourné au BIPM, du 5 octobre au 5 novembre 1994 et du 24 avril au 2 juin 1995, pour travailler sur des lasers à diode asservis sur l'iode à $\lambda \approx 633$ nm.

MM. W. R. C. Rowley (NPL, Teddington, Royaume-Uni), H. Darnedde (PTB, Braunschweig, Allemagne), F. Bertinotto et P. Cordiale (IMGC, Turin, Italie), Y. Millerieux (BNM-INM, Paris, France) ont séjourné au BIPM, du 20 au 24 mars 1995, pour une comparaison de lasers à $\lambda \approx 633$ nm entre leur laboratoire et le BIPM.

Mme M. Mar Pérez et MM. E. Prieto (CEM, Madrid, Espagne), H. Pirée (IGM, Bruxelles, Belgique), H. Haitjema (NMI-VSL, Delft, Pays-Bas), S. Wetzels (TUE, Eindhoven, Pays-Bas), ont séjourné au BIPM, du 27 au

31 mars 1995, pour une comparaison de lasers à $\lambda \approx 633$ nm entre leur laboratoire et le BIPM.

M. S. A. Pul'kin (VNIIM, Saint-Pétersbourg, Féd. de Russie) a séjourné au BIPM, du 3 avril au 11 mai 1995, pour participer à une comparaison de règles à traits de petite longueur.

M. L. R. Pendrill (SP, Borås, Suède) a séjourné au BIPM, du 15 au 17 mai 1995, pour travailler sur les lasers à diode à $\lambda \approx 633$ nm.

M. B. Vaucher (OFMET, Wabern, Suisse) a séjourné au BIPM, du 15 au 19 mai 1995, pour une comparaison de lasers à $\lambda \approx 633$ nm entre son laboratoire et le BIPM.

M. M. Viliesid (CENAM, Queretaro, Mexique), a séjourné au BIPM, du 29 mai au 9 juin 1995, pour s'initier aux techniques utilisées avec les lasers asservis et participer à l'étalonnage de fréquence d'un laser asservi par effet Zeeman appartenant à son laboratoire.

M. M. Winters (Winters Electro-Optics, Boulder, Colorado, É.-U. d'Amérique) a séjourné au BIPM, du 2 au 9 juin 1995, pour participer à une comparaison de lasers à $\lambda \approx 633$ nm entre des lasers construits par sa propre société et un laser de référence du BIPM.

Mme L. Abramova, MM. Y. Zakarenko et V. Fedorine (VNIIM, Saint-Pétersbourg, Féd. de Russie), Mme S. Kartalova et M. T. Blagev (CSM, Sofia, Bulgarie), M. G. Popescu (IFA/IFTAR, Bucarest, Roumanie) et M. H. Karlsson (NMS, Oslo, Norvège), ont séjourné au BIPM, du 18 au 29 septembre 1995, pour une comparaison de lasers à $\lambda \approx 633$ nm entre leur laboratoire et le BIPM.

2.5.2 Visiteurs

M. L. Czap (AIEA, Laboratoire de dosimétrie, Seibersdorf, Autriche), le 5 octobre 1994.

M. A. Onae (NRLM, Tsukuba, Japon), le 11 octobre 1994.

M. P. Connes (Service d'aéronomie, Verrières-le-Buisson, France), les 12, 18 et 19 octobre 1994.

M. A. Pereira Ribeiro (INMETRO, Rio de Janeiro, Brésil), le 11 octobre 1994.

M. Min Woongki (KRIS, Taejon, Rép. de Corée), le 18 octobre 1994.

MM. M. Van Ruymbeke et J.-M. Delinte (ORB, Bruxelles, Belgique), le 19 octobre 1994.

M. L. K. Issaev (GOSSTANDART, Moscou, Féd. de Russie), le 30 janvier 1995.

M. J. Tulasombut (DSS, Bangkok, Thaïlande), le 10 février 1995.

M. Y. Millerieux (BNM-INM, Paris, France), le 14 février 1995.

M. G. Moscati (Université de São Paulo, São Paulo, Brésil), les 5 et 10 mai 1995.

M. M. Gubin (Lebedev Institute, Moscou, Féd. de Russie), le 15 mai 1995.

M. S. Ueno (Technical Research Institute, Japan Society for the Promotion of Machine Industry, Japon), le 23 mai 1995.

M. J. L. Hall (JILA, Boulder, Colorado, É.-U. d'Amérique), le 31 mai 1995.

MM. G. Losfeld et S. Desvignes (ONERA, Meudon, France), les 3 et 26 juillet 1995.

M. M. Kesselberg (Université de Stockholm, Suède), le 3 août 1995.

M. Z. Heggedus (CSIRO, Lindfield, Australie), le 4 septembre 1995.

MM. Wu Changhua et Huang Bingying (NIM, Beijing, Rép. pop. de Chine), le 7 septembre 1995.

M. J. Y. Lepommelec (BNM-LCIE, Fontenay-aux-Roses, France), le 8 septembre 1995.

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

3.1 Introduction

La comparaison internationale d'étalons de 1 kg en acier inoxydable entreprise à l'initiative du CCM se poursuit; elle devrait s'achever en 1996. La construction de la nouvelle balance à suspensions flexibles est terminée et on procède actuellement à des essais de spécification. D'apparentes variations de masse ont été observées au cours d'une étude sur le comportement de l'étalon en platine iridié appartenant au BIPM et utilisé avec la balance Mettler HK 1000. Nous pensons maintenant que ces observations ne traduisent pas des variations de la masse mais des défauts dans le fonctionnement de l'échangeur de masses de la balance. En se servant de détecteurs commerciaux de capacité, nous avons construit un nouveau système pour mesurer les gradients d'humidité relative, système qui a été relié à un ordinateur personnel. Suite à la comparaison internationale de gravimètres absolus qui s'est déroulée au BIPM en 1994, de nouvelles mesures ont été faites à l'aide du gravimètre FG5 du BIPM; celles-ci apportent une contribution complémentaire à l'analyse des résultats de la comparaison.

3.2 Étalons en platine iridié et nouvelle étude de la balance HK 1000

Dans la suite des travaux de la troisième vérification périodique des prototypes nationaux du kilogramme, certains étalons de travail du BIPM ont été comparés entre eux en utilisant la balance Mettler HK 1000. On a trouvé que la masse des prototypes n^{os} 9 et 31, qui ont été très utilisés au cours de cette troisième vérification, paraissait augmenter, par rapport à celle de deux autres prototypes, n^{os} 42' et 650, d'environ 4 µg durant

une période de six semaines. Une étude approfondie de cette variation inattendue conduit à penser qu'il s'agit probablement du comportement de la balance et qu'il faut sans doute incriminer le mécanisme d'échange des masses. Il semble que l'on puisse faire des mesures correctes en supposant que chaque position sur l'échangeur de masses a sa propre petite correction de masse, qui peut atteindre 4 μg . On continue à travailler sur le problème en cherchant à identifier l'origine de ce comportement.

3.3 Étalons en acier inoxydable

Lors de la session qu'il a tenue en 1993 le CCM a demandé au BIPM d'effectuer une comparaison internationale d'étalons de 1 kg en acier inoxydable. Il a été prévu que des étalons de 1 kg seraient envoyés, par paire, aux laboratoires participants où ils seraient étalonnés en fonction des étalons de référence en acier inoxydable appartenant aux laboratoires ; ces derniers devaient avoir été étalonnés par rapport au prototype national en platine iridié. Le NMi (Pays-Bas), le SMU (Rép. slovaque) et le BIPM ont fourni des paires d'étalons voyageurs. Jusqu'ici, une paire est passée au NMi et au NPL (Royaume-Uni) puis est revenue au BIPM. Elle doit ensuite être envoyée successivement au VNIIM (Féd. de Russie), au BIPM, au SMU, à la PTB (Allemagne), à nouveau au BIPM et enfin au BNM-INM (France). La deuxième paire est passée au NIST (É.-U. d'Amérique) et au NRC (Canada). La suite du circuit l'enverra au NRLM (Japon), de retour au BIPM et ensuite au NIM (Rép. pop. de Chine), au CSIRO-NML (Australie) et à l'IMGC (Italie). Il est prévu que cette comparaison soit achevée à la fin de 1996. Dans le cadre de cette comparaison, les étalons de travail N2 et N3 du BIPM ont été comparés à des étalons en platine iridié et ensuite aux trois paires d'étalons en acier inoxydable qui devaient être utilisées pour la comparaison du CCM, et dont l'une est la paire J2 et J3 appartenant au BIPM.

Un étalonnage de masse et de masse volumique a été effectué sur un étalon de 1 kg en acier inoxydable, marqué 2, pour le CMS-ITRI (Hsinchu, Taiwan).

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

La construction de la nouvelle balance à suspensions flexibles, FB2, a été achevée au printemps de 1995 et depuis lors des essais de spécification sont en cours. Ces essais concernent l'ajustement du système d'asservissement du fléau, l'évaluation de la fiabilité de l'échangeur de masses, les mesures de la stabilité et de l'uniformité de la température à l'intérieur de la cage de la balance. Pour chacun de ces paramètres les critères de conception semblent avoir été remplis. La stabilité de la température à l'intérieur de la balance est meilleure que 1 mK durant 24 h et l'erreur de centrage des masses sur le plateau est d'environ 1 μm pour chacune des huit positions de pesage sur l'échangeur de masses. L'asservissement du fléau maintient la position du fléau par rapport à la

base à mieux que 10 nrad pendant les échanges de masses. Les pesées préliminaires d'une série de huit masses de 1 kg en acier inoxydable, fabriquées au BIPM spécialement pour cette balance, ont été d'une qualité comparable à celles qui avaient été obtenues avec le prototype de la balance à suspensions flexibles.

3.5 Mesure de l'humidité relative dans la cage de la balance

En se servant d'éléments à condensateur commerciaux, un système simple de transducteur d'humidité, avec une réponse rapide et une bonne sensibilité, a été construit pour être utilisé à l'intérieur d'une balance ou de l'enceinte d'une balance. Pour l'humidité relative, la sensibilité est d'environ 0,0002, et l'étalonnage se fait par rapport à un hygromètre à point de rosée et une série de solutions de sel saturées. On a fabriqué une série de quatre détecteurs de ce type et chacun est relié à un ordinateur personnel pour fonctionnement et enregistrement. Ces détecteurs sont utilisés en mode différentiel.

À l'aide de deux de ces détecteurs, une petite étude a été faite sur les variations d'humidité relative qui ont lieu à l'intérieur de la cage de la balance Mettler HK 1000. Après fermeture hermétique de l'enceinte extérieure contenant la balance dans sa propre cage, il faut environ une journée avant que l'humidité relative de l'air contenu dans la cage de la balance atteigne un équilibre avec l'air contenu dans l'enceinte extérieure. Au début on a observé qu'une différence de 0,02 ou 0,03 de l'humidité relative (différence délibérément grande) tombait lentement à 0,001. Une fois atteint un état stable, les sondes différentielles montrent que les températures du point de rosée sont les mêmes à l'intérieur et à l'extérieur de la cage de la balance. Toutefois, les mesures d'humidité relative ne sont pas les mêmes à cause des gradients de température. Il est à remarquer que les mesures de point de rosée à l'extérieur de la chambre de pesée sont étalonnées par rapport à un hygromètre à point de rosée à miroir refroidi, contigu.

Les deux conclusions importantes que l'on a tirées de ce travail sont : a) le dispositif fabriqué au BIPM peut être simple et petit parce que nous avons seulement besoin d'une grande précision dans un mode différentiel, et b) après une période initiale de dérive, les gradients d'humidité relative et de température atteignent un état stable où la température du point de rosée est constante dans toute l'enceinte étanche. Ce comportement n'est pas étonnant, mais il n'avait pas été vérifié antérieurement.

3.6 Anélasticité des pivots flexibles et des rubans de torsion (T. J. Quinn)

Depuis ce dont il a été rendu compte dans le rapport de 1994 aucune nouvelle expérience n'a été faite sur le cuivre-béryllium; en revanche, l'effort a été porté sur la recherche d'échantillons appropriés de monocristal

de silicium avec lesquels des expériences du même genre puissent être faites. À la lumière des résultats obtenus sur le cuivre-béryllium, on pense maintenant que les résultats des mesures des pertes anélastiques dans le silicium monocristallin obtenus en 1992 sont trop élevés. À l'époque on avait trouvé que les pertes étaient d'environ un dixième de celles du cuivre-béryllium. Nous pensons maintenant que les pertes intrinsèques dans un monocristal de silicium sont bien inférieures à cela. C'étaient probablement des pertes dans les supports et dans le pendule qui avaient été mesurées plutôt que les pertes intrinsèques dans le silicium.

3.7 Nouveaux prototypes et autres échantillons en platine iridié

Le nouveau lingot de platine iridié acheté en 1994 à la société Johnson-Matthey avec le NPL a été tronçonné. Quatre cylindres, chacun étant destiné à devenir un prototype de 1 kg, sont maintenant au BIPM et on a mesuré leur masse volumique. De plus, deux autres cylindres de 1 kg et une série de rondelles de plus faible masse appartenant au NPL se trouvent au BIPM pour être façonnés et donner des échantillons spéciaux. Ces échantillons seront utilisés au NPL pour des expériences de pesée dans le vide et d'étude de surface.

Un nouveau prototype, n° 78, a été livré au CMS-ITRI (Hsinchu, Taiwan). Ce prototype provient du précédent achat d'alliage à la société Johnson-Matthey ; il reste encore les n°s 79 et 80, qui ne sont pas encore attribués.

3.8 Gravimétrie (A. Sakuma, L. Robertsson, L. Vitouchkine)

En 1994, nous avons établi les trois stations absolues de gravimétrie (bases) dans la région montagneuse du Puy-de-Dôme, à environ 440 km au sud de Paris. Ces bases, appelées Puy-de-Dôme-A, Orcines-A et Clermont-Ferrand-A, présentent des différences d'accélération due à la pesanteur largement distribuées, $\Delta g \approx 2,19 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-2}$ ($\approx 219 \text{ mGal}$) ; comme elles se situent à l'intérieur d'une zone géographique restreinte et sont distantes entre elles de moins de 15 km, elles conviennent tout à fait pour l'étalonnage de gravimètres relatifs. Le premier essai d'étalonnage fait apparaître une importante amélioration de la précision. Nous avons l'intention de refaire des mesures absolues sur ces bases et d'étudier les éventuelles variations de g dues à l'activité volcanique.

Après la comparaison internationale de gravimètres absolus, qui s'est déroulée au BIPM aux mois de mai et juin 1994, le gravimètre FG5 du BIPM a été transporté tour à tour dans chacune des stations où des mesures avaient été faites. Le réseau ainsi obtenu fait apparaître des différences petites mais significatives par rapport aux résultats obtenus au cours de la comparaison internationale à l'aide de gravimètres relatifs. On recherche la cause de ces différences. Depuis le début de l'été 1994, des mesures sont faites régulièrement toutes les semaines à l'aide de FG5 au point

L₄ dans le bâtiment des lasers. Cela permet d'obtenir un ensemble de données intéressantes pour contrôler les variations de g et pour vérifier les modifications apportées au logiciel du gravimètre. Des études récentes, faites ailleurs, sur le système de détection des franges d'interférence dans le gravimètre FG5 ont montré qu'une petite erreur systématique, liée à l'amplitude des franges, a pu exister dans les instruments de type FG5 à l'époque de la comparaison internationale. L'éventualité de l'existence d'une erreur de ce type dans le FG5 du BIPM est en cours d'évaluation, mais les premières indications laissent à penser qu'elle n'existe pas.

3.9 Publications, conférences et voyages : section des masses

3.9.1 Publications extérieures

1. DAVIS R. S., Device to locate the centre of mass of a test object to within a precision of micrometres, *Meas. Sci. Technol.*, 1995, **6**, 227-229.
2. DAVIS R. S., Determining the magnetic properties of 1 kg mass standards, *J. Res. Nat. Inst. Stand. Technol.*, 1995, **100**, 209-225.
3. DAVIS R. S., Results of the 3rd Verification of the national prototypes of the kilogram, In *La Massa et la Sua Misura : Atti del Convegno Internazionale*, Modena, 15-17 September 1993, Bologna : CLUEB, 1995, 89-98.
4. QUINN T. J., PICARD A., The BIPM flexure-strip balance, In *La Massa e la Sua Misura : Atti del Convegno Internazionale*, Modena, 15-17 September 1993, Bologna : CLUEB, 1995, 109-118.
5. QUINN T. J., SPEAKE C. C., DAVIS R. S., TEW W., Stress-dependent damping in Cu-Be torsion and flexure suspensions up to 1.1 GPa, *Phys. Lett.*, 1995, **A197**, 197-208 (voir aussi Erratum, *Phys. Lett.*, 1995, **A198**, 474).
6. QUINN T. J., PICARD A., The BIPM flexure-strip balance, In *Basic Metrology and its Applications*, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Libreria Editrice Universitaria Levrotto & Bella, Turin, 1994, 18-28.
7. QUINN T. J., Traceability of mass standards among thirty nine member states of the Convention du Mètre, *Metrologia*, 1994, **31**, 337.

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

R. S. Davis s'est rendu à Copenhague (Danemark), du 24 au 27 janvier 1995, pour assister à une réunion d'EUROMET rassemblant au DFM des responsables dans le domaine des masses.

R. S. Davis a été détaché au NIST (Gaithersburg) de mai à octobre 1995.

D'août 1995 à juillet 1996 A. Picard séjourne au NIST (Gaithersburg) comme 'Guest Scientist' et travaille dans l'Electricity Division sur les

expériences visant à relier le kilogramme aux constantes physiques fondamentales.

3.10 Visiteurs de la section des masses

M. V. Tulasombut (DSS, Bangkok, Thaïlande), 9-10 février 1995.

M. M. Luty (NPL, Teddington, Royaume-Uni), 1^{er} mars 1995.

M. H. Chang, Mme H. C. Ma et M. B.-S. Harn (CMS-ITRI, Hsinchu, Taiwan), 24 mai 1995.

M. M. Kenny (CSIRO, Lindfield, Australie), 15 septembre 1995.

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. Les résultats définitifs de l'année 1994 sont disponibles depuis le 5 avril 1995 sous la forme de fichiers informatiques accessibles par le réseau Internet, dans le FTP anonyme de la section du temps du BIPM. Des volumes imprimés du *Rapport annuel de la section du temps du BIPM* pour 1994 (volume 7) ont été distribués au début du mois de mai 1995.

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

Dans le domaine de recherche concernant les algorithmes d'échelles de temps, l'activité de la section du temps a été largement dominée par divers travaux préparatoires à la réunion du Groupe de travail du CCDS sur le TAI, qui s'est tenue au BIPM les 13 et 14 mars 1995. Cela comprend des études dont le but est d'améliorer la stabilité à long terme de l'EAL et de définir une stratégie saine de pilotage de fréquence.

4.2.1 Algorithme de stabilité

La large utilisation des comparaisons de temps par le GPS et le remplacement extensif des anciennes horloges commerciales par les nouvelles HP 5071A ont contribué, depuis la fin de 1992, à l'évolution rapide de la qualité des données temporelles collectées par le BIPM. En conséquence, la stabilité de l'échelle atomique libre EAL, première étape du calcul du TAI, s'est améliorée de manière significative. Elle a été estimée en appliquant la technique du chapeau à N pointes aux données de comparaisons entre l'EAL et les meilleures échelles de temps

indépendantes du monde collectées en 1993 et 1994 (établies au NIST, au VNIIFTRI, à l'USNO, à la PTB et au BNM-LPTF). Les valeurs suivantes de l'écart-type d'Allan relatif $\sigma_y(\tau)$ [1] ont été obtenues :

$$\sigma_y(\tau = 10 \text{ jours}) = 4,1 \times 10^{-15},$$

$$\sigma_y(\tau = 20 \text{ jours}) = 3,4 \times 10^{-15},$$

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

$$\sigma_y(\tau = 80 \text{ jours}) = 4,1 \times 10^{-15}.$$

Il se peut que l'algorithme de stabilité qui produit l'EAL ait besoin d'être revu afin d'améliorer encore ces résultats. Nous avons donc expérimenté divers changements sur les données réelles d'horloges rassemblées au BIPM. Ces études concernent principalement l'utilisation des masers à hydrogène, une modification de la limite supérieure des poids et le raccourcissement de la période de calcul du TAI.

Il a été montré que l'introduction des données de masers à hydrogène dans le calcul de l'EAL n'a pas dégradé sa stabilité à long terme pour la période 1988-1994, bien que l'on n'ait tenu aucun compte de leur dérive de fréquence [2]. Pour des moyennes calculées sur des durées voisines de la période de calcul de l'EAL (60 jours), la variation de la fréquence des masers par rapport à l'EAL n'était dominée par un effet de dérive important que pour l'un d'entre eux qui, en conséquence, a reçu un poids très faible. Cependant, la stabilité de l'EAL s'améliore et la dérive de fréquence de certains masers à hydrogène pourrait devenir significative par rapport au bruit intrinsèque de l'EAL, sans pour autant entraîner une diminution de leur poids. Dans ce cas, il serait nécessaire d'utiliser des modes de pondération et de prédiction de fréquence spécifiques aux masers à hydrogène, fondés sur des estimations de leur dérive. Le Groupe de travail du CCDS sur le TAI n'a pas pris de décision à ce sujet et l'on continue les essais. On sait déjà que de longues périodes d'observation, un an ou plus, sont nécessaires pour obtenir de bonnes estimations de dérives de fréquence.

La réduction du bruit des comparaisons d'horloges et les caractéristiques de stabilité des horloges HP 5071A peuvent permettre de raccourcir la période de calcul de l'EAL. Cependant, le calcul de la moyenne des données sur des périodes de 30 jours, plutôt que de 60 jours, n'améliore la stabilité à long terme de l'EAL que si cette mesure est couplée à une augmentation de la limite supérieure des poids [17, 18]. Selon une décision du Groupe de travail du CCDS sur le TAI, le poids maximal d'une horloge dans l'EAL est passé de la valeur 1000 à la valeur 2500 [19], décision prenant effet à partir du calcul couvrant la période des deux mois de mai et juin 1995. La période de calcul sera probablement réduite à 30 jours au début de 1996, une fois que tous les laboratoires participants seront en mesure de fournir régulièrement au BIPM des données prises tous les

5 jours (pour les dates MJD se terminant par 9 et par 4), plutôt que tous les 10 jours (dates MJD se terminant par 9) comme c'est actuellement le cas.

De plus, conformément aux avis exprimés par le groupe de travail, nous avons entrepris des études pour évaluer les avantages qu'apporterait l'utilisation d'une limite supérieure des poids relatifs plutôt que des poids absolus. Il s'avère qu'une limite supérieure de 1,4 % pour la contribution de n'importe laquelle des horloges individuelles aurait aidé à améliorer la stabilité de l'EAL pour toutes les durées d'intégration pendant la période 1993-1994. La mise en oeuvre d'un tel critère conduit à une discrimination très sévère parmi les horloges HP 5071A et les horloges primaires qui ne sont pas toutes assez stables pour atteindre la limite supérieure. On remarque aussi que les laboratoires qui ne produisent pas des données du GPS de toute première qualité voient leur poids diminué.

Certaines autres décisions du groupe de travail ont été mises en oeuvre immédiatement après la réunion :

- Toutes les différences temporelles publiées dans *Circular T* sont données à ± 1 ns près.
- Les corrections de pilotage de fréquence sont publiées à l'avance, afin de faciliter le pilotage des échelles de temps locales.
- Les données d'horloges correspondant au mois n sont exigibles, présentées dans un fichier au format spécifié, le 5 du mois ($n + 1$). Il s'en est suivi que la circulaire T88 attendue pour le 29 mai 1995 a été en fait publiée dès le 18 mai.

4.2.2 Stratégie de pilotage

La question de l'application de nouvelles corrections de pilotage a aussi été discutée durant la réunion du Groupe de travail du CCDS sur le TAI [20]. Ces corrections doivent permettre de maintenir l'unité d'échelle du TAI aussi proche que possible de la seconde du SI sur le géoïde en rotation. Pendant un grand nombre d'années, l'exactitude du TAI a été fondée sur les résultats des étalons primaires de fréquence PTB-CS1 et PTB-CS2. La situation est maintenant radicalement changée :

- Depuis la seconde moitié de l'année 1994, le BIPM reçoit régulièrement des données provenant d'évaluations de l'étalon primaire à pompage optique NIST-7 mis au point au NIST (Boulder, Colorado, É.-U. d'Amérique). Ces évaluations donnent un niveau d'exactitude, caractérisé par une incertitude de 1×10^{-14} (1σ), jamais encore obtenu. Ces résultats sont corrigés pour le décalage relatif de fréquence dû au rayonnement du corps noir, estimé à $-1,7 \times 10^{-14}$ quand l'atome de césium est à une température de 300 K. Dans le passé, les laboratoires qui rapportent des données d'étalons primaires de fréquence n'appliquaient pas cette correction de manière uniforme : en particulier, les résultats fournis par PTB-CS1 et CS2 n'ont jamais été corrigés.

— De plus, depuis juillet 1995, PTB-CS1 a cessé de fonctionner et le BIPM a reçu une valeur estimée de la correction à appliquer aux résultats de PTB-CS2 pour compenser l'effet du rayonnement du corps noir.

Il s'ensuit que, depuis juillet 1995, nous appliquons cette correction aux données de PTB-CS2 et nous évaluons la durée de l'intervalle unitaire du TAI à partir des résultats, corrigés de manière cohérente, des deux seuls étalons primaires PTB-CS2 et NIST-7. Cette façon de procéder est en accord avec les décisions du Groupe de travail du CCDS sur le TAI qui a recommandé au CCDS l'application uniforme de corrections visant à compenser le décalage de fréquence dû au rayonnement du corps noir. Le CCDS sera invité à prendre une décision définitive à ce sujet lors de sa réunion de mars 1996.

Ce nouveau mode de calcul conduit à un décalage entre l'intervalle unitaire du TAI et la seconde du SI estimé à 2×10^{-14} s, avec une incertitude relative de $0,7 \times 10^{-14}$, pour la période des deux mois de juillet et août 1995. Un processus de compensation pour cet effet a été amorcé immédiatement : il s'agit de cumuler des corrections de pilotage de fréquence, chacune d'amplitude relative 1×10^{-15} , appliquées à des dates distantes de 60 jours. Cette façon de faire ne devrait pas menacer la stabilité à long terme de l'échelle de temps.

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

Depuis le début de l'année 1995, la technique des vues simultanées des satellites du GPS est la seule méthode de comparaison d'horloges utilisée pour le calcul du TAI. Cependant, la section du temps du BIPM est intéressée par toute autre méthode ayant une exactitude potentielle de l'ordre de la nanoseconde, en particulier les vues simultanées des satellites du GLONASS et les comparaisons horaires par aller et retour sur des satellites géostationnaires [3].

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° 24 a été implanté dans les récepteurs du temps du GPS le 16 décembre 1994 et le programme n° 25 le 28 juin 1995. La collecte et le traitement des données brutes du GPS sont effectués régulièrement selon des procédés maintenant bien connus. Le BIPM utilise un réseau international de liaisons par le GPS qui est constitué de deux liens à longue distance, entre le NIST et l'OP et entre le CRL et l'OP, complétés par des réseaux locaux en étoile à l'échelle des continents. Pour les comparaisons à longue distance, les données sont corrigées à l'aide des mesures ionosphériques prises sur place et des éphémérides précises des satellites produites après coup.

L'utilisation exclusive de vues simultanées strictes permet d'annuler les effets provenant de la dégradation appliquée aux signaux du GPS pour en assurer l'accès sélectif.

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

Une part importante de nos activités courantes consiste en la vérification des retards internes différentiels entre les récepteurs du temps du GPS fonctionnant de manière régulière dans les laboratoires qui participent au TAI, ou, sur demande spéciale, dans d'autres laboratoires. Cinq campagnes d'étalonnage différentiel de récepteurs ont été réalisées depuis l'automne 1994 :

— une tournée en Europe, partant de l'OP (Paris, France) et se terminant dans ce même laboratoire après visite de l'OCA (Grasse, France), du NPL (Teddington, Royaume-Uni), du NMi-VSL (Delft, Pays-Bas), de la PTB (Braunschweig, Allemagne), du FTZ (Darmstadt, Allemagne) et du TUG (Graz, Autriche) [22];

— entre l'OP et l'IEN (Turin, Italie) [23];

— entre l'OP et le NMi-VSL (Delft, Pays-Bas) [24];

— entre l'OP et l'USNO (Washington DC, É.-U. d'Amérique) [25, 26];

— entre l'OP, l'AOS (Borowiec, Pologne) et le GUM (Varsovie, Pologne) [27, 28].

Nous continuons à tester la condition de fermeture en combinant trois liaisons horaires, OP-NIST, NIST-CRL et CRL-OP, corrigées par l'utilisation de retards ionosphériques mesurés aux trois sites et d'éphémérides précises des satellites du GPS. L'écart à la fermeture présente encore, pour des moyennes journalières, une erreur de quelques nanosecondes, que l'on peut déterminer avec une précision meilleure qu'une nanoseconde. Avec le temps, les éphémérides précises des satellites s'améliorent, 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 les mesures ionosphériques. Nous travaillons à l'évaluation de ces erreurs.

Il se peut que des comparaisons d'horloges par le GPS puissent être réalisées avec une incertitude meilleure que la nanoseconde, en utilisant des mesures de phase sur deux fréquences. Le récepteur Allen Osborne Associates TTR-4P qui est en fonctionnement au BIPM délivre ce genre de données. Nous cherchons maintenant à établir des contacts avec d'autres laboratoires équipés de récepteurs similaires afin d'amorcer un travail expérimental sur ce sujet.

La mise en œuvre des directives techniques pour l'unification des logiciels utilisés par les récepteurs du temps du GPS et du nouveau format de données, conçus en 1993, devrait avoir lieu avant la fin de 1995 [4]. Cela devrait permettre de réaliser des comparaisons d'horloges par le GPS avec un niveau d'exactitude de l'ordre de la nanoseconde. Dans le cadre du Groupe de travail sur la normalisation des comparaisons d'horloges utilisant le GPS (GGTTS), le BIPM est impliqué dans la normalisation du matériel de réception afin de réduire, en particulier, la variation avec la température observée pour certains types de récepteurs actuellement en fonctionnement.

L'estimation du retard troposphérique, habituellement réalisée à partir d'un modèle empirique, constitue une autre de nos préoccupations. Nous essayons actuellement un modèle semi-empirique qui utilise des mesures climatiques effectuées sur place. Des comparaisons d'horloges par vues simultanées du GPS ont été étudiées en appliquant deux modèles : l'un correspond à une courte distance, voisine de 700 km, et l'autre à trois longues distances de 6400 km, 9000 km et 9600 km. Cette étude montre que les résultats de comparaisons d'horloges à l'intérieur d'une région de même climat sont décalés tout au plus de quelques centaines de picosecondes lorsqu'on utilise le modèle semi-empirique. En revanche, pour les longues distances, on obtient des différences allant jusqu'à plusieurs nanosecondes [5].

4.3.2 Global Navigation Satellite System (GLONASS)

Des valeurs de [*UTC – temps du GLONASS*] sont publiées régulièrement dans la circulaire *T* du BIPM; elles proviennent des observations des satellites du GLONASS, réalisées par le professeur P. Daly de l'Université de Leeds, Royaume-Uni.

Des comparaisons d'horloges par vue simultanée des satellites du GLONASS sont réalisées depuis la fin juin 1995 entre la Californie, la côte est des États-Unis et le BIPM. Pour cette expérience, le BIPM est équipé d'un récepteur prêté par la compagnie 3S Navigation. Le logiciel implanté dans ce récepteur conçu spécifiquement pour des observations automatiques par vue simultanée des satellites du GLONASS, est le premier de ce type et le BIPM a beaucoup contribué à son développement : en particulier, les résultats de mesures sont organisés selon le nouveau format de données normalisé défini par le GGTTS pour le GPS. Des résultats préliminaires indiquent que les comparaisons horaires utilisant le GLONASS présentent des performances équivalentes, en précision, à celles obtenues avec le GPS. Nous avons maintenant en commande un récepteur bi-fréquence du temps du GLONASS qui nous permettra de continuer cette expérience avec un niveau d'exactitude accru. De plus, le premier programme officiel de vues simultanées des satellites du GLONASS sera publié par le BIPM à la fin de 1995.

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 quatrième fois à Grasse (France), les 26 et 27 octobre 1994. De plus, une réunion plus technique des représentants des stations actives a eu lieu le 23 juin 1995 au NMI-VSL. Lors de ces réunions, l'on a discuté de l'expérience dite « *field-trial* », de l'utilisation d'un satellite d'INTELSAT en 1996, des résultats de la campagne d'étalonnage des stations de 1994 et de la disponibilité des modems.

Le *field-trial* est une expérience de comparaison internationale d'horloges par aller et retour sur le satellite INTELSAT V-A(F13) à 307°E, impliquant à la fois des laboratoires européens et nord-américains. Cette expérience a débuté en janvier 1994, pour une durée initialement prévue de un an. Des sessions de comparaisons d'horloges ont eu lieu régulièrement trois fois par semaine, les lundis, mercredis et vendredis. Le *field-trial* fut un succès de première importance en ce qui concerne la mise en oeuvre permanente d'un réseau international de huit stations. Cependant, on n'a pas encore pu obtenir un niveau d'exactitude meilleur que la nanoseconde et l'expérience est prolongée pour une nouvelle année.

Pendant l'automne de 1994, les stations terrestres impliquées dans le *field-trial* ont été étalonnées à l'aide d'une station portable. En même temps, le BIPM a prêté un récepteur du temps du GPS portable afin de réaliser l'étalonnage différentiel des équipements de réception du temps du GPS en fonctionnement dans ces laboratoires. Ces campagnes d'étalonnage devraient permettre de vérifier des estimations faites antérieurement de l'exactitude de la technique par aller et retour [6].

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

Le développement de la théorie de la relativité appliquée aux comparaisons d'horloges situées dans le voisinage de la Terre est terminé [7, 8, 9]. Des expressions analytiques décrivant la syntonisation d'une horloge par rapport au Temps coordonné géocentrique (TCG) ont été obtenues à un niveau d'exactitude de l'ordre de 2×10^{-17} pour des horloges à la surface de la Terre, et de l'ordre de 1×10^{-18} pour des horloges embarquées à bord de satellites terrestres. La syntonisation par rapport au temps terrestre (TT) est limitée à une exactitude de 1×10^{-17} à cause d'incertitudes dans la détermination du potentiel sur le géoïde. Seuls les phénomènes variant dans le temps interviennent dans la stabilité comparée de deux horloges : on a obtenu des expressions pour calculer les corrections correspondantes à un niveau d'exactitude de 10^{-18} , même pour des horloges situées à la surface de la Terre.

Les résultats de ce travail, joints à ceux qui ont été obtenus l'an dernier sur la synchronisation d'horloges, permettent d'établir un cadre relativiste complet pour la réalisation du TCG avec un niveau de stabilité de 10^{-18} et une exactitude de datation d'un événement au niveau de 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.

Les membres de la section du temps ont contribué à la réalisation du projet de rapport du Groupe de travail du CCDS sur l'application de la relativité générale à la métrologie, dont B. Guinot est le président et poursuivent des recherches sur certains des sujets abordés dans ce rapport.

Une expérience spatiale pour tester la validité de la relativité restreinte [10, 11] a été proposée dans le cadre du projet EXTRAS (Experiment on Timing, Ranging and Atmospheric Sounding) sur lequel nous avons travaillé l'an dernier [12]. Bien que l'Agence spatiale européenne n'ait pas approuvé le financement de ce projet, des travaux de recherche continuent dans le but de réaliser le même test dans d'autres conditions.

4.5 Pulsars (G. Petit)

Les pulsars-milliseconde peuvent, en principe, être considérés comme des horloges stables, dont on peut traiter les données par un algorithme optimisé pour la stabilité. Nous avons travaillé à comprendre comment une telle échelle de temps des pulsars peut être réalisée et quel intérêt elle pourrait avoir du point de vue du temps atomique. Un point paraît important : une échelle de temps des pulsars pourrait permettre de transférer d'une époque à une autre l'exactitude du temps atomique. Cela apporterait une solution à certains problèmes posés par les pannes éventuelles des étalons atomiques.

Une collaboration est engagée avec différents groupes de radioastronomes impliqués dans les observations de pulsars, afin d'obtenir des données réelles. La section du temps leur a fourni, en avril 1995, la dernière version de sa réalisation en temps différé du temps terrestre, TT(BIPM95) et leur a occasionnellement apporté une aide. Cette collaboration va se poursuivre dans le cadre du Groupe de travail sur le chronométrage des pulsars de la Commission 31 (Temps) de l'UAI, dont G. Petit est le président.

Des études concernant une nouvelle technique qui pourrait être utilisée dans les observatoires radioastronomiques pour obtenir plus de données relatives aux pulsars sont actuellement réalisées en collaboration avec le Centre national d'études spatiales (CNES, Toulouse, France) et avec l'Observatoire de Paris (Meudon, France) [13, 14]. La perspective d'utiliser cette technique pour découvrir de nouveaux pulsars est aussi à l'étude.

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

La radio-interférométrie à très longue base (VLBI) est l'une des techniques les plus précises pour réaliser des systèmes de référence en géodésie et en astrométrie. C'est aussi l'une des techniques les plus exigeantes en matière de stabilité des horloges atomiques pour des moyennes sur des durées allant de 1 minute à 1 jour. Nous suivons de très près ce qui se fait dans ce domaine grâce à plusieurs collaborations avec l'Observatoire de Paris et le CNES, en particulier nous participons à des observations de pulsars-milliseconde par la technique du VLBI [13].

4.7 Publications, conférences et voyages : section du temps

4.7.1 Publications extérieures

1. THOMAS C., Time Activities at the BIPM, *Proc. 26th PTTI*, 1994, 111-122.
2. AZOUBIB J., THOMAS C., The Use of Hydrogen Masers in TAI Computation, *Proc. 9th EFTF*, 1995, 283-287.
3. PETIT G., THOMAS C., Current achievements in time transfer, In *Highlights of Astronomy*, Kluwer Acad. Pub., Appenzeller I. (ed.), 1995, **10**, 286-287.
4. WEISS M. A., THOMAS C., Implementation of a Standard Format for GPS Common View Data, *Proc. 26th PTTI*, 1994, 75-88.
5. LEWANDOWSKI W., KLEPCZYNSKI W. J., MIRANIAN M., GRUDLER P., BAUMONT F., IMAE M., Study of Tropospheric Correction for Intercontinental GPS Common View Time Transfer, *Proc. 26th PTTI*, 1994, 319-332.
6. KLEPCZYNSKI W. J., DAVIS J. A., KIRCHNER D., RESSLER H., DE JONG G., BAUMONT F., HETZEL P., SOERING A., HACKMAN C., GRANVEAUD M., LEWANDOWSKI W., Some Preliminary Results of the FAST Calibration Trip During the INTELSAT Field-Trial, *Proc. 26th PTTI*, 1994, 89-94.
7. WOLF P., PETIT G., Relativistic Theory for Syntonization of Clocks in the Vicinity of the Earth, *Proc. 26th PTTI*, 1994, 381-392.
8. WOLF P., PETIT G., Relativistic Theory for the Realization of Coordinate Time Scales and the Syntonization of Clocks in the Vicinity of the Earth, *Proc. 9th EFTF*, 1995, 323-326.
9. WOLF P., PETIT G., Relativistic Theory for Clock Syntonization and the Realization of Geocentric Coordinate Times, *Astron. Astrophys.*, 1995, **304**, 653-661.
10. WOLF P., Satellite Test of the Isotropy of the One-Way Speed of Light Using EXTRAS, *Proc. 26th PTTI*, 1994, 455-464.
11. WOLF P., Proposed Satellite Test of Special Relativity, *Phys. Rev. A.*, 1995, **51**, 5016-5018.

12. THOMAS C., WOLF P., UHRICH P., SCHAEFER W., NAU H., VEILLET C., Anticipated Uncertainty Budgets of Praretime and T2L2 Techniques as Applied to ExTRAS, *Proc. 26th PTTI*, 1994, 127-140.
13. PETIT G., Observations VLBI des pulsars millisecondes pour le raccordement des systèmes de référence célestes et la stabilité des échelles de temps, *Thèse de doctorat*, Observatoire de Paris, 1994, 138 p.
14. PETIT G., FAYARD T., LESTRADE J.-F., High precision timing of the millisecond pulsar 1937+21 by autocorrelation of VLBI data, *Astron. Astrophys.*, 1995, **303**, L17-L20.
15. PETIT G., BIPM analysis of millisecond pulsar data, In *Highlights of Astronomy*, Kluwer Acad. Pub., Appenzeller I. (ed.), 1995, **10**, 278-279.

4.7.2 Rapports BIPM

16. THOMAS C., WOLF P., TAVELLA P., Time scales, *Monographie BIPM-94/1*, 1994, 52 p.
17. AZOUBIB J., THOMAS C., Shortening of the definitive computation time of TAI, *Report to the CCDS working group on TAI*, GT-TAI/95-7, 1995, 28 p.
18. THOMAS C., AZOUBIB J., A modified version of the TAI algorithm under test, *Report to the CCDS working group on TAI*, GT-TAI/95-9, 1995, 15 p.
19. AZOUBIB J., THOMAS C., The upper limit of weight for clocks contributing to TAI, *Report to the CCDS working group on TAI*, GT-TAI/95-8, 1995, 26 p.
20. PETIT G., Test of different strategies in the steering of EAL, *Report to the CCDS working group on TAI*, GT-TAI/95-6, 1995, 9 p.
21. THOMAS C., Pre-filtering of timing data, *Report to the CCDS working group on TAI*, GT-TAI/95-4, 1995, 2 p.
22. LEWANDOWSKI W., BAUMONT F., Determination of differential time corrections between GPS time equipment located at the Observatoire de Paris, Paris, France, the Observatoire de la Côte d'Azur, Grasse, France, the National Physical Laboratory, Teddington, United Kingdom, the Van Swinden Laboratorium, Delft, the Netherlands, the Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Germany, the Forschungs- und Technologiezentrum, Darmstadt, Germany and the Technical University, Graz, Austria, *Rapport BIPM-94/12*, 1995, 11 p.
23. LEWANDOWSKI W., MOUSSAY P., Determination of differential time correction between GPS time equipment located at the Observatoire de Paris, Paris, France, and the Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin, Italy, *Rapport BIPM-95/7*, 1995, 10 p.
24. LEWANDOWSKI W., Determination of differential time correction between GPS time equipment located at the Observatoire de Paris, Paris, France,

and the Van Swinden Laboratorium, Delft, the Netherlands, *Rapport BIPM-95/8*, 1995, 10 p.

25. LEWANDOWSKI W., Determination of differential time correction between GPS time equipment located at the Observatoire de Paris, Paris, France, and the United States Naval Observatory, Washington DC, USA, *Rapport BIPM-94/11*, 1994, 14 p.
26. LEWANDOWSKI W., Determination of differential time correction between GPS time equipment located at the Observatoire de Paris, Paris, France, and the United States Naval Observatory, Washington DC, USA, *Rapport BIPM-95/10*, 1995, 12 p.
27. LEWANDOWSKI W., Determination of differential time correction between GPS time equipment located at the Observatoire de Paris, Paris, France, and the Central Office of Measures, Warsaw, Poland, *Rapport BIPM-95/11*, 1995, 11 p.
28. LEWANDOWSKI W., Determination of differential time correction between GPS time equipment located at the Observatoire de Paris, Paris, France, and the Astronomical Latitude Observatory, Borowiec, Poland, *Rapport BIPM-95/12*, 1995, 11 p.

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 19 et 20 septembre 1994, à Falls Church (Virginie, É.-U. d'Amérique), les 2 et 3 mars 1995, et à Palm Springs (Californie, É.-U. d'Amérique), les 11 et 12 septembre 1995. Il y a présenté des résultats d'études récentes sur les comparaisons d'horloges par le GPS, le GLONASS et la méthode par aller et retour. Il a aussi donné des exposés sur le temps à l'AOS à Borowiec (Pologne), le 7 avril 1995, et au Centre de recherches spatiales de Varsovie (Pologne), le 21 avril 1995.

G. Petit a soutenu sa thèse de doctorat à l'Observatoire de Paris, le 14 décembre 1994, et a présenté un rapport sur les activités de la section du temps du BIPM lors de la XXI^e Assemblée générale de l'UGGI à Boulder (Colorado, É.-U. d'Amérique).

C. Thomas a fait une présentation sur l'utilisation des données d'étalons primaires pour le calcul du TAI au NIST à Boulder (Colorado, É.-U. d'Amérique), le 30 novembre 1994, et une présentation sur les activités du BIPM dans le domaine du temps à l'USNO (Washington DC, É.-U. d'Amérique), le 9 décembre 1994.

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

J. Azoubib s'est rendu à Besançon (France), du 8 au 10 mars 1995, pour assister au 9^e Forum européen fréquence et temps.

W. Lewandowski s'est rendu à :

— Salt Lake City (Utah, É.-U. d'Amérique), du 20 au 23 septembre 1994, pour assister à la 7^e International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GPS-94);

— Grasse (France), les 26 et 27 octobre 1994, pour participer à la réunion du Groupe de travail du CCDS sur les comparaisons horaires par aller et retour sur satellite;

— Reston (Virginie, É.-U. d'Amérique), du 5 au 8 décembre 1994, pour assister à la 26^e réunion du PTTI;

— Washington DC (É.-U. d'Amérique), les 1^{er} et 6 mars, pour un étalonnage de l'équipement du GPS à l'USNO;

— Borowiec (Pologne), du 5 au 7 mars et le 18 mars 1995, pour un étalonnage de l'équipement du GPS à l'AOS;

— Varsovie (Pologne), du 18 au 24 avril 1995, pour un étalonnage de l'équipement du GPS au GUM;

— Delft (Pays-Bas), le 23 juin 1995, pour assister à une réunion des représentants des stations qui participent au Groupe de travail du CCDS sur les comparaisons d'horloges par aller et retour;

— Palm Springs (Californie, É.-U. d'Amérique), du 13 au 15 septembre 1995, pour assister à la 8^e International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GPS-95). Il y a présenté avec J. Danaher, A. Balendra et W.J. Klepczynski une conférence intitulée « GLONASS Intercontinental Time Transfer: Calibration and Initial Results ».

G. Petit s'est rendu à :

— Paris (France), le 25 novembre 1994, pour participer au Conseil scientifique du Groupe de recherche de géodésie spatiale (GRGS);

— Besançon (France), du 8 au 10 mars 1995 pour assister au 9^e Forum européen fréquence et temps;

— Toulouse (France), du 4 au 6 avril 1995 et les 28 et 29 juin 1995, pour encadrer le travail d'une étudiante au CNES;

— Boulder (Colorado, É.-U. d'Amérique), du 9 au 17 juillet, pour assister à la XXI^e Assemblée générale de l'UGGI et pour discuter avec des collègues du NIST.

C. Thomas s'est rendue à :

— Turin (Italie), les 5 et 6 octobre 1994, pour discuter avec des collègues de l'IEN et avec le professeur de Marchi du Politecnico de Turin;

— Grasse (France), les 26 et 27 octobre 1994, pour présider la deuxième réunion du Groupe de travail du CCDS sur les comparaisons horaires par aller et retour sur satellite et visiter le laboratoire de temps de l'OCA;

— Boulder (Colorado, É.-U. d'Amérique), les 29 et 30 novembre 1994, pour visiter la Division temps et fréquence du NIST et pour participer à une réunion informelle avec nos collègues du NIST sur l'utilisation des données d'étalons primaires de fréquence dans le calcul du TAI;

— Washington DC (É.-U. d'Amérique), les 2, 5 et 9 décembre 1994, pour visiter le Département du temps à l'USNO et pour discuter de modifications possibles de l'algorithme du TAI;

— Reston (Virginie, É.-U. d'Amérique), du 6 au 8 décembre 1994, pour assister à la 26^e réunion du PTTI.

P. Wolf s'est rendu :

— Londres (Royaume-Uni), du 10 au 14 octobre 1994, pour travailler avec le professeur I.W. Roxburgh et M. A.G. Polnarev au Queen Mary and Westfield College;

— Reston (Virginie, É.-U. d'Amérique), du 5 au 8 décembre 1994, pour assister à la 26^e réunion du PTTI.

4.8 Activités en liaison avec des organismes extérieurs

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

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

M. K. Mordzinski (GUM, Varsovie, Pologne), 11 octobre 1994.

M. R. Gamidov et M. I. Taskin (UME-MRC, Gebze-Kocaeli, Turquie), 15 novembre 1994.

M. B. Simeone (CNAM, Paris, France), 6 janvier 1995.

M. M. Granveaud (BNM-LPTF, Paris, France), 25 janvier 1995.

M. S.R. Stein (Timing Solutions Corporation, Boulder, Colorado, É.-U. d'Amérique), 15 mars 1995.

M. A. Bauch (PTB, Braunschweig, Allemagne), 15 mars 1995.

M. R. Douglas (NRC, Ottawa, Canada), 15 mars 1995.

M. N. Koshelyaevski, M. S. Pushkin et M. V. Koutcherov (VNIIFTRI, Moscou, Féd. de Russie), 16 mars 1995.

M. G. Moscati (Université de São Paulo, São Paulo, Brésil), 11 mai 1995.

M. H. Nilsson (SP, Borås, Suède), 15 juin 1995.

M. G. Lin Heng-dao et M. Chiu Wu-jhy (TL, Taïwan), 16 juin 1995.

M. W.J. Klepczynski (USNO, Washington DC, É.-U. d'Amérique), 21 juin 1995.

M. A. Jakab (OMH, Budapest, Hongrie), 26 juin 1995.

5. Électricité (T. J. Witt)

5.1 Résumé des travaux de la section d'électricité

Parmi les points marquants des activités de l'année 1994-1995 il faut citer trois comparaisons d'étalons de tension de 1 V fondés sur l'effet Josephson, comparaisons réalisées en utilisant notre appareil transportable. Ces comparaisons se sont déroulées au KRISS (Rép. de Corée), au MSL (Nouvelle-Zélande) et au CSIRO-NML (Australie). Les résultats font apparaître des différences relatives inférieures à 3×10^{-10} entre les étalons de chaque laboratoire et celui du BIPM, avec une incertitude-type composée totale inférieure à 3×10^{-10} en valeur relative. Au mois de novembre 1994 nous avons emporté notre étalon de résistance à effet Hall quantique, appareillage transportable comprenant le cryostat, l'aimant et le pont de mesure de résistance, à l'OFMET (Suisse) et nous avons effectué la deuxième comparaison sur place d'étalons à effet Hall quantique. Les résultats donnent un accord relatif à quelques 10^{-9} près entre les mesures faites avec les deux systèmes, avec une incertitude-type totale composée d'à peu près la même valeur. Les deux appareils transportables, à tension de Josephson et à résistance de Hall quantifiée, permettent d'assurer la traçabilité entre laboratoires avec des exactitudes qui sont meilleures, d'un ordre de grandeur ou même davantage, que celles que l'on obtient avec des étalons voyageurs traditionnels.

De nouveaux progrès ont été faits dans la mesure de la résistance de Hall quantifiée en courant alternatif à 1600 Hz. Nous avons effectué des comparaisons précises des plateaux de résistance pour $i = 2$ et $i = 4$ et nous avons trouvé une quantification exacte à cette fréquence mais il subsiste quelques imperfections résiduelles au niveau de 1×10^{-7} en valeur relative.

Notre programme de comparaisons bilatérales des étalons électriques fondamentaux continue de susciter de l'intérêt et, cette année, trois comparaisons sont en cours.

5.2 Potentiel électrique

5.2.1 Effet Josephson (D. Reymann)

Cette année nous avons automatisé l'acquisition de données pour les mesures de nos piles étalons de référence en fonction de l'étalon de tension utilisant le réseau de jonctions de Josephson. Un voltmètre numérique est monté en parallèle avec un enregistreur à la sortie du détecteur de zéro, et un ordinateur est utilisé pour l'acquisition des données et le calcul des résultats. On a observé de petites variations du signal du détecteur lorsque l'ordinateur enregistre les lectures du voltmètre numérique. On peut éliminer cet effet en plaçant le voltmètre numérique et l'ordinateur à quelques mètres des autres instruments.

Plusieurs modifications ont été apportées aux méthodes et à l'équipement utilisés pour mesurer les étalons de tension de 10 V à diode de Zener. L'acquisition de données pour ces mesures est maintenant réalisée avec le voltmètre numérique et l'ordinateur mentionnés ci-dessus. Une alimentation en courant, de construction nouvelle, a amélioré la stabilité de notre dispositif de transfert de 10 V. Comme dans les dispositifs de transfert précédents, des piles au mercure sont utilisées pour stabiliser la tension de sortie. En soudant les conducteurs directement sur les boîtiers des piles nous avons amélioré la stabilité de la sortie de 10 V. Ces modifications ramènent à moins de 20 nV le bruit de crête-à-croix du dispositif de transfert, mais la dérive à la sortie reste quelque peu supérieure à ce que l'on en attend.

Cette année nous avons effectué trois nouvelles comparaisons d'étalons de tension à réseau de jonctions de Josephson de 1 V avec des laboratoires situés dans la zone Asie-Pacifique. Au mois de janvier 1995, notre équipement a été transporté au KRISS (Rép. de Corée). Un aspect nouveau de la comparaison qui s'y est déroulée est que celle-ci a comporté des étalonnages de piles avec les deux étalons à réseau de jonctions de Josephson. Pour cette partie de la comparaison l'incertitude est nettement inférieure à celle qui est obtenue pour les mesures d'étalons à diode de Zener. Pendant les mois de mars et d'avril, notre équipement a été transporté au MSL (Nouvelle-Zélande) et au CSIRO-NML (Australie).

Les résultats, donnés sous la forme de la différence entre les valeurs attribuées par les laboratoires à un étalon de 1,018 V, et les incertitudes-types composées de type A et de type B sont :

$$U_{\text{KRISS}} - U_{\text{BIPM}} = + 0,20 \text{ nV} \quad \sigma = 0,21 \text{ nV},$$

$$U_{\text{MSL}} - U_{\text{BIPM}} = - 0,24 \text{ nV} \quad \sigma = 0,21 \text{ nV},$$

$$U_{\text{NML}} - U_{\text{BIPM}} = - 0,02 \text{ nV} \quad \sigma = 0,17 \text{ nV}.$$

Pendant la comparaison d'étalons de tension à réseau de jonctions de Josephson effectuée au KRISS nous avons utilisé l'acquisition automatisée des données. Des variations du signal du détecteur ont été observées lorsque les lectures du voltmètre numérique commençaient sous le contrôle de l'ordinateur et, lors de la comparaison directe des deux dispositifs à réseau de jonctions de Josephson, le voltmètre numérique et l'ordinateur produisaient une instabilité des sorties des dispositifs. Les deux instruments ont été déconnectés du circuit pour cette partie de la comparaison. L'utilisation de l'équipement d'acquisition automatique de données a eu des effets plus importants au MSL où la dispersion des résultats de la comparaison indirecte, d'un jour à l'autre, allait jusqu'à atteindre quelques nanovolts. Finalement, au CSIRO-NML, une investigation plus approfondie du problème nous a permis d'attribuer cette perturbation à une interférence électromagnétique provenant de l'alimentation à découpage de notre ordinateur. Même lorsque l'ordinateur est éteint l'alimentation recharge ses batteries. Les effets de cette interférence électromagnétique sont vraisemblablement la source majeure de l'incertitude que l'on constate dans l'étalonnage des étalons de tension à diode de Zener en fonction de l'étalon à réseau de jonctions de Josephson. Les observations faites lors de la comparaison au CSIRO-NML confirment ce qui a été constaté dans les autres laboratoires où l'on utilise des étalons à réseau de jonctions pour étalonner des étalons de tension à diode de Zener : les résultats d'étalonnage dépendent de la façon dont les mesures sont faites.

5.2.2 Études d'étalons à diode de Zener : effets de l'humidité et du bruit (T. J. Witt)

L'étude de la variation de la tension de sortie des étalons de tension de 1,018 V à diode de Zener en fonction de l'humidité, décrite dans le rapport de l'an dernier, se poursuit. Cette étude a eu pour premier résultat d'avoir une meilleure appréciation des difficultés que l'on rencontre pour effectuer des mesures exactes d'humidité. La section d'électricité a acheté un hygromètre à point de rosée qui détecte le passage de la réflexion spéculaire à la réflexion diffuse de la lumière sur un miroir lorsque celui-ci est refroidi jusqu'au point de rosée.

Notre étude des étalons de tension à diode de Zener comporte aussi l'observation du bruit de sortie. Notre méthode d'investigation consiste à mesurer ou à calculer la densité spectrale de puissance d'étalons à diode de Zener dans des conditions normales d'étalonnage. Nous faisons cela de deux façons : 1) en utilisant un analyseur de spectre à basse fréquence de fabrication commerciale et 2) en calculant la transformée de Fourier de la tension mesurée en fonction du temps. Les deux méthodes donnent des résultats en bon accord pour les mesures de bruit.

5.2.3 Révision du comparateur automatique de piles étalons (T. J. Witt)

Le comparateur automatique de piles étalons est maintenant en service depuis plus de dix ans et la plupart de ses composants sont d'origine. L'ordinateur d'origine, un Hewlett-Packard modèle 85, est périmé depuis plusieurs années et ses fichiers de données ne sont pas compatibles avec les autres microordinateurs. Il a été remplacé par un ordinateur personnel 486 et tous les programmes associés ont été écrits à nouveau. La modification s'est faite sans qu'il y ait eu d'interruption notable de notre programme d'étalonnage. Cet équipement nous permet d'assurer que les étalonnages des piles étalons s'effectuent dans d'excellentes conditions.

5.3 Impédance électrique (F. Delahaye)

5.3.1 Comparaisons sur place d'étalons à résistance de Hall quantifiée

En 1993 le BIPM a entrepris un programme destiné à vérifier la cohérence au niveau international des étalons primaires de résistance en comparant les étalons de résistance à effet Hall quantique des laboratoires nationaux avec l'étalon du BIPM. La méthode de comparaison consiste à transporter dans un laboratoire hôte un étalon complet à résistance de Hall quantifiée appartenant au BIPM et comportant un pont de mesure de rapport de résistances à température ambiante, fonctionnant à 1 Hz, et une série d'étalons de résistance choisis pour leurs différences de résistance, faibles et reproductibles, entre 1 Hz et le courant continu. La première comparaison de ce type s'est déroulée avec succès au mois de décembre 1993 en transportant au BNM-LCIE (Fontenay-aux-Roses, France) l'étalon transportable de résistance à effet Hall quantique du BIPM [4]. Ce programme s'est poursuivi cette année en emportant ce même étalon à l'OFMET (Wabern, Suisse). Entre le 14 et le 18 novembre 1994, on a effectué des mesures d'un étalon de résistance de 100Ω en fonction de la résistance de Hall quantifiée correspondant au nombre quantique 2, $R_H(2)$, en utilisant l'appareillage à effet Hall quantique de chaque laboratoire. De plus, on a effectué des mesures des rapports de $10\,000 \Omega:100 \Omega$ et de $100 \Omega:1 \Omega$. Les mesures faites par l'OFMET et le BIPM de l'étalon de 100Ω en fonction de $R_H(2)$ concordent bien avec l'incertitude-type relative totale retenue pour cette comparaison (17×10^{-10}). On a aussi obtenu un bon accord pour les mesures des rapports de $10\,000 \Omega:100 \Omega$ et de $100 \Omega:1 \Omega$ pour lesquelles les incertitudes relatives totales sont respectivement de 18×10^{-10} et de 27×10^{-10} . Un rapport sur cette comparaison a été soumis à *Metrologia*. Nous envisageons de poursuivre ce programme en 1995/1996 avec une comparaison sur place à la PTB.

5.3.2 Mesures de la résistance de Hall quantifiée en courant alternatif à des fréquences de l'ordre du kilohertz (avec J. Boháček*)

Les premières mesures en courant alternatif de la résistance de Hall quantifiée effectuées au BIPM en 1994 sont encourageantes : on a trouvé que le rapport de la résistance de Hall quantifiée à celle d'une résistance de référence de type Vishay en courant alternatif varie de moins de 2×10^{-7} de 1 Hz à 1600 Hz. Toutefois, lors des mesures en courant alternatif, les plateaux de résistance de Hall sont moins bien définis qu'en courant continu. En particulier, la largeur de la partie plate centrale des plateaux est réduite et l'on observe quelques distortions en fonction de la fréquence sur les bords des plateaux [2].

Nous avons effectué cette année d'autres mesures expérimentales en courant alternatif de la résistance de Hall quantifiée. Nous avons optimisé le montage de l'échantillon afin de réduire les problèmes résultant des vibrations mécaniques de faible amplitude dues à la force électromagnétique assez importante qui est appliquée à l'échantillon et aux fils d'alimentation qui lui sont reliés. Nous avons aussi modifié le pont coaxial en courant alternatif et nous l'avons étalonné pour permettre la mesure de rapports d'impédance de 2 à 1 aussi bien que de 1 à 1. Ainsi à une fréquence de 1600 Hz nous pouvons comparer les rapports des résistances de Hall quantifiées pour les nombres quantiques $i = 2$ et $i = 4$, $R_H(2)$ et $R_H(4)$, en mesurant chacune par rapport à une résistance de référence de 12906Ω en courant alternatif. Nous avons effectué cette comparaison en utilisant deux hétérostructures différentes en GaAs maintenues à une température de 1,3 K. Une hétérostructure fonctionnait sur le plateau $i = 2$ avec une densité de flux magnétique de 10,4 T et l'autre sur le plateau $i = 4$ avec 6,8 T. À 1600 Hz on a constaté que les deux résistances quantifiées présentaient une dépendance, faible mais non négligeable, en fonction du courant. Pour le plateau $i = 2$ la résistance de Hall croît de façon linéaire en fonction de l'intensité du courant d'environ 2×10^{-8} en valeur relative par $10 \mu\text{A}$. Pour le plateau $i = 4$ le coefficient de variation est d'environ $0,5 \times 10^{-8}$ par $10 \mu\text{A}$. Le résultat des mesures comparatives effectuées à 1600 Hz avec un courant de $20 \mu\text{A}$ pour les deux plateaux et ramené à courant nul est :

$$\frac{R_H(2) - 2R_H(4)}{R_H(2)} = 8 \times 10^{-8} \quad s = 2 \times 10^{-8}.$$

En conclusion, nous estimons que, à 1600 Hz et dans les conditions expérimentales actuelles, la quantification de la résistance de Hall est assez bien réalisée mais qu'il subsiste des imperfections résiduelles de l'ordre de 1×10^{-7} . Les raisons de ces imperfections ne sont pas comprises pour le moment et nous envisageons de poursuivre nos recherches.

* Stagiaire

5.3.3 Installation à la salle 15 du pont Warshawsky automatisé

Afin de dégager de la place pour les étalonnages des étalons à diodes de Zener à la salle 4, nous avons déménagé le pont Warshawsky automatisé, utilisé pour les mesures de résistance de $10\text{ k}\Omega$, pour le mettre dans la salle 15. Nous l'avons installé dans une cabine préfabriquée qui assure une stabilité convenable de la température.

5.4 Étude des coefficients de température des résistances et de la température de conservation dans les laboratoires nationaux (T. J. Witt)

La section d'électricité rapporte les mesures des piles étalons nues et de la plupart des résistances à une température de $20\text{ }^\circ\text{C}$. Il se peut que, pour plusieurs raisons, cette température soit trop basse, en particulier pour les résistances dont l'utilisation est la plus courante. Afin de documenter la discussion au sein du CCE sur la possibilité de prendre au BIPM $23\text{ }^\circ\text{C}$ comme température de référence pour les étalonnages et les comparaisons en électricité, nous avons effectué deux études. L'une donne la répartition des coefficients de température pour les 1200 résistances étalons qui ont été étudiées au BIPM depuis un certain nombre d'années [7]; l'autre donne la liste des températures de référence utilisées dans les laboratoires nationaux pour les piles étalons nues et les résistances, et les températures auxquelles elles sont conservées et étalonnées [8].

Lors de la session qui s'est tenue les 14 et 15 juin 1995, le CCE a discuté de la question et accepté que le BIPM change ses températures de référence s'il en décidait ainsi. Après avoir approfondi les conséquences pratiques d'un tel changement, le BIPM a décidé de garder $20\text{ }^\circ\text{C}$ comme température de travail et de référence pour les piles étalons nues, et cela pour éviter d'avoir à reconstruire plusieurs de ses enceintes thermostatées contenant des piles étalons. Nous avons cependant décidé de changer la température de référence des résistances étalons de $20\text{ }^\circ\text{C}$ à $23\text{ }^\circ\text{C}$ et de maintenir les résistances à $23\text{ }^\circ\text{C}$ pendant les étalonnages. Ce changement de température de référence prendra effet en 1996. La date en sera annoncée ultérieurement.

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

L'idée de comparaisons bilatérales d'étalons électriques a été introduite il y a deux ans pour effectuer des comparaisons spécifiques avec des laboratoires soucieux de prouver la traçabilité de leurs étalons électriques de base à ceux du BIPM. Cette année plusieurs laboratoires ont participé à des comparaisons bilatérales. Les résultats et les incertitudes de ces comparaisons sont donnés dans les tableaux qui suivent. Ils seront publiés sous forme de tableaux dans un prochain numéro de *Metrologia*. La dernière colonne indique si le laboratoire a ou n'a pas décidé de changer la valeur attribuée à ses étalons.

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)	1994-06-14	- 0,46	0,82	- 2,9	6,2	oui
BEV (Vienne)	1995-05-07	- 0,03	0,21			non
BEV (Vienne)	1995-05-08			- 2,2	3,0	non
NML (Dublin)	1995-06-04	+ 0,15	0,66			oui
NML (Dublin)	1995-06-05			+ 2,2	2,5	oui

ÉTALONS DE RÉSISTANCE

Laboratoire	Date	1 Ω		10 k Ω		change- ment
		$(R_{LAB} - R_{BI})/\mu\Omega$	$s/\mu\Omega$	$(R_{LAB} - R_{BI})/c\Omega$	$s/c\Omega$	
INETI (Lisbonne)	1995-05-15	- 0,10	0,21			non
JV (Oslo)	1995-05-09			- 0,26	0,21	oui

5.6 Étalonnages de routine

Cette année les étalonnages de routine suivants ont été faits : piles étalons pour la Hongrie et la Pologne ; étalons de tension à diode de Zener pour l'Autriche, la Belgique, la Hongrie, l'Irlande, la Roumanie et la Rép. tchèque ; résistances de 1 Ω pour l'Espagne, la Pologne, le Portugal, la Rép. tchèque ; résistances de 10 k Ω pour l'Espagne, la Norvège, le Portugal, la Roumanie et la Rép. tchèque.

5.7 Publications, conférences et voyages : section d'électricité

5.7.1 Publications extérieures

1. REYMANN D., AVRONS D., A Transfer Device for 10 V Josephson Array Measurements, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1995, **44**, 201-203.
2. LO-HIVE J.-P., REYMANN D., GENEVÈS G., Comparisons of 10 V Josephson Array Voltage Standards between the BNM-LCIE and the BIPM, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1995, **44**, 230-233.
3. DELAHAYE F., Accurate AC Measurements of the Quantized Hall Resistance from 1 Hz to 1,6 kHz, *Metrologia*, 1994/95, **31**, 367-373.
4. DELAHAYE F., WITT T. J., PIQUEMAL F., GENEVÈS G., Comparison of Quantum Hall Effect Resistance Standards of the BNM-LCIE and the BIPM, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1995, **44**, 258-261.

5. WITT T. J., REYMANN D., AVRONS D., The Stability of Some Zener-Diode-Based Voltage Standards, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1995, **44**, 226-229.
6. WITT T. J., Realizations and Comparisons of Josephson Array Voltage Standards, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1995, **44**, 208-210.

5.7.2 Rapports BIPM

7. WITT T. J., Statistical summary of the temperature characteristics of 1 Ω and 10 k Ω resistors measured at the BIPM, *Rapport BIPM-95/3*, mai 1995, 5 p.
8. WITT T. J., Results of the questionnaire on a possible change of maintained and reference temperatures of BIPM electrical standards, *Rapport BIPM-95/4*, mai 1995, 5 p.

5.7.3 Conférences et exposés

T. J. Witt a fait un exposé intitulé « A sampling of BIPM international comparisons » au Measurement Standards Laboratory du New Zealand Institute for Industrial Research and Development (Lower Hutt, Nouvelle-Zélande), le 29 mars 1995. Il a fait un exposé intitulé « International comparisons of electrical standards carried out by the BIPM » au National Measurement Laboratory du CSIRO (Lindfield, Australie), le 5 avril 1995.

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

T. J. Witt a visité les laboratoires de l'IEN (Turin, Italie) et a assisté aux réunions du Conseil scientifique de l'IEN le 7 octobre 1994 et le 23 janvier 1995.

T. J. Witt a assisté à la 7^e réunion des correspondants en électricité d'EUROMET au SP (Borås, Suède), les 26 et 27 octobre 1994.

F. Delahaye et T. J. Witt ont visité l'OFMET (Wabern, Suisse), du 13 au 19 novembre 1994, pour les comparaisons d'étalons de résistance de Hall quantifiée.

T. J. Witt et D. Reymann se sont rendus au KRISS (Taejon, Rép. de Corée), du 12 au 20 janvier 1995, au MSL (Lower Hutt, Nouvelle-Zélande), du 23 au 30 mars 1995 et au CSIRO-NML (Lindfield, Australie), du 31 mars au 7 avril 1995, pour des comparaisons d'étalons à réseau de jonctions de Josephson. En se rendant en Nouvelle-Zélande ils ont visité le SISIR (Singapour), le 22 mars 1995.

F. Delahaye a assisté à une réunion du groupe de travail de la CEI chargé de la révision du vocabulaire des notions fondamentales en électrotechnique, à Varsovie (Pologne), du 13 au 17 mars 1995.

F. Delahaye et D. Reymann ont assisté à la réunion des experts d'EUROMET sur l'effet Hall quantique et l'effet Josephson au BNM-LCIE (Fontenay-aux-Roses, France), du 18 au 20 avril 1995.

5.8 Activités en liaison avec des organismes extérieurs

T. J. Witt est membre du Comité exécutif de la CPEM. Il est aussi membre du Conseil scientifique de l'IEN. Par ailleurs, il joue le rôle de contrôleur technique pour l'accréditation de laboratoires d'étalonnage.

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

5.9 Visiteurs de la section d'électricité

5.9.1 Stagiaire

M. J. Boháček de l'Université technique tchèque (Prague) a fait un stage dans la section d'électricité, du 24 avril au 23 juin 1995, pendant lequel il a travaillé avec F. Delahaye sur les mesures d'impédance en courant alternatif et l'effet Hall quantique.

5.9.2 Chercheur associé

M. J. Melcher de la section d'électricité de la PTB (Braunschweig) travaille à la section d'électricité du BIPM depuis le 1^{er} septembre 1995 sur un projet consistant à obtenir la valeur d'un condensateur étalon de la résistance de Hall quantifiée.

5.9.3 Visiteurs

M. Y. Sakamoto (ETL, Tsukuba, Japon), M. A. D. Inglis (NRC, Ottawa, Canada), M. D. Andreone (IEN, Turin, Italie), le 21 avril 1995.

M. P. Chrobok (CMI, Prague, Rép. tchèque), le 26 avril 1995.

M. Chang Hsu, Mme Hui-Chung Ma et M. Boh-Sheng Harn (CMS-ITRI, Hsinchu, Taiwan), le 6 juin 1995.

M. A. Szymczak (Office central des mesures, Varsovie, Pologne), le 8 juin 1995.

M. B. M. Wood (NRC, Ottawa, Canada), le 12 juin 1995.

MM. R. M. Liu, T. Jin (NIM, Beijing, Rép. pop. de Chine) et Mme G. Zhao (Beijing Institute of Radio Metrology and Measurement, Beijing, Rép. pop. de Chine), le 22 juin 1995.

M. Tore Sørdsal (NMS, Oslo, Norvège), le 26 juin 1995.

M. A. Jakab (Office national des mesures, Budapest, Hongrie), les 26 et 29 juin 1995.

MM. A. Sebela, P. Chrobok et J. Zikan (CMI, Prague, Rép. tchèque), le 27 juin 1995.

M. L. Énard (BNM-LCIE, Fontenay-aux-Roses, France), le 29 juin 1995.

M. N. M. Frota (INMETRO, Rio de Janeiro, Brésil), le 7 juillet 1995.

M. N. Sequeira (INETI, Lisbonne, Portugal), le 25 juillet 1995.

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

6.1 Radiométrie (R. Köhler, R. Goebel)

Lors de sa réunion au mois de septembre 1994, le CCPR a demandé au BIPM d'organiser deux comparaisons internationales portant, l'une sur la sensibilité des radiomètres cryogéniques, l'autre sur la sensibilité lumineuse des photomètres. Le BIPM participera aussi à une comparaison de flux lumineux et d'intensité lumineuse, portant sur des lampes au tungstène et organisée par la PTB (Braunschweig) dans le cadre du CCPR.

En préparation de la comparaison de radiomètres cryogéniques, trois comparaisons pilotes ont été effectuées. Deux ont été des comparaisons directes entre radiomètres cryogéniques, faites au BIPM, et la troisième a été une comparaison indirecte, faite en transportant des récepteurs à piège.

La première des comparaisons directes a été faite entre le radiomètre cryogénique Radiox (Oxford Instruments, Royaume-Uni) du BIPM et le radiomètre cryogénique CRI LaseRad (Cambridge Research & Instrumentation Inc., Cambridge, É.-U. d'Amérique) appartenant au BNM-INM (Paris, France). Les résultats préliminaires de cette comparaison ont déjà été donnés dans le rapport de 1994 et ont été confirmés par des mesures récentes. Aux longueurs d'onde de 647 nm et de 476 nm et à niveau de puissance constant d'environ 400 μW , la différence relative de puissance observée, exprimée par le rapport $r(1,2) = 2(p_1 - p_2)/(p_1 + p_2)$ est :

$$r(\text{Radiox, LaseRad}) = 1,9 \times 10^{-4}, \text{ où } \sigma(r) = 1,1 \times 10^{-4}.$$

La deuxième comparaison directe, qui s'est déroulée aussi au BIPM, s'est faite entre le radiomètre Radiox et un radiomètre cryogénique fabriqué par Oxford Instruments refroidi mécaniquement appartenant au NPL. Les deux radiomètres sont de conception optique similaire : ils diffèrent essentiellement en ce que le premier est refroidi avec de l'hélium liquide et le second est refroidi à l'aide d'un système à compresseur fonctionnant en circuit fermé. À une longueur d'onde de 647 nm la différence relative de puissance observée était :

$$r(\text{Radiox, MCR}) = 1,5 \times 10^{-5}, \text{ où } \sigma(r) = 8 \times 10^{-5};$$

les mêmes valeurs étaient obtenues pour des puissances optiques de 400 μW et de 650 μW .

Ces résultats démontrent non seulement l'excellente reproductibilité de ces instruments extrêmement exacts, mais aussi la pertinence des comparaisons directes. Il convient de noter que la composante la plus forte de l'incertitude, soit 8×10^{-5} , est celle qui est due à une cause inconnue de bruit électrique dans le radiomètre refroidi mécaniquement. Le niveau de bruit du radiomètre Radiox était d'environ 2×10^{-5} .

La comparaison indirecte a été faite au CSIRO (Sydney, Australie) avec le radiomètre cryogénique Radiox au moyen de deux récepteurs de transfert à piège envoyés par le BIPM et étalonnés avec le radiomètre Radiox appartenant au BIPM. La stabilité de ces récepteurs sera contrôlée à leur retour au BIPM. Malgré une plus grande incertitude pour cette comparaison, due à l'utilisation de récepteurs de transfert, la pertinence des comparaisons indirectes exactes a déjà été démontrée.

À une longueur d'onde de 647 nm et une puissance optique de 480 μW , le résultat de l'étalonnage du récepteur de transfert utilisé dans des conditions semblables diffère de

$$r (\text{Radiox BIPM, Radiox CSIRO}) = 9,5 \times 10^{-5}, \text{ où } \sigma (r) = 2 \times 10^{-4},$$

et à une longueur d'onde de 476,2 nm et une puissance optique de 500 μW , le résultat de l'étalonnage du récepteur de transfert utilisé dans des conditions semblables diffère de

$$r (\text{Radiox BIPM, Radiox CSIRO}) = 6 \times 10^{-5}, \text{ où } \sigma (r) = 2 \times 10^{-4}.$$

L'utilisation de récepteurs à piège comme récepteurs de transfert pour des comparaisons de ce genre exige une connaissance rigoureuse de leurs caractéristiques. Leur sensibilité à la polarisation du faisceau, leur distribution locale de sensibilité et leur stabilité dans le vide sont en cours d'étude. Pour cette dernière, on a construit une chambre à vide spéciale. Il est toutefois peu probable que la stabilité de ces récepteurs atteigne celle du radiomètre cryogénique.

Dans le courant de l'année, quelques modifications ont été apportées par la société Oxford Instruments au câblage interne du radiomètre Radiox. Ces modifications ont amélioré la stabilité de la température et ont permis de faire passer de deux à cinq jours la durée de la réserve d'hélium. Un système mécanique plus précis pour ajuster l'orientation des fenêtres a été conçu et installé par le BIPM.

Par suite du réaménagement de l'une des salles précédemment utilisée pour la thermométrie, il a été possible de séparer l'une de l'autre les installations de radiométrie où sont utilisés un monochromateur et des lampes et celles du radiomètre cryogénique. Une salle est maintenant entièrement consacrée à la radiométrie cryogénique, ce qui permet d'améliorer l'installation et laisse davantage d'espace pour les radiomètres qui viennent d'autres laboratoires.

En photométrie, les préparations de la comparaison internationale de sensibilité lumineuse de photomètres ont commencé dans le cadre d'un groupe de travail du CCPR dont le BIPM est le coordonnateur (sélection des instruments à utiliser, conditions expérimentales etc.). Des séries de lampes Osram et Polaron ont été achetées; chaque lampe a été vieillie pendant 100 heures et étalonnée en fonction des étalons du BIPM. L'ensemble de ces lampes constituera un nouveau groupe d'étalons de travail. Un nouveau système d'acquisition de données a été installé et les résistances étalons utilisées pour les mesures de courant ont été étalonnées à nouveau.

La sphère intégrante de 1,5 m de diamètre, qui avait été repeinte pour la dernière fois en 1983, a été démontée, nettoyée et sa peinture photométrique blanche a été refaite.

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

La comparaison internationale de cellules à point triple de l'eau, commencée en 1994, est bien avancée. Les deux groupes de laboratoires nationaux ont achevé leurs mesures. Les cellules voyageuses sont revenues au BIPM pour la dernière série de contrôles et de mesures.

De nouveaux laboratoires nationaux ont maintenant participé à cette comparaison : l'INMETRO (Brésil), l'IPQ (Portugal), le NMi (Pays-Bas), le SISIR (Singapour) ont envoyé des cellules à point triple de l'eau pour comparaison au BIPM avec les cellules voyageuses.

Deux cellules à point triple de l'eau ont été achetées à l'IRL (Nouvelle-Zélande) et ont été aussi mesurées. Un nouveau système d'acquisition de données et de calcul pour l'étalonnage des cellules à point triple a été installé.

Un appareil pour le contrôle et la comparaison des jauges à vide a été conçu et sa construction commandée.

6.3 Travaux d'étalonnage

Six lampes photométriques étalons d'intensité lumineuse et deux de flux lumineux ont été étalonnées pour le CSM (Bulgarie).

Cinq lampes étalons d'intensité lumineuse et quatre lampes étalons de température de couleur ont été étalonnées pour l'EZU (Rép. tchèque).

Au cours de l'année des étalonnages de jauges de pression ont été faits pour les sections d'électricité, des masses et des rayonnements ionisants.

6.4 Travaux divers (R. Köhler, R. Goebel, A. Zarka)

Un réseau interne a été installé au BIPM pour les ordinateurs et il a été connecté à Internet. Un échange d'informations au niveau mondial

est maintenant possible en utilisant le courrier électronique et les autres services d'Internet.

Avec l'aide du service administratif du BIPM, la section de radiométrie a organisé une commande groupée de photodiodes de grande qualité provenant de la société Hamamatsu (Japon) et livraison en a été faite à dix-huit laboratoires nationaux.

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

6.5.1 Publications extérieures

1. QUINN T. J., Les origines de la thermométrie et l'évolution des échelles de température, *Bul. BNM*, 1995, n° 99, 9-17.
2. KRUMREY M., TEGELER E., GOEBEL R., KÖHLER R., Self-calibration of the same silicon photodiode in the visible and soft x-ray ranges, *Rev. Sci. Instrum.*, 1995, **66**, 4736-4737.

6.5.2 Conférences et exposés

R. Köhler a fait un exposé sur la radiométrie et la photométrie au BIPM à l'occasion d'une visite du Kodak Metrology Council.

R. Köhler a fait un exposé au CSIRO, Division of Applied Physics, sur « Radiometry and photometry at the BIPM ».

R. Köhler, D. J. Butler et J. Gardner ont présenté un poster à la conférence de l'Australian Optical Society, University of Queensland, du 5 au 7 juillet 1995, intitulé « Optical power measurements with a cryogenic radiometer ».

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

R. Köhler s'est rendu :

— à Berlin (Allemagne), du 1^{er} au 3 décembre 1994, pour assister au symposium « 70 years of photometry in the CIE » ;

— à Madrid (Espagne), les 16 et 17 janvier 1995, pour assister comme observateur à une réunion d'EUROMET sur la radiométrie ;

— à l'ETL (Tsukuba, Japon), les 19 et 20 février 1995, pour des discussions et une visite des laboratoires ;

— chez Hamamatsu Co. (Hamamatsu City, Japon), le 21 février 1995, pour des discussions à propos d'une commande groupée de photodiodes de grande qualité et pour visiter l'usine de fabrication ;

— au CSIRO-NML (Sydney, Australie) comme stagiaire entre le 1^{er} mars 1995 et le 30 juin 1995, afin de travailler sur la radiométrie cryogénique, les récepteurs à pièges et les calculs sur la diffraction aux ouvertures ;

— à l'IRL (Lower Hutt, Nouvelle-Zélande), les 29 et 30 mai 1995, pour des discussions et une visite des laboratoires.

R. Goebel et R. Pello se sont rendus :

— chez Oxford Instruments (Oxford, Royaume-Uni), les 13 et 14 décembre 1994, pour des discussions et pour y apporter le radiomètre cryogénique du BIPM qui devait subir diverses modifications, et le 1^{er} mars 1995, pour reprendre l'appareil ;

— au NPL (Teddington, Royaume-Uni), le 1^{er} mars 1995, pour des discussions avec le personnel de la section de radiométrie afin de préparer la comparaison de radiomètres cryogéniques, pour obtenir des renseignements auprès de la section de photométrie sur les lampes étalons Polaron et pour parler de comparateurs de jauges à vide avec la section de manométrie.

R. Pello a été invité par l'IPQ (Portugal), du 1^{er} au 4 juillet 1995, pour aider à installer un pyromètre et avoir des échanges à propos des résultats de la comparaison internationale de cellules à point triple de l'eau qui s'est déroulée dans le cadre d'EUROMET. Il en a profité pour transporter deux cellules et le prototype de 1 kg n° 69.

R. Goebel s'est rendu à la PTB (Braunschweig, Allemagne), le 13 septembre 1995, afin de préparer la comparaison directe qui doit se faire à la PTB entre le radiomètre cryogénique du BIPM et celui de la PTB.

6.6 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.

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

6.7.1 Stagiaire

M. S. Yilmaz (Université Paris VII, Paris, France), a travaillé au BIPM, du mois de mars 1995 au mois de septembre 1995, sur les propriétés des récepteurs à pièges.

6.7.2 Visiteurs

Un groupe de quinze personnes du Kodak Metrology Council, le 18 novembre 1994.

M. B. Rougié (BNM-INM, Paris, France), le 13 mars 1995.

M. P. Haycocks (NPL, Teddington, Royaume-Uni), du 3 au 13 avril 1995.

M. N. Fox (NPL, Teddington, Royaume-Uni), les 6 et 7 avril 1995.

M. Jiri Zikan (CMI, Prague, Rép. tchèque), le 26 avril 1995.

M. Kai-Li Ko (CMS-ITRI, Hsinchu, Taïwan), le 3 mai 1995.

Mme K. Petkova (NMC, Sofia, Bulgarie), le 27 juin 1995.

M. M.N. Frota (INMETRO, Rio de Janeiro, Brésil), le 7 juillet 1995.

M. Z. Heggedus (CSIRO, Lindfield, Australie), le 4 septembre 1995.

7. Rayonnements ionisants (J. W. Müller)

Les récentes réunions des trois sections du CCEMRI ont bien mis en valeur le large éventail des problèmes rencontrés dans le domaine des rayonnements ionisants, et souligné la nécessité constante d'harmoniser les efforts faits dans le monde entier pour améliorer la traçabilité des mesures. Le Système international de référence (SIR) constitue une bonne base pour apporter la preuve de l'équivalence des mesures d'activité entre laboratoires nationaux ; une solution comparable est activement recherchée dans le domaine de la dosimétrie des hautes énergies.

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

7.1.1 Rayons gamma et rayons x (M. Boutillon, A.-M. Perroche et P. Allisy-Roberts)

i) *Variation du facteur d'étalonnage en fonction de la qualité dans le domaine des rayons x de faible énergie*

Nous avons procédé à une étude exhaustive de la réponse d'une chambre de transfert (d'un type couramment utilisé dans le domaine des rayons x de faible énergie) en fonction de la qualité du rayonnement. L'objectif était d'estimer la perte d'exactitude du facteur d'étalonnage d'une chambre, du faisceau d'étalonnage au faisceau de l'utilisateur. Les résultats montrent que cette exactitude se dégrade d'un facteur qui peut aller jusqu'à 2, en fonction de la qualité du rayonnement.

ii) *Stabilité à long terme du ^{60}Co et mesures du ^{137}Cs*

Depuis 1989, date à laquelle furent faites les premières mesures, la dose absorbée du rayonnement du ^{60}Co a diminué de 0,20 % par rapport à la décroissance prévue d'après la période ($T_{1/2} = 1925,5$ d). Cette diminution peut probablement s'expliquer par l'incertitude sur $T_{1/2}$. Le kerma dans l'air pour le ^{60}Co et le ^{137}Cs présente la même tendance.

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

Kerma dans l'air : La détermination du kerma dans l'air (énergie cinétique communiquée par unité de masse du matériau) est terminée pour le ^{137}Cs . L'incertitude globale est de 0,4 %, légèrement supérieure à celle du ^{60}Co . Quelques-unes des corrections qui se rapportent à cet étalon ont

été déterminées expérimentalement : nous avons mesuré l'atténuation due à la paroi de l'étalon et nous l'avons trouvée en bon accord avec la valeur déduite à partir du spectre calculé du faisceau. Le facteur de correction pour le rayonnement diffusé par la paroi de la chambre a été déduit par extrapolation à partir de mesures faites avec plusieurs disques en graphite. Sa valeur, 5 %, est le double de celle qui est obtenue dans le faisceau de ^{60}Co pour la même chambre. La non-uniformité radiale du faisceau a été dérivée de mesures faites en utilisant une petite chambre sphérique. À partir de ces résultats, la correction pour l'étalon est estimée égale à 0,70 % (0,16 % pour le faisceau de ^{60}Co).

Équivalent de dose ambiant : L'installation pour déterminer l'équivalent de dose ambiant H^* , dans le plan de référence à 3 m de la source, est terminée et on a mesuré la non-uniformité du faisceau, dont le diamètre est de 60 cm. Les valeurs de H^* seront obtenues à partir du kerma dans l'air, K , mesuré avec l'étalon du BIPM dans le plan de référence, et à partir du rapport H^*/K calculé par une méthode de Monte-Carlo pour le faisceau du BIPM, qui comporte 30 % de rayonnement diffusé (en termes de fluence énergétique). Ce rapport est de 1,216 Sv/Gy. Il serait inférieur de 1,8 % en l'absence du rayonnement diffusé dans le faisceau.

iv) Comparaisons et étalonnages au BIPM

Une comparaison d'étalons de kerma dans l'air a été faite avec le GUM (Pologne), dans les faisceaux de rayons x du BIPM. Dans le domaine des rayons x mous (10 kV à 50 kV), on a utilisé comme instrument de transfert une petite chambre à plaques parallèles fabriquée par le GUM. Il n'est en général pas recommandé de faire des comparaisons indirectes à ces énergies mais cette chambre présente une très faible variation de réponse dans le domaine d'énergie utilisé (0,8 %), ce qui justifie la méthode dans ce cas. Les résultats de la comparaison, exprimés par le rapport $R_{\text{LAB}} = K_{\text{LAB}}/K_{\text{BIPM}}$, où K est la valeur du kerma dans l'air mesuré par un étalon, sont donnés au Tableau 7.1 et font apparaître un bon accord entre les étalons du GUM et ceux du BIPM. Aucune variation significative en fonction de la qualité du rayonnement n'a été décelée. Dans le domaine des énergies moyennes (100 kV à 250 kV) on a utilisé comme instrument de transfert une chambre NE 2561, et les résultats (Tableau 7.1) présentent un bon accord, compatible avec les incertitudes, bien que l'on puisse observer une légère dépendance en fonction de la qualité du rayonnement.

Deux comparaisons d'étalons de kerma dans l'air dans le faisceau de ^{137}Cs ont été faites au BIPM, avec le NIST (É.-U. d'Amérique) et l'OMH (Hongrie). La première a été faite de façon indirecte au moyen de deux chambres Shonka appartenant au NIST, et la deuxième de façon directe par comparaison des étalons de l'OMH et de ceux du BIPM. Les résultats, figurant au Tableau 7.1, sont en bon accord dans la limite des incertitudes.

Le BIPM a analysé les résultats de la comparaison à dose élevée (15 kGy et 45 kGy) dans le rayonnement du ^{60}Co , comparaison organisée

TABLEAU 7.1

Comparaisons d'étalons de kerma dans l'air

rayons x de faible énergie		rayons x d'énergie moyenne		¹³⁷ Cs
qualité/kV	R _{GUM} *	qualité/kV	R _{GUM} *	
10	0,9963	100	0,9986	R _{NIST} = 0,9951
30	0,9973	135	0,9968	
50(a)**	0,9976	180	0,9959	
50(b)	0,9967	250	0,9944	R _{OMH} = 0,9954

* $R_{LAB} = K_{LAB}/K_{BIPM}$

** la filtration est plus forte que pour 50(b)

par l'AIEA. Neuf laboratoires y ont participé et les dosimètres à l'alanine-α de l'AIEA ont servi d'instruments de mesure. L'écart-type des résultats est inférieur à 2 %.

Plusieurs chambres d'ionisation utilisées comme étalons secondaires de kerma dans l'air ou de dose absorbée dans l'eau ont été étalonnées dans les faisceaux de rayons x, du ¹³⁷Cs et du ⁶⁰Co, pour l'Afrique du Sud (CSIR), le Danemark (SIS), la France (BNM-LPRI), la Hongrie (OMH), la Norvège (SS) et l'AIEA. Une collaboration active se poursuit avec l'AIEA. À quatre reprises, des dosimètres thermoluminescents ont été irradiés (2 Gy) pour l'AIEA dans le fantôme d'eau du BIPM. Les résultats sont satisfaisants et se situent dans la limite des incertitudes de 1 % donnée par l'AIEA.

Nous avons procédé à une étude des méthodes que le BIPM pourrait utiliser pour assurer l'équivalence au niveau international des étalons de mesure de la dose absorbée dans l'eau pour les photons de haute énergie et les faisceaux d'électrons. Ces méthodes font appel à des chambres d'ionisation de différentes formes, et à des systèmes à l'état solide comme des dosimètres thermoluminescents ou des dosimètres à l'alanine-α.

7.1.2 Mesures neutroniques (V. D. Huynh)

i) Comparaison internationale de mesures de fluence neutronique

La comparaison de mesures de fluence neutronique à 24,5 keV, au moyen de trois sphères de Bonner utilisées comme instruments de transfert, est en cours. Six laboratoires (CIAE, ETL, NIST, NPL, PTB et VNIIM) participent à cette comparaison. Les mesures sont terminées au CIAE, au NIST et à la PTB. Cette comparaison ne sera vraisemblablement pas achevée avant le milieu de l'année 1996. Après avoir été mesurées par chaque participant, les sphères de Bonner sont renvoyées au BIPM pour que leur stabilité soit vérifiée à l'aide de la source du BIPM.

ii) *Spectrométrie neutronique*

Les fonctions de réponse et les efficacités de détection du détecteur à scintillateur liquide NE-213 du BIPM ont été calculées et mesurées pour les neutrons à 2,50 MeV et à 14,65 MeV. Pour les fonctions de réponse, il y a maintenant un assez bon accord, à ces deux énergies, entre le spectre de hauteur d'impulsion calculé et le spectre mesuré. Ces résultats ont été obtenus en utilisant une valeur de la haute tension inférieure à celle qui avait été utilisée lors de précédentes mesures (*voir* le rapport du directeur de 1993). Ils font aussi apparaître que les efficacités calculées sont en bon accord avec celles qui sont obtenues expérimentalement en utilisant les coïncidences entre les neutrons détectés par le scintillateur NE-213 et les particules associées détectées par le détecteur au silicium. De plus, d'après ce que l'on sait de l'efficacité des mesures, on peut comparer la fluence mesurée au moyen du scintillateur NE-213 et celle qui est mesurée de façon absolue par la méthode de la particule associée. Les résultats montrent que les fluences déterminées par les deux détecteurs concordent dans la limite des incertitudes des mesures.

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

7.2.1 Mesures d'activité (G. Ratel)

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

Une comparaison préliminaire de mesures d'activité du ^{204}Tl a été organisée par le BIPM sous les auspices de la Section II du CCEMRI avec la participation de six laboratoires (BNM-LPRI, CIEMAT, NAC, NIST, PTB et BIPM). La solution radioactive, dont la période est de 3,79 a, $\sigma = 0,02$ a, a été préparée au BIPM sous la forme d'une solution aqueuse 0,1 M de HCl, contenant 30 $\mu\text{g/g}$ de TlCl comme entraîneur, avec une concentration d'activité d'environ 70 kBq/g. Une ampoule remplie d'environ 3,6 g de solution a été envoyée à chaque laboratoire participant à la fin du mois d'août 1994. Des contrôles de pureté, effectués par le BNM-LPRI, le CIEMAT, le NAC et la PTB, indiquent que la solution ne comportait aucune impureté.

Les mesures se sont étalées sur une période de six mois et ont été achevées en mars 1995, si bien qu'un rapport a pu être rédigé à temps pour être discuté lors de la réunion de la Section II du CCEMRI au mois de mai 1995.

Plusieurs méthodes de mesure ont été utilisées, la plupart fondées sur la technique du détecteur à scintillation liquide (LS). Cinq laboratoires ont suivi la méthode du CIEMAT/NIST et utilisé les codes de calcul mis au point au CIEMAT. Pour évaluer le niveau de « quenching », on a utilisé quatre autres radionucléides différents, à savoir ^3H , ^{133}Ba , ^{137}Cs et ^{226}Ra . Deux laboratoires ont déterminé la concentration d'activité par

la méthode du rapport des coïncidences triples aux coïncidences doubles (TDCR). Cette méthode présente l'avantage, par rapport à la méthode du CIEMAT/NIST, qu'elle ne demande pas d'avoir un étalon extérieur pour déterminer le facteur de mérite qui caractérise l'instrument de mesure. Au BNM-LPRI l'activité β a été aussi mesurée avec un compteur proportionnel $4\pi\beta$ fonctionnant à pression normale. Enfin, le NAC a utilisé la méthode des coïncidences $4\pi LS(x,e)-x_K$ pour mesurer la concentration d'activité de la solution. C'est une méthode d'extrapolation dans laquelle l'efficacité du comptage est modifiée en changeant le seuil de détection dans le canal des rayons x. Les trois premières méthodes exigent une correction pour la capture des électrons d'environ 2,8 % alors que la dernière méthode donne directement un résultat.

Les résultats finaux de cette comparaison préliminaire sont donnés à la figure 7.1. Si l'on ne tient pas compte de l'un des résultats, qui se situe à 2,5 % au-dessous de la moyenne non pondérée de tous les autres, les différentes méthodes donnent des résultats très semblables. L'ensemble des résultats couvre un domaine de 1,91 Bq/mg (3,4 %). Un rapport sur cette comparaison, dans lequel les données sont analysées de différentes façons, est disponible et peut être consulté pour plus de détails. Les moyennes non pondérée et pondérée, ainsi que la valeur médiane, sont en bon accord, comme le montre la figure 7.2 (voir p. 84).

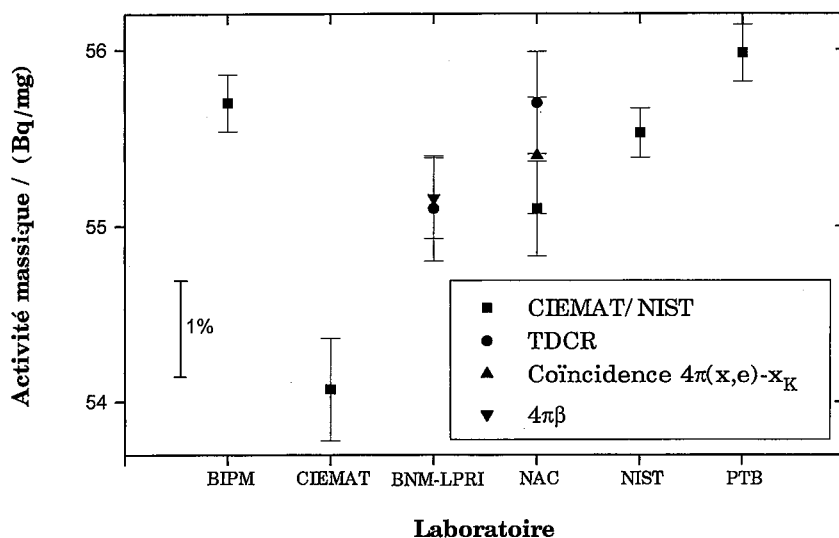


Fig. 7.1. — Résultats de la comparaison de ^{204}Tl .

La présence d'une éventuelle mesure aberrante laisse à penser qu'il subsiste un problème dans la préparation des ampoules. D'autres essais sont en cours pour trouver la composition chimique la plus appropriée pour la solution qui sera utilisée dans la comparaison à grande échelle; celle-ci est envisagée pour le second semestre de 1996.

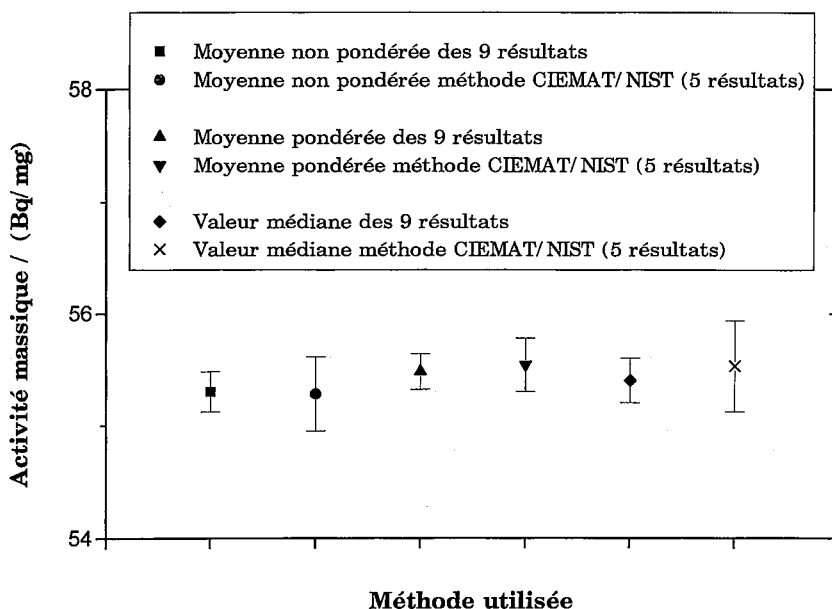


Fig. 7.2. — Résultats de la comparaison de ^{204}Tl ; représentation schématique des valeurs moyennes.

ii) *Comparaison de ^{63}Ni d'EUROMET*

Les résultats de la comparaison de ^{63}Ni organisée dans le cadre d'EUROMET ont fait l'objet d'une présentation orale lors de la réunion de l'ICRM en mai 1995. Le résultat du BIPM est à 2 % au-dessous des autres résultats. Le fait que plusieurs laboratoires ont trouvé la solution instable montre qu'il est nécessaire d'entreprendre une autre comparaison avec une autre solution et d'autres scintillateurs. Cette comparaison aura lieu au début de l'année 1996.

iii) *Comparaison préliminaire de ^{192}Ir*

Lors de la réunion de la Section II en mai 1995, il a été reconnu qu'un plus grand nombre de laboratoires devraient participer à une comparaison préliminaire de mesures d'activité de ^{192}Ir , au cours de l'automne de 1995. La décision de procéder rapidement à une comparaison préliminaire a été prise en tenant compte des nombreuses applications de ce radionucléide, en particulier en médecine, qui ont été mentionnées par plusieurs laboratoires.

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

La tendance marquée d'une nette augmentation du nombre d'ampoules envoyées au BIPM, déjà mentionnée l'an dernier, s'est confirmée. Nous avons reçu 31 ampoules contenant 19 radionucléides différents, à savoir

^{22}Na , ^{46}Sc , ^{51}Cr , ^{58}Co , ^{59}Fe , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{67}Ga , ^{85}Sr , ^{99}Mo , ^{109}Cd , ^{131}I , ^{133}Ba , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{139}Ce , ^{141}Ce , ^{192}Ir , ^{201}Tl . Cela apporte 27 résultats nouveaux provenant de 9 laboratoires (AECL, ANSTO, BARC, BNM-LPRI, ETL, IRA, KRISS, OMH et PTB). Depuis 1976, 645 ampoules au total ont été mesurées et 474 résultats indépendants provenant de 25 laboratoires et concernant 54 émetteurs différents de rayons gamma ont été consignés dans les tableaux du SIR. Les résultats font apparaître l'équivalence entre les laboratoires, avec des incertitudes comprises entre 0,04 % (^{60}Co) et 3 % (^{153}Gd) pour les radionucléides compris dans cette gamme.

Comme le BIPM a maintenant effectué un certain nombre de mesures par la technique de la scintillation liquide, une comparaison de mesures d'activité a débuté entre des solutions de ^{90}Sr de compositions chimiques semblables. Un questionnaire a été diffusé invitant les laboratoires à participer à cette comparaison et demandant des détails sur les propriétés chimiques de leurs solutions. Une fois que le BIPM aura préparé les scintillateurs appropriés, les radionucléides envoyés au BIPM seront mesurés selon la technique de scintillation liquide.

7.2.2 Statistiques de comptage : analyse robuste des comparaisons (J. W. Müller)

Le résultat d'une comparaison est généralement présenté sous la forme d'une valeur moyenne, son incertitude étant évaluée selon des règles bien établies.

Il arrive parfois qu'une analyse de ce genre soit contrariée par la présence d'un ou plusieurs résultats aberrants qui s'écartent des autres plus que prévu, si l'on considère que tous proviennent de la même population originelle. Leur présence pose un sérieux problème à celui qui est chargé de faire l'évaluation et qui doit choisir entre trois possibilités : les conserver tels qu'ils sont, les corriger ou les éliminer.

Malheureusement, ces trois procédures présentent des inconvénients. Il est évident qu'une correction peut s'accepter, mais il est rarement possible de l'apporter rétrospectivement de façon objective. Si l'on tient compte des résultats aberrants, ceux-ci faussent à la fois la valeur moyenne et son incertitude, au point parfois de les rendre inacceptables. À l'évidence, l'élimination exige une justification convaincante et elle peut être source d'ennuis pour tous ceux qui sont concernés.

Dans cette situation inconfortable, une ressource inattendue vient du domaine des « statistiques robustes », domaine qui prend de l'importance et qui concerne les méthodes conduisant à des paramètres qui sont très peu sensibles à la présence de résultats aberrants. La proposition la plus simple consiste à remplacer la valeur moyenne par un échantillon médian (ou valeur centrale). Pour une série de n valeurs selon l'ordre $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n$, la médiane, que l'on appelle $\tilde{m} = \text{med} \{x_i\}$, est

donnée par

$$\tilde{m} = \begin{cases} x_{k+1}, & \text{pour } n = 2k + 1, \\ (x_k + x_{k+1})/2, & \text{pour } n = 2k. \end{cases}$$

Il est essentiel aussi d'attribuer à ce paramètre de position une évaluation de sa précision. Pour des raisons de cohérence, l'« incertitude » ne peut plus être formulée en fonction d'écartés quadratiques, mais doit être linéaire et fondée sur les médianes. Une possibilité consiste à former la médiane des écartés absolus, dont l'abréviation traditionnelle est MAD, à savoir

$$\text{MAD} = \text{med} \{|x_i - \tilde{m}|\}, \quad \text{pour } i = 1, 2, \dots, n.$$

L'incertitude de \tilde{m} devient par conséquent

$$s(\tilde{m}) = C \cdot \text{MAD},$$

où le facteur de proportionnalité C doit être déterminé. On peut le faire en exigeant que, pour de grands échantillons pris dans une population normale, il soit égal à l'incertitude traditionnelle. Comme le montre le *Rapport BIPM-95/2*, cela conduit à la relation

$$s(\tilde{m}) \cong \frac{1,86}{\sqrt{n-1}} \text{MAD}.$$

La médiane a été évaluée pour un certain nombre de comparaisons et donne une solution très satisfaisante. En l'absence de résultats aberrants, l'incertitude est généralement un peu plus grande, mais c'est le prix à payer pour une robustesse améliorée. Dans les comparaisons internationales futures, le BIPM utilisera la médiane comme alternative robuste, en parallèle avec l'évaluation traditionnelle.

À l'évidence, une approche semblable devrait être utilisée pour presque toutes les évaluations de résultats. La situation risque cependant de se compliquer lorsque les résultats sont obtenus pendant une certaine période, car ils ne peuvent alors plus être considérés comme indépendants les uns des autres.

7.3 Publications, conférences et voyages : section des rayonnements ionisants

7.3.1 Publications extérieures

1. ALLISY A., MÜLLER J. W., Assessment of uncertainties in measurements, *ICRU News*, 1994, 2, 4-5.
2. BOUTILLON M., PERROCHE A.-M., Long-term stability of measurements in the ^{60}Co field at the BIPM, *Metrologia*, 1995, 32, 43-50.
3. BOUTILLON M., PERROCHE A.-M., A brief look at absorbed dose measurements in the ^{60}Co field, *Nucl. Instrum. Meth.*, 1995, A361, 338-341.

4. MÜLLER J. W., ICRU Report 52: Particle counting in radioactivity measurements, *ICRU News*, 1995, **1**, 31-32.
5. RATEL G., Activity concentration of a solution of ^{125}I : Results of an international comparison, *Nucl. Instrum. Meth.*, 1995, **A366**, 183-191.
6. RATEL G., Ionising Radiations at the BIPM, In *EUROMET Workshop on Ionising Radiation and Radioactivity*, Teddington, October 1994, 4 p.
7. ROBERTS P. J., National patient dose measurement protocols: an investigation on behalf of ICRU, *Rad. Prot. Dos.*, 1995, **57**, 355-358.
8. ROBERTS P. J., Implications of revisions in CEC directives on the classification of workers and designation of areas, *Rad. Prot. in Interventional Radiol.* (BIR, Londres), 1995, 11-14.
9. CHAUVENET B., DAURES J., DELAUNAY F., LEROY E., OSTROWSKY A., PERROCHE A.-M., BOUTILLON M., Comparaison des étalons de kerma dans l'air et de dose absorbée du LPR1 et du BIPM pour les photons gamma du ^{60}Co , *Bul. BNM*, 1995, n° 101, 43-45.
10. BOUTILLON M., BIPM analysis, In *IAEA Report on a Consultants' meeting on "IAEA High-Dose Intercomparison 1994"*, Report IAEA 95-CT-2253 (Mehta K. ed.).

7.3.2 Rapports BIPM

11. MÜLLER J. W., The relation between the numbers M_i and B_j , *BIPM Working Party Note 238*, janvier 1995, 3 p.
12. PERROCHE A.-M., BOUTILLON M., CSETE I., Comparison of the standards of air kerma of the OMH and the BIPM for ^{137}Cs , *Rapport BIPM-94/13*, décembre 1994, 8 p.
13. MÜLLER J. W., Sums of alternate powers – an empirical approach, *Rapport BIPM-94/14*, décembre 1994, 10 p.
14. MÜLLER J. W., Sums of factorials, *Rapport BIPM-95/1*, février 1995, 12 p.
15. MÜLLER J. W., Possible advantages of a robust evaluation of comparisons, *Rapport BIPM-95/2*, avril 1995, 7 p.
16. PERROCHE A.-M., BOUTILLON M., Comparisons and calibrations at the BIPM (1993-1995), 1995, *CCEMRI(I)/95-2*, 6 p.
17. PERROCHE A.-M., BOUTILLON M., Determination of air kerma for ^{137}Cs gamma rays, 1995, *CCEMRI(I)/95-3*, 5 p.
18. ALLISY-ROBERTS P. J., Preliminary investigation of high-energy dosimetry transfer systems, 1995, *CCEMRI(I)/95-16*, 9 p.
19. MÜLLER J. W., On the divisibility of powers of integers, *Rapport BIPM-95/6*, juillet 1995, 5 p.
20. MÜLLER J. W., Some remarks on twin primes, *Rapport BIPM-95/9*, septembre 1995, 10 p.

21. ALLISY-ROBERTS P. J., BOUTILLON M., WITZANI J., Comparisons of the standards of air kerma of the BEV and the BIPM for ^{137}Cs and ^{60}Co γ rays, *Rapport BIPM-95/5*, août 1995, 9 p.

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

J. W. Müller s'est rendu à :

— Vienne (Autriche), du 6 au 10 mars 1995, pour assister à une réunion du SSDL Scientific Committee à l'AIEA, et les 5 et 6 avril 1995, pour assister à une réunion d'experts sur une comparaison en dosimétrie des hautes doses, où il a fait un séminaire intitulé « Robust analysis of intercomparisons » ;

— Bethesda MD (É.-U. d'Amérique), du 10 au 14 avril 1995, pour une réunion de l'ICRU Committee on Quantities and Units ;

— Paris (France), du 15 au 20 mai 1995, pour assister à l'International Symposium on Radionuclide Metrology (ICRM' 95) ;

— Prague (Rép. tchèque), les 5 et 6 juin 1995, pour assister à une conférence qui s'est déroulée à l'occasion du 120^e anniversaire de la Convention du Mètre ; il y a fait une conférence sur le BIPM et ses activités ;

— Paris (France), le 12 juin 1995, au Bureau international de métrologie légale, pour la réunion conjointe du TC 3/TC 4 et du TC 3/SC 2 sur l'expression de l'incertitude de mesure et la métrologie légale ;

— Lennep (Allemagne), du 8 au 15 septembre 1995, pour la réunion annuelle de l'ICRU Main Commission où il a représenté le BIPM.

M. Boutillon s'est rendue à :

— Londres (Royaume-Uni), le 14 février 1995, pour assister à une réunion scientifique sur la dosimétrie des électrons ;

— Vienne (Autriche), du 5 au 7 avril 1995, pour assister à une réunion sur l'« IAEA High-Dose Intercomparison » à l'AIEA, où elle a présenté l'analyse de la comparaison ;

— Lennep (Allemagne), du 8 au 15 septembre 1995, pour la réunion annuelle de l'ICRU Main Commission.

A.-M. Perroche s'est rendue à Vienne (Autriche), du 19 au 21 octobre 1994, pour assister à une réunion d'experts sur l'assurance de qualité en dosimétrie radiothérapique à l'AIEA, où elle a aussi présenté une communication intitulée « Long-term stability of measurements in the ^{60}Co field at the BIPM ».

P. J. Allisy-Roberts s'est rendue à :

— Londres (Royaume-Uni), les 8 novembre 1994, 9 janvier, 27 février, 15 mai et 6 juillet 1995, pour assister au Conseil de l'UK Society for Radiological Protection ;

— Teddington (Royaume-Uni), les 24 novembre 1994, 1^{er} mai et 3 juillet 1995, pour assister à des réunions du British Committee on Radiation Units and Measurements;

— Bruxelles (Belgique), les 12 et 13 décembre 1994 et les 16 et 17 février 1995, pour assister à des réunions du groupe d'experts de l'Article 31 de la Commission européenne;

— Londres (Royaume-Uni), le 15 février 1995, pour assister à une réunion scientifique sur la dosimétrie des électrons;

— Londres (Royaume-Uni), le 3 mars 1995, pour assister à une réunion du Health and Safety Commission (UK) Ionising Radiation Advisory Committee;

— Seibersdorf (Autriche), le 6 mars 1995, pour visiter les laboratoires de dosimétrie de l'AIEA, ainsi que le service de dosimétrie alanine- α ;

— Vienne (Autriche), les 4 et 5 mai 1995, pour assister à une réunion de l'ICRP Committee 3 Report Group;

— Berlin (Allemagne), le 8 mai 1995, pour faire deux conférences devant une école d'été de la Commission des communautés européennes intitulées « Radiation dosimetry quantities and units » et « The role of international organizations in radiation metrology »;

— Luxembourg, le 31 mai 1995, pour assister à une réunion du groupe d'experts de l'Article 31 de la Commission européenne.

G. Ratel s'est rendu à :

— Teddington (Royaume-Uni), du 10 au 12 octobre 1994, pour l'atelier d'EUROMET sur les rayonnements ionisants et la radioactivité et la réunion des correspondants, tenus au NPL, où il a fait un exposé intitulé « Ionizing Radiations at the BIPM », et il a visité les laboratoires de radioactivité du NPL;

— Paris (France), du 15 au 20 mai 1995, pour assister à l'International Symposium on Radionuclide Metrology (ICRM' 95).

7.4 Activités en liaison avec des organismes extérieurs

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

P. J. Allisy-Roberts est membre du groupe d'experts de l'Article 31 de la Commission européenne et du British Committee on Radiation Units and Measurements. Elle est expert auprès du Department of Trade and Industry du Royaume-Uni pour le contrôle annuel des travaux en métrologie des rayonnements au NPL; elle est membre scientifique du

comité de surveillance de l'UK Health and Safety Commission pour les rayonnements ionisants. En 1993, elle a été nommée membre du Committee 3 de l'International Commission for Radiological Protection et en 1994, du conseil de l'UK Society for Radiological Protection.

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) jusqu'au 1^{er} mai 1995.

M. Czap (AIEA), du 3 au 5 octobre 1994, pour étalonner des chambres de transfert dans les faisceaux de rayons x et γ , et pour étalonner un électromètre et un baromètre.

M. Csete (OMH, Budapest, Hongrie), du 24 au 28 octobre 1994, pour une comparaison d'étalons de kerma dans l'air dans les faisceaux de ^{137}Cs et de ^{60}Co .

M. O. Mikkeltorg (Statens Strålevern, Østeras, Norvège), du 20 au 23 mars 1995, pour étalonner trois chambres d'ionisation (rayons x, ^{60}Co et ^{137}Cs).

M. K. Ennow (Statens Institut for Stralehygiejne, Brønshøj, Danemark), du 27 au 30 mars 1995, pour étalonner quatre chambres d'ionisation (rayons x et ^{60}Co).

M. Z. Referowski (GUM, Varsovie, Pologne) a visité le BIPM le 27 avril 1995, pour discuter de la comparaison d'étalons de kerma dans l'air dans le domaine des rayons x.

Un groupe de quatre visiteurs (BNM-LPRI, Saclay, France), le 29 mai 1995, pour étalonner une chambre de 0,5 l, utilisée pour des mesures sur l'iridium.

M. J. Witzani (BEV, Vienne, Autriche), du 6 au 9 juin 1995, pour comparer des étalons de kerma dans l'air dans les faisceaux de ^{137}Cs et de ^{60}Co .

7.5.2 Visiteurs

M. D. F. G. Reher (IMMR, Geel, Belgique), le 16 décembre 1994.

Mme N. Coursol et M. P. Berthe (BNM-LPRI, Saclay, France), le 19 décembre 1994.

M. A. Grau Malonda (CIEMAT, Madrid, Espagne), le 31 janvier 1995.

M. K. Ennow (NIRH, Brønshøj, Danemark), le 27 février 1995.

Mme S. Seralta et M. Ch. Dulieu (BNM-LPRI, Saclay, France), le 9 mars 1995.

M. G.-M. Sordi (São Paulo, Brésil), le 6 juin 1995.

M. G. Moscati (Université de São Paulo, São Paulo, Brésil), du 22 avril au 20 mai 1995.

Mme M. M. de Araújo (LNMRI, Rio de Janeiro, Brésil), les 14 et 15 juin 1995.

M. M. Nogueira Frota (INMETRO, Rio de Janeiro, Brésil), le 7 juillet 1995.

Mlle E. Leblanc et M. P. Blanchis (BNM-LPRI, Saclay, France), le 11 juillet 1995.

IV. — PUBLICATIONS DU BIPM

1. Publications générales

Depuis octobre 1994 ont été publiés :

Procès-verbaux des séances du Comité international des poids et mesures, Tome 62, 83^e session, 1994, 222 p.

Comité consultatif de photométrie et radiométrie, 13^e session, 1994, 67 p.

Comité consultatif de thermométrie, 18^e session, 1993, 80 p.

Comité consultatif pour la définition du mètre, 8^e session, 1992, 215 p.

Comité consultatif pour la quantité de matière, 1^{re} session, 1995, 38 p.

Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants, 13^e session, 1994, 141 p.

Rapport annuel de la section du temps du BIPM (1994), 1995, 7, 127 p.

Circular T (mensuelle), 4 p.

Le BIPM et la Convention du Mètre, 1995, 63 p.

2. Metrologia (D. A. Blackburn)

Le volume 31 de *Metrologia* est sorti en 1994 et au début de 1995. Pour ce volume, aux quatre numéros normaux se sont ajoutés deux numéros spéciaux. Dans un de ces deux numéros supplémentaires figurent les comptes rendus du congrès qui s'est tenu à Turin (Italie) au mois de mars 1994, intitulé « International Workshop on the Avogadro Constant and the Representation of the Silicon Mole ». L'autre numéro spécial a

été consacré aux unités en physique, sujet d'un intérêt tout particulier pour un journal consacré à la mesure. Il a rassemblé des essais relatifs à la définition des unités et à leur description, à leur histoire et à leurs applications dans les domaines scientifique, légal et commercial au niveau régional et international.

Dans le volume 31 figurent 59 articles, dont 39 portent sur des recherches en cours, 14 sont des communications faites lors de conférences, et 6 appartiennent à la rubrique des rapports internationaux. Entre le 1^{er} janvier 1994 et le 31 décembre 1994, 64 articles portant sur des recherches ont été soumis pour publication. Sur ce nombre 37 ont été effectivement publiés, 1 va l'être, 18 ont été rejetés, 5 ont été retirés par leurs auteurs et 3 sont en cours d'examen. Entre le 1^{er} janvier et le 31 mai 1995, 36 articles portant sur des recherches et 8 rapports internationaux ont été soumis pour publication. Au 31 mai 1995, 9 des articles portant sur des recherches ont été publiés, 2 articles ont été acceptés, 3 ont été refusés et 22 étaient encore en cours d'examen.

V. — RÉUNIONS ET EXPOSÉS AU BIPM

1. Réunions

Le CCU s'est réuni les 21 et 22 février 1995.

Le Groupe de travail du CCDS sur le TAI s'est réuni les 13 et 14 mars 1995.

Le CCQM s'est réuni les 19 et 20 avril 1995.

La Section I du CCEMRI s'est réunie du 24 au 26 avril 1995.

La Section III du CCEMRI s'est réunie les 27 et 28 avril 1995.

La Section II du CCEMRI s'est réunie du 9 au 11 mai 1995.

Le CCE s'est réuni les 14 et 15 juin 1995.

2. Exposés

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

S. R. Domen (NIST, Gaithersburg, É.-U. d'Amérique) : Progress in water calorimetry, 18 octobre 1994.

M. Boutillon : Un coup d'oeil sur la détermination de la dose absorbée dans l'eau, 30 novembre 1994.

G. Bonnier (BNM-INM, Paris, France) : Un nouvel outil en métrologie : le caloduc, 15 décembre 1994.

A. Labeyrie (Collège de France, Paris, France) : Interférométrie stellaire, 19 janvier 1995.

J. W. Müller : Les valeurs moyennes – sont-elles fiables ?, 17 février 1995.

O. Tengblad (CERN, Genève, Suisse) : The ISOLDE facility at CERN, 17 mars 1995.

L. Vitouchkine : Measurements of gravity gradients, 18 avril 1995.

VI. — CERTIFICATS ET NOTES D'ÉTUDE

Du 1^{er} octobre 1994 au 30 septembre 1995, 54 Certificats et 3 Notes d'étude ont été délivrés.

CERTIFICATS

1994

N^{os}

- | | |
|---|---|
| 48. Étalon de résistance de 10 000 Ω ,
n° K201099330104 | Czech Metrological Institute, Brno,
République tchèque. |
| 49. Étalon de résistance de 1 Ω ,
n° S-64173 | Commonwealth Scientific and
Industrial Research Organization,
Lindfield, Australie. |
| 50. Étalon de résistance de 1 Ω ,
n° S-64177 | Id. |
| 51. Étalon de résistance de 1 Ω ,
n° S-60657 | Id. |
| 52. Étalon de résistance de 1 Ω ,
n° 1894050 (addition) | Centro Español de Metrología,
Madrid, Espagne. |
| 53. Étalon de résistance de 1 Ω ,
n° 1894056 (addition) | Id. |
| 54. Étalon de résistance de 10 000 Ω ,
n° 224109 (addition) | Id. |
| 55. Chambre d'ionisation,
NE 2561-007 | Council for Scientific and Industrial
Research, Pretoria,
Afrique du Sud. |
| 56. Laser à hélium-néon de
longueur d'onde 633 nm, n° R01 | Institut de physique atomique
(IFA/IFTAR), Bucarest,
Roumanie. |
| 57. Étalon de masse de 1 kg, n° K30,
en acier inoxydable | Instituto Nacional de Tecnología
Industrial, Buenos Aires,
Argentine. |
| 58. Étalon de masse de 1 kg, n° 48,
en acier inoxydable | Id. |
| 59. Étalon de masse de 1 kg,
en bars (addition) | Committee for Standardization
Certification and Metrology,
Sofia, Bulgarie. |
| 60. Étalon de masse de 1 kg, n° E'69,
en « Immaculate V » (addition) | FORBAIRT, Dublin, Irlande. |
| 61. Étalon de masse de 1 kg, « Mettler-S »,
en acier inoxydable | Industrial Research Limited, Lower
Hutt, Nouvelle-Zélande. |
| 62. Étalon de masse de 1 kg,
en acier inoxydable | Laboratorio Tecnológico del
Uruguay, Montevideo, Uruguay. |
| 63. Étalon de masse de 1 kg, n° 102,
en Nicral D (addition) | Department of Science Service,
Bangkok, Thaïlande. |

- | | | |
|-----|---|---|
| 64. | Deux chambres d'ionisation,
NE 2561-265 et NE 2561-321 | Agence internationale de l'énergie
atomique. |
| 65. | Chambre d'ionisation,
NE 2571-1018 | Id. |

1995

N^{os}

- | | | |
|-----|---|---|
| 1. | Six étalons secondaires d'intensité
lumineuse (2 800 K),
n ^{os} 101, 202, 505, 606, 1961, 2171
(addition) | Comité de la qualité, Sofia,
Bulgarie. |
| 2. | Deux chambres d'ionisation,
HS01-102 et LS01-115 | Agence internationale de l'énergie
atomique. |
| 3. | Laser à hélium-néon de longueur
d'onde 633 nm, n ^o UME-L3 | Centre de recherches MARMARA,
Gebze-Kocaeli, Turquie. |
| 4. | Étalon de force électromotrice
à diode de Zener, n ^o 594 0003 | Institut national de métrologie,
Bucarest, Roumanie. |
| 5. | Étalon de résistance de 10 000 Ω ,
n ^o 5885009 | Id. |
| 6. | Étalon de résistance de 10 000 Ω ,
n ^o 5885010 | Id. |
| 7. | Étalon de force électromotrice
à diode de Zener, n ^o 574 0201 | Inspection générale de la
métrologie, Bruxelles, Belgique. |
| 8. | Étalon de résistance de 1 Ω ,
n ^o 76124 (addition) | Országos Mérésügyi Hivatal,
Budapest, Hongrie. |
| 9. | Étalon de résistance de 1 Ω ,
n ^o 470419 (addition) | Id. |
| 10. | Étalon de résistance de 1 Ω ,
n ^o 74941 (addition) | Office central des mesures,
Varsovie, Pologne. |
| 11. | Étalon de résistance de 1 Ω ,
n ^o 75735 (addition) | Id. |
| 12. | Étalon de force électromotrice à diode de
Zener, n ^o 88 062 732 (449 5011)
(addition) | Instituto Nacional de Engenharia e
Tecnologia Industrial, Lisbonne,
Portugal. |
| 13. | Deux chambres d'ionisation,
NE 2561-068 et NE 2561-332 | Statens Institut for Strålehygiejne,
Brønshøj, Danemark. |
| 14. | Deux chambres d'ionisation,
NE 2532/3-171057 et NE 2561-068 | Id. |
| 15. | Chambre d'ionisation,
NE 2561-099 | Statens Strålevern, Osterås,
Norvège. |
| 16. | Chambre d'ionisation,
NE 2536-R17786 | Id. |
| 17. | Chambre d'ionisation,
Capintec PR-06G 8429 | Id. |
| 18. | Étalon de masse de 1 kg, n ^o 2,
en acier inoxydable | Center for Measurement Standards,
Hsinchu, Taïwan. |
| 19. | Prototype de masse n ^o 78 | Id. |

20. Quatre étalons secondaires d'intensité lumineuse (2800 K), n ^{os} 1B-1988, 562, 475, 429	Elektrotechnický Zkusebni Ústav, Prague, République tchèque.
21. Deux étalons secondaires de température de couleur, n ^{os} 2710 et 2714	Id.
22. Deux étalons secondaires de température de couleur, n ^{os} 411 et 505	Id.
23. Chambre d'ionisation, Babyline	Laboratoire primaire des rayonnements ionisants, Saclay, France.
24. Laser à hélium-néon de longueur d'onde 633 nm, LC2 n ^o C21	Centro Nacional de Metrologia, Querétaro, Mexique.
25. Étalon de résistance de 1 Ω , n ^o 59 099 (addition)	Czech Metrological Institute, Prague, République tchèque.
26. Étalon de résistance de 1 Ω , n ^o 157 360 (addition)	Id.
27. Étalon de résistance de 1 Ω , n ^o 176 148	Id.
28. Étalon de résistance de 1 Ω , n ^o 225 323 (addition)	Id.
29. Étalon de résistance de 10 000 Ω , n ^o K 201 099 330 104 (addition)	Id.
30. Étalon de résistance de 10 000 Ω , n ^o 149 372	Id.
31. Étalon de résistance de 10 000 Ω , n ^o 93 851	Id.
32. Étalon de force électromotrice à diode de Zener, n ^o 24489-8 (addition)	Czech Metrological Institute, Brno, République tchèque.
33. Trois piles étalons, n ^{os} 6653, 6656 et 6670 (addition)	Office central des mesures, Varsovie, Pologne.
34. Trois piles étalons, n ^{os} 32937, 32933 et 32949 (addition)	Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest, Hongrie.
35. Étalon de force électromotrice à diode de Zener, n ^o 599 000 9	Id.
36. Étalon de force électromotrice à diode de Zener, n ^o 4185005	National Metrology Laboratory, Dublin, Irlande.

NOTES D'ÉTUDE

1995

N^{os}

1. Deux étalons secondaires de flux lumineux (2353 K), n ^{os} 3/87 et 11/527 (addition)	Comité de la qualité, Sofia, Bulgarie.
2. Deux piles étalons, n ^{os} 41832 et 41953	Office central des mesures, Varsovie, Pologne.
3. Pile étalon, n ^o 32939 (addition)	Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest, Hongrie.

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 1994.

Compte I. — Fonds ordinaires*

RECETTES

	francs-or
ACTIF AU 1 ^{er} JANVIER 1994	18 931 178,64
Recettes budgétaires	23 340 651,10
Taxes sur les achats remboursées	568 171,66
Différences de change	87 721,94
Total	42 927 723,34

DÉPENSES

	francs-or
Dépenses budgétaires	22 013 747,22
Taxes sur les achats remboursables	712 238,50
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1994	176 401,68
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1994	20 025 335,94
Total	42 927 723,34

DÉTAIL DES RECETTES BUDGÉTAIRES

		francs-or
Versement de contributions :		
au titre de l'exercice 1994	17 814 000	}
au titre de l'exercice 1993	2 335 960	
au titre de l'exercice 1992	104 904	
au titre de l'exercice 1991 et antérieurs	106 589	
au titre de l'exercice 1995	988 450	
Intérêts des fonds		1 663 991,79
Recettes diverses		
cession de prototypes (kg)	126 190,40	}
divers	200 565,91	
Total		23 340 651,10

* 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 1994 se sont élevées à 22 013 747,22 francs-or pour un budget voté s'élevant à 24 393 000 francs-or.

DÉTAIL DES DÉPENSES BUDGÉTAIRES

Chapitres	Dépenses de l'exercice	Budget voté	Économies	Dépassements
<i>A. Dépenses de personnel :</i>				
1. Traitements	11 015 120.13	11 056 000	40 879.87	-
2. Allocations familiales et sociales.	1 784 179.55	1 832 000	47 820.45	-
3. Assurance maladie (a)	984 372.56	979 000	-	5 372.56
4. Assurance accidents du travail	42 118.68	42 000	-	118.68
5. Caisse de retraite (b)	1 769 000.00	1 769 000	-	-
	15 594 790.92	15 678 000		
<i>B. Dépenses de fonctionnement :</i>				
1. Mobilier	53 234.36	30 000	-	23 234.36
2. Laboratoires et ateliers	791 267.22	1 140 000	348 732.78	-
3. Chauffage, eau, énergie électrique.	421 721.76	529 000	107 278.24	-
4. Assurances	75 750.06	77 000	1 249.94	-
5. Impressions et publications	98 449.50	239 000	140 550.50	-
6. Frais de bureau	371 761.39	400 000	28 238.61	-
7. Voyages et transports d'appareils.	538 281.77	571 000	32 718.23	-
8. Entretien courant	330 847.61	390 000	59 152.39	-
9. Bureau du Comité	48 000.00	48 000	-	-
	2 729 313.67	3 424 000		
<i>C. Dépenses d'investissement :</i>				
1. Laboratoires	1 922 309.47	2 430 000	507 690.53	-
2. Atelier de mécanique	125 345.55	95 000	-	30 345.55
3. Bibliothèque	268 539.92	258 000	-	10 539.92
	2 316 194.94	2 783 000		
D. Dépenses de bâtiments (gros travaux d'entretien et de rénovation)	869 035.88	755 000	-	114 035.88
E. Frais divers et imprévus (c) (d)	504 411.81	365 000	-	139 411.81
Sous totaux	22 013 747.22	23 005 000	1 314 311.54	323 058.76
F. Réserves	2 379 252.78	1 388 000	-	991 252.78
Totaux	24 393 000.00	24 393 000	1 314 311.54	1 314 311.54

(a) Comprenant un virement de 339 785,31 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 24 303 francs-or au Compte IV (Caisse de prêts sociaux).
 (d) Comprenant un virement de 54 760,83 francs-or au Compte VI (Metrologia).

Compte II. — Caisse de retraite

RECETTES

	francs-or
ACTIF AU 1 ^{er} JANVIER 1994	17 555 532,69
Retenues sur les traitements	1 000 297,00
Virement du Compte I	1 769 000,00
Intérêts des fonds	1 439 672,14
Total	<u>21 764 501,83</u>

DÉPENSES

	francs-or
Pensions servies	3 338 724,08
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1994	160 900,03
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1994	18 264 877,72
Total	<u>21 764 501,83</u>

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

RECETTES

	francs-or
ACTIF AU 1 ^{er} JANVIER 1994	0,00
Contribution d'entrée de Singapour	115 335,00
Total	<u>115 335,00</u>

DÉPENSES

	francs-or
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1994	986,47
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1994	114 348,53
Total	<u>115 335,00</u>

Compte IV. — Caisse de prêts sociaux

RECETTES

		francs-or
ACTIF AU 1 ^{er} JANVIER 1994	319 986,37	} 398 083,17
Créances au 1 ^{er} janvier 1994	78 096,80	
Créances nouvelles en cours d'année		393 492,49
Amortissements partiels des prêts :		
Capital	133 951,58	} 143 066,70
Intérêts	9 115,12	
Virement du Compte I		24 303,00
Intérêts des fonds		11 707,40
Total		<u>970 652,76</u>

DÉPENSES

		francs-or
Prêts consentis en cours d'année		393 492,49
Créances amorties en cours d'année		133 951,58
Créances au 31 décembre 1994	337 637,71	} 443 208,69
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1994	105 570,98	
Total		<u>970 652,76</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	421 454,71
Virement du Compte I	54 760,83
Total	<u>476 215,54</u>

DÉPENSES

	francs-or
Dépenses de fonctionnement	466 658,23
Dépenses d'investissement	9 557,31
Total	<u>476 215,54</u>

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

RECETTES

	francs-or
ACTIF AU 1 ^{er} JANVIER 1994	1 165 671,44
Virement du Compte I	339 785,31
Intérêts des fonds	103 451,62
Total	<u>1 608 908,37</u>

DÉPENSES

	francs-or
Subvention des cotisations des retraités	3 184,80
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1994	14 021,94
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1994	1 591 701,63
Total	<u>1 608 908,37</u>

Bilan au 31 décembre 1994

	francs-or
Compte I « Fonds ordinaires »	20 025 335,94
Compte II « Caisse de retraite »	18 264 877,72
Compte III « Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique »	114 348,53
Compte IV « Caisse de prêts sociaux »	443 208,69
Compte V « Réserve pour les bâtiments »	0,00
Compte VI « Metrologia »	0,00
Compte VII « Fonds de réserve pour l'assurance maladie »	1 591 701,63
	<hr/>
ACTIF NET	40 439 472,51
	<hr/> <hr/>

Cet actif net se décompose comme suit :

a. Fonds déposés en banque :

	francs-or
1° En monnaie française (1 FRF = 0,551 109 935 FO)	7 372 033,77
2° En monnaie U.S.A. (1 USD = 5,3460 FRF = 2,946 233 715 FO) . . .	4 391 195,71
3° En monnaie suisse (1 CHF = 4,0763 FRF = 2,246 489 430 FO) . . .	38,66
4° En monnaie britannique (1 GBP = 8,3545 FRF = 4,604 247 955 FO)	29 023,06
5° En monnaie allemande (1 DEM = 3,4513 FRF = 1,902 045 720 FO)	4 337 388,99
6° En monnaie japonaise (100 JPY = 5,3610 FRF = 2,954 500 364 FO).	62 936,62
7° En monnaie hongroise (1 HUF = 0,0488 FRF = 0,026 894 165 FO).	2 714,88
8° En monnaie néerlandaise (1 NLG = 3,0811 FRF = 1,698 024 822 FO)	5 308 096,98
9° En monnaie belge (1 BEF = 0,1679 FRF = 0,092 531 358 FO) . . .	1 984 513,28
10° En monnaie danoise (1 DKK = 0,8789 FRF = 0,484 370 522 FO) . .	4 989 413,94
11° En monnaie italienne (1 000 ITL = 3,2920 FRF = 1,814 253 907 FO)	1 568 470,71
12° En monnaie espagnole (100 ESP = 4,0575 FRF = 2,236 128 563 FO)	1 788 902,85
13° En ECU (1 XEU = 6,5560 FRF = 3,613 076 737 FO)	8 351 285,19

b. Espèces en caisse 20 346,42

ACTIF BRUT 40 206 361,06

c. Créances de la Caisse de prêts sociaux 337 637,71

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

e. Sommes reçues de l'ex-Yougoslavie à déduire 85 877,26

ACTIF NET 40 439 472,51

(1) Compte « Remboursement aux États »

	francs-or
Situation au 1 ^{er} janvier 1994	18 649,00
Situation au 31 décembre 1994	18 649,00
	<hr/> <hr/>

NOTICE NÉCROLOGIQUE

Luigi CROVINI

1937 - 1995

Luigi Crovini, né à Turin le 1^{er} septembre 1937, est décédé subitement le 21 octobre 1995. À l'époque de son décès, il était directeur de l'Istituto di Metrologia G. Colonnetti (IMGC), directeur du Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) et secrétaire adjoint du Comité international des poids et mesures (CIPM). Jusqu'en 1989, il fut aussi Professeur associé au Politecnico de Turin. Ces différentes responsabilités reflètent les divers aspects de sa vie professionnelle qui a débuté après sa formation d'ingénieur en électronique, comme « Laurea », au Politecnico de Turin en 1961, s'est poursuivie par son engagement à l'Istituto Termometrico Italiano du CNR et a finalement conduit à sa carrière internationale en métrologie.

Après l'obtention de son diplôme en 1961, il devint Professeur assistant en physique jusqu'en 1972. Il obtint un doctorat en thermométrie en 1969. De 1972 à 1989 il travailla à temps partiel au Politecnico de Turin, où il donna un cours sur les mesures de température et leur contrôle, et devint en 1986 Professeur associé. Au cours de ces années, ses rapports étroits avec l'enseignement de la physique théorique et pratique ont considérablement enrichi ses principales activités en métrologie, qu'il a exercées dans un institut du CNR, l'Istituto Termometrico, qui devait devenir l'Istituto di Metrologia G. Colonnetti. Il devient de plus en plus difficile pour les directeurs des instituts nationaux de métrologie de maintenir de tels liens avec l'enseignement, mais les bénéfices d'une telle activité sont évidents aux yeux de tous. À cet égard, on se souviendra de Luigi comme co-directeur, principal organisateur et enseignant du CX^e Cours de l'Enrico Fermi International School of Physics « Metrology at the Frontiers of Physics and Technology » qui a eu lieu à la Villa Marigola à Lerici en 1989.

L'Istituto Termometrico Italiano (créé en 1957), que Luigi a rejoint en 1962, a fusionné en 1968 avec un autre institut du CNR, l'Istituto Dinamometrico Italiano (créé en 1956), pour former l'Istituto di Metrologia « Gustavo Colonnetti », l'IMGC. Luigi devint chef du Département de Thermométrie de l'IMGC en 1970, il fut nommé directeur de la recherche

au CNR en 1975 et a succédé au professeur Anthos Bray comme directeur de l'IMGC en 1990. Ses domaines d'intérêt étaient vastes et parmi les publications parues sous son nom dans des journaux à « referees », dont le nombre dépasse la centaine, nous trouvons des articles sur les mesures et les échelles de température, mais aussi sur les propriétés thermiques des matériaux, les mesures du bruit, les mesures d'humidité et divers aspects théoriques sur les mesures. Il est peut-être mieux connu pour ses travaux sur l'utilisation du thermomètre à bruit pour la détermination de la température thermodynamique qu'il a effectués en collaboration avec son collègue Antonio Actis pendant de nombreuses années. Plus récemment, il a consacré beaucoup de temps et d'efforts à la réalisation d'étalons d'humidité, un sujet d'une grande importance pour l'industrie qui n'a pas reçu l'attention qu'il méritait dans de nombreux instituts de métrologie : ses travaux dans ce domaine ont donc une valeur toute particulière.

Luigi Crovini était intimement concerné par les importants changements qui ont eu lieu en Europe dans le domaine de la métrologie dans les années 1980, et qui sont liés à l'extension rapide des activités métrologiques menées sous les auspices de la Commission européenne dans le cadre du programme du Bureau communautaire de référence (BCR) ainsi qu'à la fondation et aux progrès d'EUROMET. À l'époque de son décès, il était le délégué de l'Italie au comité consultatif du programme de mesure et d'essais de la Commission européenne (qui a succédé au BCR) et était le délégué de l'Italie au comité d'EUROMET. Dans ces deux organismes, il a exercé une grande influence et son point de vue était très respecté.

Luigi Crovini fut élu membre du Comité international des poids et mesures en 1992. Ses liens avec le Bureau international des poids et mesures sont, toutefois, bien antérieurs. Depuis 1971, il était le délégué de l'IMGC au Comité consultatif de thermométrie (CCT) et il a pris part aux réunions de ce comité depuis la neuvième session en 1971 jusqu'à la dix-huitième session en 1993, époque à laquelle il en devint le président. À la fin des années 1980, il joua un rôle clé dans l'établissement de l'Échelle internationale de température de 1990 (EIT-90) en qualité de président du groupe de travail 3 du CCT sur la « Définition du domaine du thermomètre à résistance de platine dans l'EIT-90 ». Depuis lors, le thermomètre à résistance de platine est utilisé dans l'EIT-90 dans un domaine très étendu, qui va du point triple de l'hydrogène en équilibre (13,8033 K) au point de congélation de l'argent (961,78 °C) ; il a assumé une très lourde responsabilité en ce domaine, avec beaucoup de distinction et de succès. Depuis l'adoption de l'EIT-90, il est devenu clair que le CCT avait fait le bon choix pour la définition de la fonction d'interpolation du thermomètre à résistance de platine dans ce domaine. Lors de la session de 1989 du CCT, au cours de laquelle de nombreux détails ont été mis au point, ce sont la personnalité de Luigi, son charme ainsi que ses connaissances et son expérience considérables qui ont permis de résoudre de nombreux points délicats. Au cours du peu de temps où il fut le président du CCT, il a engagé des études sur la mise en pratique de l'EIT-90 et son extension à

de plus basses températures, et il a aussi pris en charge le nouveau groupe de travail conjoint avec le Comité consultatif de photométrie et radiométrie sur les méthodes pyrométriques de mesure de la température.

Peu après son élection au Comité international, il fut clair qu'il deviendrait un personnage clé pour les affaires du Comité et, par conséquent, du Bureau international. Ses vastes connaissances et son expérience en métrologie, le grand respect qu'il inspirait, rendaient inévitable son élection, peu de temps après, comme membre du bureau du Comité, une décision prise par le Comité lors de sa session de septembre 1994. Il fut alors élu secrétaire adjoint avec l'intention de lui confier ensuite l'importante fonction de secrétaire. Malheureusement ce ne fut pas le cas, et peu après la fin de la vingtième Conférence générale des poids et mesures, alors qu'il se trouvait à son domicile de Turin, il nous fut repris et il a laissé un grand vide dans le monde.

T. J. QUINN

(T. J. QUINN tient à remercier T. RICOLFI
et ses collègues de l'IMGC
pour les informations qu'ils lui ont transmises
sur les travaux de L. Crovini à Turin)

Janvier 1996

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

REPORT OF THE MEETING

Note on the use of the English text

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

Note sur l'utilisation du texte anglais

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

THE BIPM

AND THE CONVENTION DU MÈTRE

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

The BIPM has its headquarters near Paris, in the grounds (43 520 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.

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

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 the 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 the 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 radiation (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 1995, 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 the CIPM, is composed of delegates from the major metrology laboratories and specialized institutes, a list of which is drawn up by the CIPM, as well as individual members also appointed by the CIPM and one representative of the BIPM. These committees hold their meetings at irregular intervals; at present there are 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 (CEMRI)*, set up in 1958. In 1969 this committee established four sections: Section I (Measurement of x and γ rays, electrons), Section II (Measurement of radionuclides), Section III (Neutron measurements), Section IV (α -energy standards). In 1975 this last section was dissolved and Section II 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 5 October 1995

President

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

Secretary

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

Members

3. W.R. BLEVIN, Division of Applied Physics, CSIRO, P.O. Box 218, Bradfield Road, Lindfield NSW 2070, Australia. *Vice-President*.
4. P.B. CLAPHAM, former 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, Director, Joint Laboratory of High Technology Metrology and Measurement, Adviser, China State Bureau of Technical Supervision, BP 8010, Beijing 100088, People's Republic of China.
7. K.B. GEBBIE, Director, Physics Laboratory, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899-0001, USA.
8. E.S.R. GOPAL, Director, National Physical Laboratory of India, Dr K.S. Krishnan Road, New Delhi 110012, India.
9. K. IIZUKA, c/o National Research Laboratory of Metrology, 1-1-4 Umezono, Tsukuba 305, Japan.

* We were informed of the death of Prof. Crovini on 21 October 1995. An obituary is given on page 207.

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. G. MOSCATI, Instituto de Fisica, Universidade de São Paulo, Caixa Postal 66318, 05389-970 São Paulo SP, Brazil.
13. P. PÂQUET, Director, Observatoire Royal de Belgique, 3 avenue Circulaire, B-1180 Brussels, Belgium.
14. K. SIEGBAHN, Institute of Physics, University of Uppsala, Box 530, 75121 Uppsala 1, Sweden.
15. J. SKÁKALA, Professor, Slovak Technical University, Nám. Slobody 17, 812 31 Bratislava, Slovak Rep. *Vice-President*.
16. R. STEINBERG, Department of Physics and Metrology, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, 1101 Buenos Aires, Argentina.
17. Yu V. TARBEYEV, Director General, D.I. Mendeleev Institute for Metrology, Moskovsky prosp. 19, 198005 Saint-Petersburg, Russian Fed.
18. J. VANIER, former Director General, Institute for National Measurement Standards, National Research Council of Canada, Ottawa K1A 0S1, Canada.

Honorary members

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

STAFF
OF THE
BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

on 1 January 1996

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, Mr P. Wolf⁽¹⁾
Miss H. Konaté, Mr P. Moussay, Mrs M. Thomas

Electricity: Dr T.J. Witt

Mr F. Delahaye, Dr J. Melcher⁽¹⁾, 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 radiation: Dr J.W. Müller

Dr P. Allisy-Roberts, Mrs M. Boutillon, 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 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

* We were informed of the death of Mr H. Moreau on 12 April 1996.

AGENDA

1. Opening of the meeting; quorum; agenda.
 2. Report of the Secretary and activities of the bureau of the Comité (October 1994 – September 1995).
 3. The Convention du Mètre and the Organisation Internationale de Métrologie Légale.
 4. Twentieth Conférence Générale des Poids et Mesures.
 5. Comités Consultatifs:
 - report of the CCE,
 - report of the CCU,
 - report of the CCQM,
 - report of the CCDS working group on TAI,
 - report of Sections I, II and III of the CCEMRI,
 - report of the CCM *ad hoc* working group on the Avogadro constant,
 - future meetings,
 - presidency of Comités Consultatifs.
 6. Work of the BIPM: Report of the Director:
 - work of the BIPM,
 - traceability.
 7. Administrative and financial affairs:
 - “Rapport aux Gouvernements” for 1994,
 - quitus for 1994,
 - progress report on the 1995 exercise,
 - promotions,
 - staff Statutes.
 8. CIPM membership.
 9. Other business.
-

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

84th Meeting
(5, 6 and 12 October 1995)

PROCEEDINGS OF THE SESSIONS

D. Kind, President

The Comité International des Poids et Mesures (CIPM) held its 84th meeting on Thursday 5, Friday 6 and Thursday 12 October 1995. In all, five sessions were held, the first four at the Pavillon de Breteuil, and the fifth at the Centre de Conférences Internationales of the Ministère des Affaires Étrangères, in Paris.

Present: Messrs. BLEVIN, CLAPHAM, CROVINI, GAO Jie, Mrs GEBBIE, Messrs. GOPAL, IIZUKA, KAARLS, KIND, KOVALEVSKY, MOSCATI, PÂQUET (absent on 12 October), SIEGBAHN, SKÁKALA, TARBEYEV, VANIER (absent on 12 October) 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: Dr LOUNASMAA and Professor STEINBERG.

1. Opening of the meeting; quorum; agenda

The President opened the 84th meeting of the Comité International des Poids et Mesures (CIPM) and welcomed the members present, in particular Dr Moscati from Brazil, recently elected, 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 preparatory work for this meeting.

He noted that the quorum was satisfied, according to Article 12 of the Convention du Mètre.

The agenda was adopted after adding two items, one on CIPM membership (item 8), the other on the equivalence of primary standards (item 6.2). It was decided that the question of CIPM membership should always figure explicitly in the agenda.

The President informed members of a change in the time schedule of the Conférence Générale which had to be made because of a strike of public servants in France on 10 October. He announced that, since the Parc de Saint-Cloud would be closed, the visit to the laboratories of the BIPM and the reception due to take place that day, would be transferred to Wednesday 11 in the afternoon. He noted that he would write a letter of protest to the French Ministre des Affaires Étrangères requesting that steps be taken to ensure that, in the future, access to the BIPM is guaranteed at all times.

He then invited the Secretary of the Comité to present his report.

2. Report of the Secretary of the CIPM and activities of the bureau of the Comité (October 1994 - September 1995)

Professor Kovalevsky, Secretary of the CIPM, presented the following report in which he informs the Comité of events concerning the Member States of the Convention du Mètre, of changes in membership of the Comité and summarizes the financial position of the BIPM. His report also includes a brief account of the activities of the bureau of the Comité since October 1994.

The bureau met three times during the year, twice at the Pavillon de Breteuil and once at the Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.

Member States of the Convention du Mètre

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

Membership of the Comité International

The vacancy on the Comité International, created by the death of Tomasz Plebanski, was filled by the election on 30 January 1995 of Professor Georgio Moscati.

Professor Moscati is Professor of Physics at the Instituto de Fisica of the University of São Paulo, Brazil.

The twentieth Conférence Générale

The bureau approved the text of the “Programme de Travail et Budget du BIPM pour les quatre années 1997-2000” which was sent to member governments in March 1995. The bureau also discussed the effect of the revised United Nations contributions coefficients on the contributions to the BIPM of the Member States of the Convention du Mètre. Some of the changes consequent upon this revision have resulted in significant changes in contributions to the dotation of the BIPM. The Director informed Embassies in Paris (and also members of the Comité) of the revised contributions for 1995, indicating to each one the amount that will, in consequence, be added to or subtracted from the 1996 *Notification*. The Secretary added that a further revision of the contribution coefficients for 1996 had just been communicated to the BIPM from the United Nations in New York. These latest changes, while not insignificant, are not as large as the earlier ones. Copies of the new coefficients were distributed to members of the Comité. The Director noted that the government of every Member State of the UN had already received this document.

The Report of the President of the Comité International to the Conférence Générale was approved by the bureau.

The Organisation Internationale de Métrologie Légale and the Convention du Mètre

The proposal concerning the possible coming together of the Organisation Internationale de Métrologie Légale (OIML) and the Convention du Mètre, made on 29 March 1995 to the Secretary of the Comité and the Director of the BIPM by the French Ministère des Affaires Étrangères, was immediately communicated to the bureau of the Comité. During the following months extensive discussions took place among members of the bureau on the position to be taken. Members of the Comité International were informed of this initiative and the response of the bureau in a letter from the Director dated 29 June 1995. Further information, including a copy of the Diplomatic Note sent to member governments by the French Ministère des Affaires Étrangères, was sent to members of the Comité by the Director on 17 July 1995. To this letter was attached a copy of a letter the Director had sent to those directors of national metrology institutes of Member States of the Convention du Mètre, insofar as they were known to him.

The bureau is unanimous and firm in its opinion that if the OIML and the Convention du Mètre are to come together, a proposal with which the bureau is fully in agreement, it must be under the Convention du Mètre and, in consequence, the legal metrology activities thereby included must be carried out under the authority of the CIPM.

The bureau proposed that this important matter be taken by the Conférence Générale as an additional item to the draft agenda and placed immediately after the Report of the President of the Comité International.

Financial affairs of the BIPM

The table below shows the assets of the BIPM, in gold francs, on 1 January of the year noted at the head of each column. Note that by decision of the CIPM in 1994, 4 million gold francs were transferred at the beginning of January 1995 from Ordinary funds to the Pension fund, thereby increasing the latter to about 22,3 million gold francs and reducing the former to about 16 million gold francs.

Accounts	1992	1993	1994	1995
I. — Ordinary funds	12 431 411,07	12 113 526,07	18 931 178,64	20 025 335,94
II. — Pension fund	15 364 041,35	16 395 611,25	17 555 532,69	18 264 877,72
III. — Special fund for the improvement of scientific equipment .	172 765,56	171 995,64	0,00	114 348,53
IV. — Staff loan fund	327 514,70	358 173,05	398 083,17	443 208,69
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	728 727,58	1 165 671,44	1 591 701,63
Totals	28 295 732,68	29 768 033,59	38 050 465,94	40 439 472,51

Other business

The bureau discussed various other matters. These included proposals from the Director for certain minor modifications to the staff Statutes related principally to invalidity retirements, sick leave and part-time working, recruitment of staff for the Ionizing Radiation section and some BIPM personnel matters.

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

The question of future relationships between the organs of the Convention du Mètre and the OIML led to a lengthy discussion.

Dr Quinn said the proposal of the French Ministère des Affaires Étrangères on 29 March 1995 for a rapprochement between the BIPM and the OIML was a complete surprise to the bureau of the Comité. He gave a brief summary of the events that had taken place since the meeting of the bureau in March. The Secretary informed members of the CIPM that the French Ministère des Affaires Étrangères had received eighteen replies to its diplomatic note of July 1995, all more or less positive.

The President said he well understood that it is politically attractive to merge the two intergovernmental institutions dealing with metrology

in the expectation of saving significant amounts of money. In fact, little would be saved in the first instance as the activities of the two institutes do not greatly overlap. The reason for considering a merger should not, therefore, be financial. It should be related to developments now taking place world-wide in matters related to metrology, in particular the rapid growth in national and international accreditation of metrology institutes, the important role being taken by the directives of the European Union related to metrology and the increasing need for the developing countries of the world to put in place a metrological infrastructure as soon as possible. A single intergovernmental organization for metrology may be better placed to face up to the changing requirements in international metrology than two separate ones. The President circulated a draft resolution to the Conférence Générale, written by the bureau, concerning the joint working group with the OIML, as proposed in the French government's diplomatic note to Member States. The Comité discussed and approved this draft Resolution. (Following preliminary contact with the President of the OIML and the Director of the Bureau International de Métrologie Légale (BIML) during the Conférence Générale, it was agreed that the bureau of the Comité and corresponding members of the OIML would constitute this working group and that the first meeting will take place at the Pavillon de Breteuil on 22 and 23 February 1996.)

The broad conclusions of the Comité's wide ranging discussion on the French government proposal were that the Comité approves the response of the bureau to the proposal, and in particular the proposals for how it might be accomplished, but that before any final decisions are taken the effects on the two organizations of changing external demands must be carefully examined.

4. Twentieth Conférence Générale

Dr Quinn gave details of the practical arrangements for the Conférence Générale. He presented the proposed addition to the provisional agenda of the Conférence, on future relations with the OIML, that will be discussed under item 6a of the agenda just after the President's report.

Dotation

The President reminded members that an *ad hoc* committee on the dotation is set up by the Conférence Générale at the beginning of the Conférence to prepare a proposal on the dotation of the BIPM to be voted at the end of the Conférence.

Dr Quinn said that it is the practice that twelve Member States are represented on this committee. Its composition must take into account the fractional contribution and geographical distribution of Member States. After discussion, he proposed the following list for presentation to the Conférence: Brazil, Canada, People's Rep. of China, France, Germany,

India, Italy, Japan, Poland, Russian Federation, United Kingdom and the United States of America.

The President said that an annual increase of the dotation of 5,5 % had been requested for the period 1997-2000. He asked members if they had any indication of the position of their governments on this proposal. Some members did not know exactly the position of their government; others remarked that their government was against any increase in real terms (Australia, Belgium, Canada, Sweden, United Kingdom), and it was reported that the USA would be asking for zero increase. In general, it was thought that a figure between 4 % and 4,5 % might be acceptable.

5. Comités Consultatifs

Since the last meeting of the CIPM, the Comité Consultatif des Unités held its eleventh meeting in February 1995, the CCDS working group on TAI met in March 1995, the Comité Consultatif pour la Quantité de Matière held its first meeting in April 1995, the three Sections of the Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants met in April and May 1995 and the Comité Consultatif d'Électricité held its twentieth meeting in June 1995, preceded by a meeting of its working group on radiofrequency quantities.

5.1 Comité Consultatif d'Électricité

Professor Kind, President of the Comité Consultatif d'Électricité (CCE), presented the report of the twentieth meeting of the CCE which took place on 14 and 15 June 1995 at the Pavillon de Breteuil.

The CCE reviewed progress made in the national laboratories in carrying out accurate measurements of the quantized Hall resistance and prospects for future work. The results of international comparisons of reference standards using travelling Josephson-array voltage standards are quite satisfactory, with agreement to 2 parts in 10^{10} among the national metrology institutes of nearly a dozen countries. A recent comparison with the resistance standards of the OFMET (Switzerland), using the new BIPM travelling quantum Hall resistance standard, was very encouraging with a difference of only 1,5 parts in 10^9 . There was general agreement that the quantum-Hall resistance is independent of the sample, provided that the conditions laid down in the CCE guidelines for the realization of the quantum-Hall resistance standards are strictly followed.

Progress in experiments to monitor the stability of the international prototype of the kilogram by electrical methods, along with others associated with the determination of fundamental constants (such as the Avogadro constant), was examined. Progress towards uncertainties of a few parts in 10^8 has been slower than predicted and no new results are yet available.

A working group of the CCE, chaired by Dr Hebner of the NIST, was charged with making proposals for a set of key international comparisons on the basis of which international equivalence of electrical standards can be demonstrated. The report of his working group was promised before the end of 1995.

No meeting is envisaged before 1997.

5.2 Comité Consultatif des Unités

Dr Quinn reported on the eleventh meeting of the Comité Consultatif des Unités (CCU) held on 21 and 22 February 1995. Professor de Boer being unable to be present, the bureau of the Comité had asked Professor I. Mills from the University of Reading (UK) to chair the meeting. Professor de Boer had previously announced his intention to resign as President of the CCU. At the meeting many tributes were paid to Professor de Boer for the way he had guided and led the CCU since its beginning, and for the important contribution he had made to the development of the SI.

Dr Quinn introduced his report of the meeting by saying that the tasks undertaken by the CCU are among the most difficult of any Comité Consultatif. The decisions taken by the CCU can be far reaching and of great importance for the SI and are based on arguments that are often extremely subtle requiring a great deal of experience and depth of knowledge of physics. The SI brochure is recognized the world over as the basic text of the SI and it is most important for the reputation of the BIPM, the CIPM and indeed the Convention du Mètre, that it be well done.

This meeting was centred around the preparation of a new edition of the SI brochure, including discussion and final approval of the text of the draft resolution for the Conférence Générale on the elimination of the class of supplementary units in the SI.

Much of the discussion at the meeting concerned Chapter IV, Units outside the SI, and in particular Tables 8 to 12. While it was clear that all participants to the CCU agree on wanting to encourage the use of the SI, and ultimately the abandonment of the non-SI units, there were two shades of opinion on how this should best be done. Some took the view that the use of all non-SI units should be deprecated with very few exceptions being accepted, while others considered that it is best to concentrate on encouraging the use of SI and not to be too hasty in deprecating units that, for one reason or another, are still widely used. The report of the meeting shows that it is not always easy to find common ground between these two points of view.

Particular attention was devoted to the units appearing in Tables 8, 10, 11 and 12 and whether some of them should be transferred from one table to another or be removed altogether from the brochure. These decisions, which will be reviewed at the meeting of the CCU in April 1996, were preceded by a discussion on the headings of Tables 10 to 12 following a

proposal that the sense of the present English headings is stronger than that of the French. It was agreed that this was indeed so and new titles were considered. The symbol for the litre was discussed, and it was agreed to leave it unchanged. Astronomical units received a lengthy discussion: in particular, Professor Kovalevsky proposed the re-introduction of the astronomical unit in Table 9 and the IAU proposed the introduction of the jansky to Table 12. Units for dimensionless quantities (bel, decibel, neper) were discussed, as well as units used in information technology (byte, bit). An ISO TC-12 proposal for the introduction of the gon (grade in French) as a unit of plane angle was provisionally accepted although papers received after the meeting indicate that this decision may not be the final one. The CCU set up small working groups to study some of these questions. All the decisions taken at the meeting were provisional in the sense that at the April 1996 meeting of the CCU they will be reviewed and final decisions taken on the new text of the SI brochure to be submitted to the CIPM for approval at its meeting in September 1996.

Finally, Dr Quinn read the Recommendation U 1 (1995) on binary multiples of units used in information technology submitted by the CCU and invited comments.

While members of the Comité appreciated the difficulty of the work of the CCU, there was a general feeling that some of the provisional decisions taken at the February 1995 meeting concerning the transfer of units from one table to another in Chapter IV appeared arbitrary and not sufficiently justified by arguments. The Comité favoured moving slowly where it was a question of trying to restrict the use of a non-SI unit or system still widely used within a particular community of scientists. While the CIPM has formal authority to make certain decisions concerning the SI, its authority in respect of units outside the SI is only a moral one and is, therefore, limited. The Comité asked the CCU to look again at some of the proposals made at the February meeting. In respect of the draft recommendation on binary multiples of units used in information technology, the view of the CIPM was that it is now too late to influence the world of information technology and it decided to take no action in the matter.

5.3 Comité Consultatif pour la Quantité de Matière

Dr Kaarls, President of the Comité Consultatif pour la Quantité de Matière (CCQM), presented the report of the first meeting of this committee held at the Pavillon de Breteuil on 19 and 20 April 1995.

He recalled that the CCQM was established by the CIPM at its 82nd meeting in 1993. Representatives of fifteen institutes participated in this first meeting. The meeting began with a discussion on the terms of reference approved by the CIPM in 1994, with the aim of establishing a clear working strategy. The question of whether or not there is a need for a programme of work at the BIPM to support this activity was mentioned in

the light of the restricted resources of the BIPM. This question was taken up at the end of the meeting.

Some participants were worried that the studies undertaken by the CCQM at the highest metrological level might not be relevant to work at the field level. Many participants in the comparisons that had already taken place had no experience in physical metrology and the terminology needed to be clarified. In particular, it was considered necessary to define the meaning of the terms “primary method of measurement” and “primary reference material”.

The CCQM concluded that its first and most important task was to identify a number of primary methods of measurement – such as isotope dilution with mass spectrometry, coulometry, gravimetry, titrimetry, determination of freezing-point depression – as this is the only way to establish traceability to SI units. The Comité was aware that simply defining a method is not sufficient. Working groups were set up to collect information and produce documents on the description and metrological use of these methods, on the evaluation of their uncertainty, on difficulties in their application and on current international comparisons. It was also planned to demonstrate their applicability to complex as well as simple materials.

This first meeting was considered to be very successful and a second meeting is due to take place in February 1996.

The President thanked Dr Kaarls and expressed his satisfaction that things had proceeded so fast: it is important that the work of the new Comité Consultatif be seen and appreciated by the community of chemists as soon as possible.

5.4 CCDS working group on TAI

Professor Kovalevsky, President of the Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde (CCDS), presented the report of the meeting of the CCDS working group on TAI that was held on 13 and 14 March 1995 at the Pavillon de Breteuil.

Important items discussed were the application of the so-called black-body correction to primary frequency standards and the recent arrival of data from a new high-accuracy standard at the NIST. In addition, detailed discussions took place on possible improvements to the calculation of TAI at the BIPM to take advantage of the much improved data now available from commercial frequency standards compared via GPS. A general consensus appeared on the question of applying the black-body correction and a recommendation that it should be applied to all primary frequency standards was adopted for transmission to the CCDS at its meeting in March 1996. In fact, since the meeting of the CCDS working group on TAI, the PTB has calculated the black-body correction required for PTB-CS2 and a decision was made at the BIPM to apply it so that the

data from CS2 and the new NIST standard, NIST-7, could be combined in a consistent manner. Professor Kind then explained that PTB-CS1, the first of the two long standing primary frequency standards of the PTB, has been taken out of service, mainly for economic reasons, although it is still working. Two new standards, CS3 and CS4 are coming into operation and their data will soon be available to the BIPM. For the time being, however, there will be just two high-accuracy frequency standards to provide the link between TAI and the SI second, PTB-CS2 and NIST-7, both of which have uncertainties of about one part in 10^{14} .

An important matter concerning the calculation of TAI is that of establishing the most efficient way of weighting the data from the contributing clocks. The BIPM is continuing studies on this topic and on proposals related to TAI, such as shortening the computation period, with a view to presenting working papers to the CCDS in 1996.

The chairman of the CCDS working group on TAI had, since its foundation, been Dr G. Winkler from the US Naval Observatory (USNO, Washington DC, USA). Since Dr Winkler has now retired from his post at the USNO, a new chairman has been nominated for a period of five years. The new chairman is Dr Pâquet, member of the CIPM and representative of the International Union of Geodesy and Geophysics. At the meeting of the TAI working group, the President of the CCDS, the Director of the BIPM and the former Director of the BIH, Dr Guinot, paid warm tributes to Dr Winkler for the strong support he had always given, first to the BIH and then to the BIPM.

Dr Pâquet noted with satisfaction that the CCDS working group on the application of general relativity to time metrology had made significant progress and that a draft report will be presented to the meeting of the CCDS in 1996. Professor Tarbeyev referred to the paper by G. Petit and P. Wolf of the BIPM on the application of general relativity to time comparisons published in *Astronomy and Astrophysics**.

The next meeting of the CCDS will be held on 12 and 13 March 1996, and be preceded on 11 March by a meeting of the working group on TAI which will be held in parallel with a meeting, at the PTB, of the CCDS working group on two-way time transfer.

5.5 Sections I, II and III of the Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants

Dr Quinn presented a brief report on the meetings of Sections I, II and III of the Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des

* PETIT G., WOLF P., Relativistic theory for picosecond time transfer in the vicinity of the Earth, *Astron. Astrophys.*, 1994, **286**, 971-977.

Rayonnements Ionisants (CCEMRI) which he had chaired in the absence of Dr Vanier, President of the CCEMRI, who was unable to attend for reasons of health.

Section I (X and γ rays, electrons) held its twelfth meeting on 24, 25 and 26 April 1995. As is usually the case, the participation at this meeting was high as the activities of this Section are closely related to important matters of human health and safety. A particular problem addressed at the meeting was how to ensure international uniformity of standards of absorbed dose (whose unit is the gray) and dose equivalent (whose unit is the sievert) now that many users are using progressively higher energies, beyond those available at the BIPM and many national metrological institutes. The problem for the BIPM and the national laboratories is the cost of the machines required for high-energy measurements. It was agreed to explore a method based on ionization chambers that can be calibrated at low energies and used at high energies. Ionization chambers calibrated at low energies have been donated to the BIPM by national laboratories. Section I also decided that a summary of all the international comparisons carried out over the last twenty years, with comments, should be prepared for publication in *Metrologia*.

Section II (Measurement of radionuclides) held its thirteenth meeting on 9, 10 and 11 May 1995. The participation at this meeting was also high. The activities of this Section are centred on the International Reference System (SIR), recently extended to include beta emitters (including samples measured by liquid scintillation counting). International traceability and equivalence of national standards in this field are assured by international comparisons and the SIR on the basis of guidelines drawn up by Section II.

Section III (Neutron measurements) held its eleventh meeting on 27 and 28 April 1995. A question addressed by the meeting was how future international comparisons in the neutron field should best be organized now that neutron work has ceased at the BIPM. Standards for neutron metrology were reviewed, taking into account the *Guide to the expression of uncertainty in measurement* published by the ISO in collaboration with the BIPM and other international organizations. The number of participants present at this meeting was disappointing, in particular from outside Europe.

The reports of the three Sections will be presented at the CCEMRI meeting in June 1996.

Dr Clapham asked whether the BIPM has noted customer dissatisfaction because of the decision to stop neutron calibrations at the BIPM. Dr Quinn answered that it is too soon to draw conclusions; the consequences will be visible only after two or three years. The number of direct calibrations over the past ten years was small; the role of the BIPM had essentially been to coordinate international comparisons and to participate in them.

5.6 CCM *ad hoc* working group on the Avogadro constant

Dr Iizuka reported on the meeting of the CCM *ad hoc* working group on the Avogadro constant that was held at the BIPM on 28 and 29 March 1995. Seven laboratories were invited to the meeting. Dr Quinn, Professor Giacomo and Dr Davis from the BIPM were present. The chairman was P. Becker from the PTB. The state of the art of current research was reviewed and it was agreed by all present that the working group could fulfil a useful role in the coordination of this world-wide research effort. Among the points discussed were the differences of density observed among different samples of very pure silicon, the determination of the molar mass of natural silicon, the determination of lattice-vacancy concentration in silicon and the fabrication and measurement of silicon spheres. It was agreed to hold another meeting at the PTB in Braunschweig around the time of the Conference on Precision Electromagnetic Measurements in June 1996.

Dr Iizuka noted that the work on purity and uniformity of silicon is a very good application of nanometrology and is very important for industry.

Dr Tarbeyev discussed the possibility of offering a contribution from Russia to this programme.

5.7 Future meetings of the Comités Consultatifs

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

CCDM	1997
CCDS	12 and 13 March 1996
	Meeting of the representatives of laboratories contributing to TAI, held under the auspices of the CCDS working group on TAI: 11 March 1996
CCE	1997
CCEMRI	27 and 28 June 1996
CCM	29 to 31 May 1996
	CCM working groups: 27 and 28 May 1996
CCPR	1998
CCQM	14 and 15 February 1996
CCT	18 to 20 September 1996
CCU	16 and 17 April 1996

5.8 Presidency of Comités Consultatifs

The President informed members that Dr Vanier has decided to resign from the Presidency of the CCEMRI. Dr Vanier proposed Professor Moscati as his successor. This was agreed.

The President then introduced the important task of finding a suitable successor to Professor Jan de Boer as President of the CCU. When it became clear, early in 1995, that Professor de Boer was not going to be able to preside at the February meeting of the CCU, the bureau of the Comité had accepted Dr Quinn's suggestion that Professor I. Mills be asked to chair the meeting. In the absence of a suitably qualified member of the CIPM, the President proposed to the Comité that Professor Mills be asked to be President of the CCU for a period of five years. Professor Mills is chairman of the IUPAC Interdivisional Committee on Nomenclature and Symbols and was one of the principal authors of the IUPAC publication *Quantities Units and Symbols in Physical Chemistry*. He is Professor of Chemistry at the University of Reading in the United Kingdom. The Comité agreed to this proposal and the President said that he would invite Professor Mills to present a report and the new draft of the SI brochure to the Comité at its meeting in September 1996 (Professor Mills has now accepted the invitation to be President of the CCU for a period of five years from 1 January 1996).

6. Work of the BIPM: Report of the Director

6.1 Work of the BIPM

Since 1995 is the year of a Conférence Générale, the CIPM met for only two days at the Pavillon de Breteuil and there was no time for the usual presentation of the work by the scientific staff of the BIPM. Dr Quinn asked members, therefore, to refer to the Director's report for a full description of the work carried out since the last meeting.

Dr Quinn recalled that the national metrology institutes are under increasing pressure to justify their work and to meet the needs of users in industry and science. While the BIPM has contact with national laboratories, both directly and through the Comités Consultatifs, it has no direct contact with users. It does, nevertheless, feel the pressures now on national laboratories. The calibrations and international comparisons carried out by the BIPM as well as those comparisons carried out by the Comités Consultatifs are becoming increasingly important to provide the basis for international traceability of measurement standards. This international traceability or international equivalence is now required by a range of accreditation and certification bodies both national and international and is one of the items on the agenda of the meeting.

Some international comparisons are now made by transporting BIPM independent primary standards to national laboratories. These include the Josephson and quantum-Hall standards, iodine-stabilized lasers and the cryogenic radiometer. It sometimes happens that several national laboratories in a region can participate in these comparisons. There are

many advantages in carrying out comparisons in this way; it provides an efficient method of reaching laboratories that would not otherwise be able to come to the BIPM and it often results in useful interactions between the staff of the national laboratories and those from the BIPM who are present to undertake the comparison. The disadvantage from the point of view of the BIPM is that considerable effort is required to prepare for such comparisons and, in consequence, the time for development and research work is reduced.

Dr Blevin agreed with Dr Quinn that transportation of the BIPM staff and standards to the national laboratories is a very good opportunity for laboratories of the same region to compare their standards very quickly; it is also very instructive. Dr Quinn answered that the BIPM is solicited by many laboratories for comparisons of this sort and it is necessary to ensure that the technical capabilities of the participating laboratories are at an appropriate level.

Dr Clapham enquired about calibration services. In response to increasing pressure on budget and staff, the *Comités Consultatifs* or the CIPM have in the past recommended that the BIPM cease certain calibrations, among them those in temperature, classical length measurements and neutron dosimetry. Dr Clapham voiced his worry that in the long term this might not be good for the BIPM and member countries. Dr Quinn answered that while he considers calibrations a very important BIPM activity, it is essential to be selective and adapt to changing circumstances. In this respect he noted that in recent years there have been very few requests for calibrations of line scales or end-gauges. In such calibrations there comes a time when so few are carried out that each is increasingly time consuming as the equipment has to be refurbished and tested on each occasion, and it becomes increasingly difficult to assure the quality and accuracy of the work simply because it is carried out too infrequently. This was the case for line scales and end gauges, so it was decided that this service should cease. In electricity, however, demand remains high and it is much easier to automate the calibration services.

Dr Kaarls said that all laboratories should receive some sort of service. Professor Moscati mentioned the needs for calibration services in the smaller countries of the *Convention du Mètre*, and remarked that it would be good for these countries to have a list of other laboratories that perform calibrations.

Dr Quinn said that at least the two thirds of the Member States have participated in calibrations or comparisons since the last *Conférence Générale*.

Dr Kaarls drew the attention of members to the need for some expertise at the BIPM to supervise the work of the CCQM. Dr Quinn replied that he also was in favour of initiating some work in this field, as had been recommended by the CCQM, but the problem was simply one of finding resources. He hoped that it may be possible to do something in the next

four-year period. He added that in order to start work in isotope dilution mass spectrometry (IDMS) he would need the loan or gift of the equipment.

Dr Quinn recalled that negotiations had been completed for the donation of a diamond-turning lathe from the Technical Research Institute of the Japan Society for the Promotion of Machine Industry, which is being supported by the Ministry of International Trade and Industry, for mass measurements at the BIPM. Dr Quinn expressed his appreciation of this important and valuable gift.

The President drew the attention of members to future plans in gravimetry in the light of the retirement in March 1996 of Dr Sakuma, who will not be replaced. Over the past thirty years, the BIPM has played a key role in international absolute gravimetry through both the developments in absolute gravimetry made at the BIPM and the long series of international comparisons of absolute gravimeters carried out at the BIPM and linked to Sèvres Point A, the international reference point for the world's gravity network. Dr Quinn then outlined his plans for gravimetry work at the BIPM. To provide for the future, the BIPM has purchased a commercial absolute gravimeter from Axis Instruments Company in the USA. Using this instrument as a reference, international comparisons will continue to take place on a regular basis but very little development or research will take place. Dr Robertsson of the Length section will have responsibility for this work. Discussions had taken place on the possibility of transferring the gravimeter used by Dr Sakuma to the Institut de Physique du Globe, under the responsibility of the Bureau des Longitudes, in the Paris region, where he will be able to continue his work.

Professor Siegbahn asked what proportion of Dr Robertsson's time will be devoted to gravimetry. The reply was about 20 %.

Professor Kovalevsky enquired about the precision of commercial gravimeters for the watt balance experiments. Dr Quinn said that for this purpose an uncertainty of one or two parts in 10^8 would be sufficient but that there remain questions about gravity gradients that are not yet resolved.

The President then said a few words on the career of Dr Sakuma who had worked at BIPM since 1960. Dr Sakuma contributed for many years to the fine reputation held by the BIPM in the field of gravimetry, and he expressed his appreciation for his work. He thanked him on behalf of the CIPM and wished him all the best for the future.

6.2 Traceability

The President opened the discussion on the traceability and equivalence of standards by referring to the *International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology* for a definition of the terms "national

(measurement) standard”* and “primary standard”** and described the hierarchy of measurement standards. The idea that he wished to convey to the Comité as a basis for discussion was the possibility that certain national standards, after comparison with the BIPM standards, be considered as *BIPM certified or recognized standards*. By means of these BIPM recognized standards, a more formal system of international traceability might be developed. In making this proposal the President emphasized that it was no more than a basis for discussion and he looked forward to hearing the views of members. He added, however, that the problem of establishing international traceability or international equivalence of measurement standards has become pressing, and the BIPM and CIPM must be seen to address it.

Dr Vanier remarked that it may be confusing if some laboratories insist on referring to their standards as primary standards; on the other hand, some standards may be better than those of the BIPM.

Dr Blevin agreed that most countries feel a need, under the pressure of international trade and high-technology manufacturing, to maintain international traceability of their measurement standards. If the BIPM does not take responsibility for evaluating the equivalence of standards maintained by the national laboratories, there is a risk that the laboratory accreditation agencies will attempt to undertake this task for themselves. Although experts in the BIPM and on the Comités Consultatifs are competent to use the results of measurement comparisons to assess the equivalence of national standards, this cannot be said of the accreditation agencies in general. Such BIPM recognition would not only confirm the equivalence of primary standards, but it would assist the smaller national laboratories which depend on secondary standards to identify the foreign laboratories capable of calibrating these standards. An associated responsibility for the BIPM and the Comités Consultatifs is to maintain and extend the network of comparisons upon which international traceability is based.

Professor Skákala was in favour of a complete system for the recognition of primary and secondary standards. Traceability should follow an economic organization based on a sharing of competences.

Professor Tarbeyev said the BIPM should establish traceability of the best national standards under the umbrella of the organs of the Convention du Mètre. The BIPM is first of all a scientific institution with expertise at the top level.

Dr Kaarls asked what would be the real added value of BIPM recognition, as it is pertinent only if other countries accept the BIPM

* standard recognized by a national decision to serve, in a country, as the basis for assigning values to other standards of the quantity concerned.

** standard that is designated or widely acknowledged as having the highest metrological qualities and whose value is accepted without reference to other standards of the same quantity.

certificates. It is essential to work on a much broader scheme to establish the equivalence of standards.

The President underlined the need to set up a scheme for the upper level of traceability, including the *Comités Consultatifs*. For him, mutual acceptance of traceability is provided by publishing the results of international comparisons.

Dr Clapham said he disagreed with this proposal as presented, since it appeared to set up the BIPM as a certification body. He referred to draft Resolution B of the twentieth *Conférence Générale* on world-wide traceability of measurement standards which recognizes the need for some sort of traceability. He expressed the view that the BIPM is not competent to serve as a certification body and that this is not its role. The BIPM should provide expertise on the scientific aspect of equivalence, but it would be dangerous and useless to go beyond. The CIPM should not forget that the *Convention du Mètre* is to serve all countries. Besides, if a certain status is given to a standard in one country, this standard may well fail six months later: the CIPM then risks losing its credibility.

Dr Quinn noted that in the past the BIPM did not express a value judgement when publishing the results of international comparisons; now it seems that there is a need for something more. While recognizing the dangers outlined by Dr Clapham, he agreed with Professor Kind, that if the demonstration of equivalence of measurement is not somehow provided by the *Convention du Mètre* some bureaucratic body will become involved and this will be even more dangerous. Professor Kovalevsky agreed that, in the framework of regional organizations, it is dangerous to do nothing.

Professor Giacomo recalled that the BIPM exists to serve all countries, and cannot therefore be in opposition to any of them. If a value judgement is given on a national standard, this may interfere with national certification bodies. Dr Kaarls agreed.

Dr Gebbie supported the opinion of Dr Blevin and Dr Kaarls that another system for traceability should be found.

Professor Crovini agreed that something must be done, but preferred to avoid the word certification. He suggested, instead, the use of some sort of periodic document which would simply present the results of international comparisons and so help regulatory bodies make their judgement. He remarked that Italy does not want to have to recognize individually the standards of other countries.

Dr Gopal agreed with Dr Crovini: laboratories have to demonstrate competence to bureaucrats. Professor Giacomo remarked that to demonstrate competence is also to demonstrate incompetence; how can this be done!

Professor Moscati remarked that the situation has changed as standards are now generally based on fundamental constants. If international comparisons do not demonstrate the equivalence of standards, then the

BIPM will have to recommend a new definition. He said that equivalence is different from traceability.

The President concluded by proposing that the CIPM constitute a working group to discuss the question of the equivalence of primary standards. Dr Quinn added that the working group should address the question of whether further action should be taken. Dr Iizuka proposed that the different regions be represented. It was finally agreed that the working group should comprise the Presidents of Comités Consultatifs plus Dr Gebbie. It was agreed that the working group should meet during the Conférence Générale.

Professor Kind, the Chairman of this new working group, the CIPM working group on equivalence of national standards, presented a brief report of the meeting held on 11 October 1995 at the Centre de Conférences Internationales. The conclusions reached were as follows:

- The BIPM is requested to make a survey of the present situation, in collaboration with the Comités Consultatifs, for the purpose of recognition of measurement standards.
- Dr Quinn was asked to contact accreditation bodies who have experience in this field to find out what exactly they require in terms of documented international equivalence.

6.3 Dépôt des prototypes

As 1995 was the year of a Conférence Générale, the visit to the depository of the metric prototypes took place on Wednesday 11 October; the record is published with the *Comptes Rendus de la Vingtième Conférence Générale*.

7. Administrative and financial affairs

7.1 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 1994*, together with the report of the auditors for 1994. The reports were approved unanimously and the required formal discharge was given to the Director of the BIPM for 1994.

The progress report on the provisional budget for 1995 was presented and approved.

A draft budget for 1996 was presented and approved.

BUDGET FOR 1996

INCOME

gold francs

Budgetary income:

1. Contributions from member States	25 918 000	
2. Interest on capital	1 260 000	
3. Verification taxes	397 000	
Total	<u>27 575 000</u>	

EXPENDITURE

A. *Staff expenses:*

1. Salaries	11 540 000	} 17 367 000
2. Family and social allowances	2 338 000	
3. Medical insurance	1 145 000	
4. Industrial injuries insurance	44 000	
5. Pension fund	2 300 000	

B. *Operating expenses:*

1. Furniture	40 000	} 3 582 000
2. Laboratories and workshops	1 283 000	
3. Heating, water, electrical energy	514 000	
4. Insurance	93 000	
5. Printing and publications	180 000	
6. Office expenses	457 000	
7. Travel expenses and freight charges	536 000	
8. General maintenance	419 000	
9. Bureau du Comité	60 000	

C. *Capital expenditure:*

1. Laboratories	3 237 000	} 3 765 000
2. Mechanical workshop	211 000	
3. Library	317 000	

D. *Buildings* (major maintenance and renovation) 2 529 000

E. *Miscellaneous and unforeseen expenses* 332 000

Total 27 575 000

The last document submitted to the CIPM was an extract, the *Tableau de répartition de la dotation pour 1996*, taken from the *Notification des parts contributives*.

Dr Quinn gave a brief account of the financial situation of the BIPM since 1992, when the plan to reduce spending was adopted by the CIPM. He said that the financial targets for overall spending and for staff costs had been fully met.

7.2 Promotions

Dr Quinn proposed that Dr R.S. Davis, head of the Mass section, and Mr F. Delahaye, physicist in the Electricity section, be promoted to the category of *physicien chercheur principal*. Their curricula vitae were circulated. The CIPM unanimously approved their promotions to *physicien chercheur principal* to take effect from 1 January 1996.

He also proposed that Dr L. Robertsson, physicist in the Length section who will be in charge of gravimetry at the BIPM after the retirement of Dr Sakuma, be promoted *physicien principal*. His curriculum vitae was circulated, and the CIPM unanimously approved his promotion to *physicien principal* to take effect from 1 January 1996.

7.3 Minor changes to the staff Statutes

Some minor changes to the Statutes relating to part-time work, sick leave, industrial injury, invalidity retirement, pregnancy leave, and the various allocations related to these dispositions were discussed and agreed. The dispositions adopted are close to those of the Coordinated Organizations and have been made with the full support of the staff Statutes Commission.

8. Membership of the CIPM

8.1 Membership of the CIPM

The President informed members that he has retired from the PTB and intended to retire from the CIPM after the 1996 meeting.

Professor Skákala also announced his intention to resign after the 1996 meeting of the CIPM and said he was not prepared to continue as Vice-President. The President thanked him for his many contributions to the bureau over the years he has been a member.

Dr Clapham said that from 1 October 1995 the NPL was put under private management, and he ceased to be its Director. He announced his intention to retire from the CIPM after the meeting.

Dr Vanier also announced his intention to resign from the CIPM shortly after the meeting.

The President and Dr Quinn thanked Dr Clapham and Dr Vanier for the solid support they had given to the Comité and to the BIPM during their periods as members of the CIPM and wished them both well in the future.

8.2 Consequences of the Conférence Générale

Election of the bureau of the CIPM

The final session of the CIPM, following the election and re-election of members by the 20th Conférence Générale, began under the presidency of the most senior member of the CIPM, Professor Siegbahn.

After counting the votes, by secret ballot, the bureau of the Comité was constituted as follows:

<i>President:</i>	D. Kind
<i>Vice-Presidents:</i>	W. R. Blevin K. Iizuka
<i>Secretary:</i>	J. Kovalevsky
<i>Deputy secretary:</i>	L. Crovini

Metrology: long-term needs

As a consequence of Resolution 11 adopted by the Conférence Générale on the long-term needs of metrology, the President proposed that a member of the CIPM be asked to carry out a study on this topic and make a report to the CIPM. He asked Dr Blevin whether he would agree to take on this task. Dr Blevin agreed to do so and said that he will present a preliminary report at the next meeting of the bureau of the Comité in February 1996.

9. Other business

9.1 Radioactive source of the BIPM

Dr Quinn presented a brief history of the international radium standards at the BIPM from 1910 on.

September 1910 The Radiology Congress meets in Brussels and establishes the International Radioactivity Commission (Commission Internationale de Radioactivité). Mme M. Curie is asked to prepare an International Radium Standard.

- 18 March 1912 A. Debierne addresses a letter to Ch.-Éd. Guillaume (then Deputy-Director of the BIPM) asking him if the BIPM would be willing to keep the Radium Standard.
- 12 May 1912 S. Meyer, secretary of the Commission Internationale des Étalons de Radium, thanks R. Benoît, Director of the BIPM, for agreeing to keep the standard.
- 21 February 1913 The standard is deposited “in the lower division of the safe located in the first vault”.
- 1913 to 1935 Eight times in total the international standard is taken out for various comparisons at the Laboratoire Curie and brought back to the vault at the BIPM. After being used for the last time it is kept at the Laboratoire Curie.
- 1934 O. Hönigschmid prepares twenty radium standards from pitchblende, originating from High Katanga, containing a high percentage of radium free of mesothorium. Among them, standard No. 5430, with a mass which is almost identical to that of the “Curie standard”, is assigned to France and handed over to the Laboratoire Curie.
- 21 April 1939 Standard No. 5430 is deposited at the BIPM.
- 30 May 1940 The standard is transferred to a place outside Paris for safe keeping.
- October 1948 At the ninth CGPM the Soviet delegation proposes to “organize comparisons of national standards of radium with international standards of radium and to maintain these at the Bureau International”.
- July 1953 The Joint Commission for Radioactivity (Commission mixte de radioactivité), meeting in Stockholm, entrusts standard No. 5430 to the Director of the Radium Institute (Institut du Radium).
- 3 December 1959 The Faculty of Sciences of Paris, to which the Radium Institute belongs, decides to entrust the BIPM with the radium standard No. 5430. This standard remains the “property of the University of Paris”.
- October 1960 The eleventh CGPM authorizes the BIPM to maintain radium standard No. 5430.

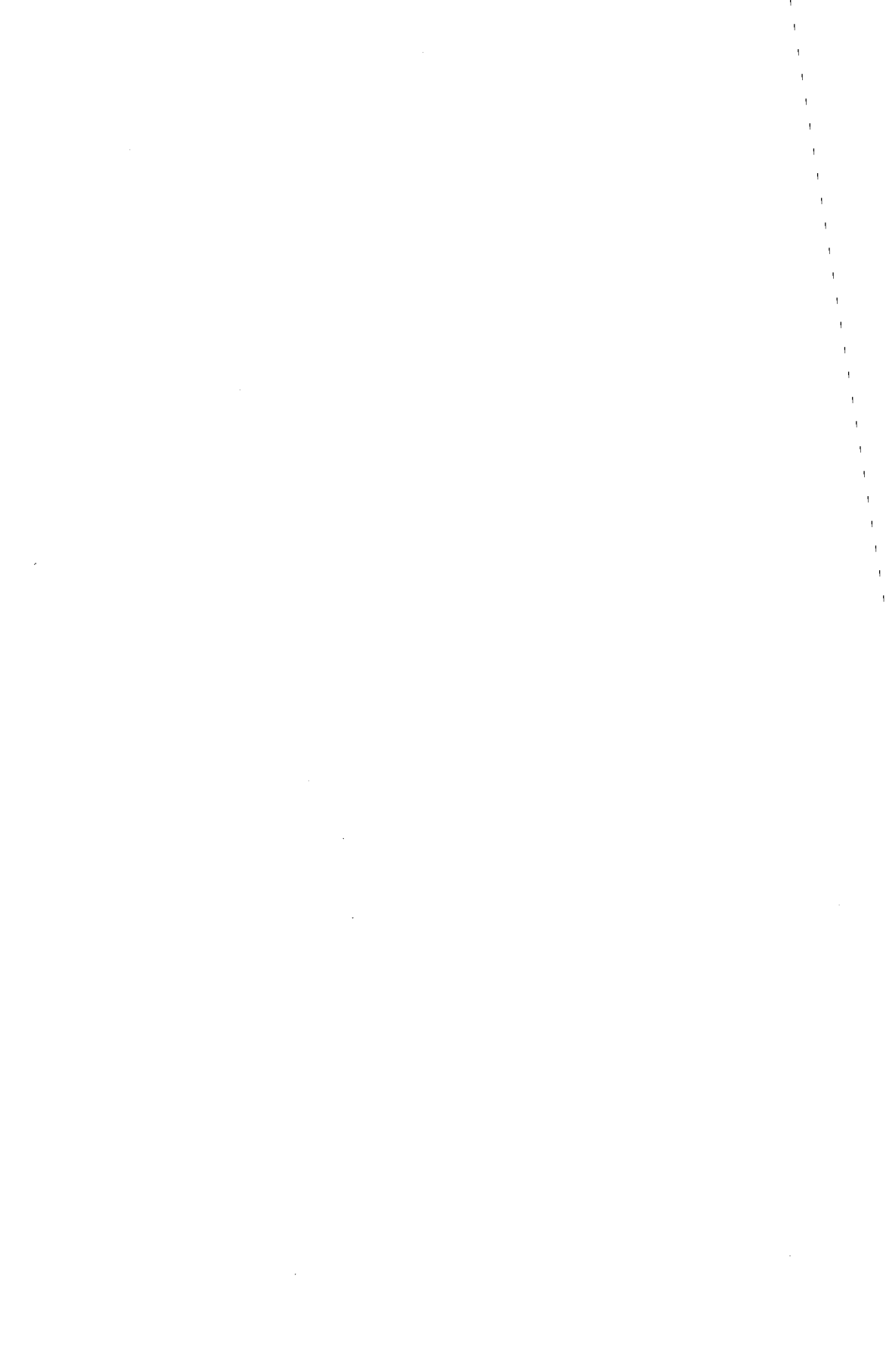
- 9 March 1961 The University of Paris donates the standard to the BIPM.
- 22 January 1993 After thirty-two years, the standard is disposed of as radioactive waste by the French authorities.

9.2 Next CIPM meeting

The CIPM decided that the dates of the next CIPM meeting will be as follows:

24 to 26 September 1996.

The President closed the 84th 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 1994 - September 1995)

I. — STAFF

Promotion and change of grade

Mireille BOUTILLON, *physicien principal*, was promoted to the grade of *physicien chercheur principal* by the CIPM at its meeting of September 1994 with effect from 1 January 1995.

Research fellows

Peter WOLF, Postgraduate Research Student in the Time section since October 1992, was appointed as a half-time Research Fellow from 1 April 1995 for a period of two years.

Jürgen MELCHER, physicist at the Physikalisch-Technische Bundesanstalt, born 30 April 1957 in Gelsenkirchen (Germany), was appointed as a Research Fellow in the Electricity section from 1 September 1995 for a period of two years.

Leonid VITUSHKIN, Research Fellow in the Length section since August 1993, has had his fellowship extended until August 1996.

Departures

Pierre BRÉONCE, *physicien principal*, retired on 31 October 1994 after 33 years of service during which he showed great competence in the field of electronics.

Fernando PEREZ, *technicien principal*, was placed on invalidity retirement from 15 February 1995, after 23 years of service.

Vinh-Dinh HUYNH, *physicien chercheur principal*, retired on 31 August 1995, after 25 years of devoted and effective service concerned with neutron measurements.

II. — BUILDINGS

Grand Pavillon

Replacement of blinds.
Redecoration of one office.

Nouveau Pavillon

Replacement of partitions and redecoration of four offices at the lower level following ground movements.

Observatoire

Redecoration of one laboratory for the Radiometry section.
Replacement of blinds in the Nouvel Observatoire.

Petit Pavillon

Partial redecoration of the caretaker's apartment.

Laser building

Redecoration of one office.

*All buildings**

Installation of internal network for computers.
Installation of Internet connections.

Outbuildings and park

Lopping of some dangerously situated trees.
Replacement of one green house.
Replacement of part of the boundary fence.
Replacement of a gateway.

* See Section 6.4, page 188.

III. — SCIENTIFIC WORK

1. General introduction

There is now an increased demand for international comparisons requiring the transportation of BIPM primary standards to national metrology institutes. Until recently, international comparisons were mostly carried out by sending secondary standards between the BIPM and national laboratories. First with iodine-stabilized lasers, then with Josephson and quantum-Hall systems and now with cryogenic radiometers, it has been found that the accuracy of the primary standards far exceeds that of any travelling secondary standard. To take full advantage of these standards it has been necessary to develop travelling versions of the primary standards themselves. Considerable experience has now been gained at the BIPM in this new type of international comparison and a number of advantages are now clear for all concerned. For example, in laser comparisons the host laboratory usually organizes a simultaneous multilateral comparison in which lasers from perhaps ten other national metrology institutes in the region participate. This allows laboratories that otherwise might not have the resources to come to the BIPM to carry out direct comparisons with BIPM lasers. It also allows experienced BIPM staff to give a great deal of assistance and practical advice to physicists whom they would otherwise have little occasion to meet. In particular, it has allowed them to pass on many small but important practical details of the *mise en pratique* of the definition of the metre, familiar to those well experienced in the field but not to newcomers. Comparisons carried out in this way are efficient and generally work well because the BIPM staff are now well experienced in transporting the equipment and carrying out the comparisons. In the electrical field, multilateral comparisons of Josephson and quantum-Hall systems do not yet take place because the BIPM is almost the only laboratory to have transportable systems. For this reason, the number of individual visits to national laboratories is larger than in the case of lasers. Since 1992 twelve Josephson comparisons have been made, including three this year: in Australia, Rep. of Korea and New Zealand. In addition, the quantum-Hall system was taken to Switzerland. Iodine-stabilized lasers have been taken to Australia, Portugal and the USA. Developments in radiometry are likely to lead the BIPM to transport its cryogenic radiometer to national laboratories for purposes of comparison. At present, secondary standards, comprising sets of silicon cells mounted in an optical trap configuration, are being used, but it is probable that most accurate comparisons of cryogenic radiometers will be direct ones between radiometers. An example of such a comparison is reported here in which a cryogenic radiometer from the NPL (United Kingdom) was brought to the BIPM.

Careful note is being taken of the results of discussions now taking place at Comités Consultatifs on how best to demonstrate the equivalence of national measurement standards by means of international comparisons specifically chosen for this purpose. It is hoped that each Comité Consultatif will be able to identify and carry out a small number of key comparisons to demonstrate competence in the principal techniques in its field. The results of these comparisons will provide the scientific basis for the required international equivalence: this is sometimes called international traceability. The BIPM, in its planning of future work, will do all that it can to prepare for whatever new comparisons this will require.

In the Length section, the programme of laser comparisons at $\lambda \approx 633$ nm continues: eight international comparisons were carried out this year, involving twenty countries and the BIPM. One of these took place at the CSIRO-NML (Australia) and included six laboratories from the Asia/Pacific region. Collaboration also continues with the ENS (France), the BNM-LPTF (France) and the BNM-INM (France) on the absolute frequency measurement of stabilized lasers at $\lambda \approx 778$ nm using the two-photon transitions of $5S_{1/2}$ and $5D_{3/2}$ in rubidium, and measurements are planned for the beginning of 1996. This year, the SP (Sweden), the MRI (Finland) and the HUT (Finland) worked with the BIPM on the realization of an external cavity laser diode at $\lambda \approx 633$ nm. Our two stabilized Ar^+ lasers, one using the FM-sideband and other the third-harmonic technique, are now in operation and measurements are in progress to compare the two techniques. It has been confirmed, both by experiment and by numerical calculation, that the frequency shifts observed last year with He-Ne stabilized lasers at $\lambda \approx 612$ nm were produced by partial loss of the beam at apertures. The electronic servo system of our first laser for use at $\lambda \approx 10,6$ μm , has been built and checked; for our second laser the mechanical parts have been constructed and the gain tube is functional. With the collaboration of the BNM-INM, we continue to tabulate calculations of hyperfine constants.

In the Mass section, the international comparison of 1 kg stainless-steel standards initiated by the CCM is continuing and is due to be completed in 1996. Two pairs of standards are at present circulating among the twelve participating laboratories. The construction of the new flexure-strip balance is finished and it is now undergoing commissioning tests. These tests include adjustment of the servo-control system of the beam, assessment of the reliability of the mass exchanger, and measurements of the temperature stability and temperature uniformity inside the balance case. For each of these parameters, the design criteria appear to have been met. Preliminary weighings of a set of eight 1 kg stainless-steel masses, made at the BIPM specially for this balance, were of comparable quality to those obtained with the prototype flexure-strip balance. Apparent changes in mass were observed during a study of the behaviour of the BIPM Pt-Ir standards using the Mettler HK 1000 balance. We now think the

observations represent not changes in mass but faults in the operation of the mass exchanger of the balance. Using commercial capacitance detectors, a new system for the measurement of relative humidity gradients has been constructed and linked to a personal computer. This new system has allowed us to demonstrate that gradients in relative humidity and temperature reach a steady state in which the dew-point temperature is constant throughout the air-tight enclosure. A set of Pt-Ir artefacts is being made for the NPL, using the BIPM diamond-machining technique, that will be used in vacuum weighing and surface studies. Following the international comparison of absolute gravimeters held at the BIPM in 1994, further measurements made using the BIPM FG5 gravimeter bring an additional contribution to the analysis of the results of the comparison.

In the Time section, the reference time scales TAI and UTC have been regularly computed and published in the monthly *Circular T*. The definitive results for 1994 have been available, in the form of computer-readable files in the BIPM Time section Internet anonymous FTP, since 5 April 1995, and printed volumes of the *Annual Report of the BIPM Time Section* for 1994 (Volume 7) were distributed at the beginning of May 1995. The stability, represented in terms of an Allan standard deviation, of the free atomic time scale EAL for data from 1993 and 1994, has been estimated to be about 4 parts in 10^{15} for all periods from ten days to eighty days. EAL is the first step in the computation of TAI. In the field of research concerning time-scale algorithms, the activity of the Time section was largely dominated by preparations for the meeting of the CCDS working group on TAI, held at the BIPM on 13 and 14 March 1995. This work includes studies whose aim is to improve the long-term stability of EAL and to define a safe strategy for frequency steering. For many years the accuracy of TAI has been based on the results from the primary frequency standards PTB-CS1 and CS2. The situation has, however, now radically changed. Since the beginning of the second half of 1994, the BIPM has regularly received data from evaluations of the optically pumped primary frequency standard NIST-7 developed at the NIST. These evaluations lead to a level of accuracy characterized by a relative uncertainty of 1 part in 10^{14} (1σ), a value never reached before. These results are corrected for the black-body radiation shift, which is estimated to be $-1,7$ parts in 10^{14} for a caesium atom at a temperature of 300 K. In the past, laboratories reporting data from primary frequency standards have not applied this correction in a uniform way: in particular, the results provided by PTB-CS1 and CS2 have never been corrected. We were informed that PTB-CS1 ceased operation in July 1995 and in addition we were sent an estimate of the black-body correction for PTB-CS2, which continues to operate. In view of this, the decision was taken to apply the black-body correction to results from PTB-CS2 and, since July 1995, we have evaluated the duration of the TAI scale unit from the two primary frequency standards

PTB-CS2 and NIST-7 corrected in a consistent manner. This procedure is in accord with the decisions of the CCDS working group on TAI which recommended to the CCDS that black-body corrections should be applied. The CCDS will take a final decision on this question at its meeting in March 1996. This new procedure led to a departure of the TAI scale unit from the SI second on the geoid estimated as 2 parts in 10^{14} s with a relative uncertainty of 0,7 part in 10^{14} for the two-month interval July-August 1995. Compensation of this discrepancy has already begun: it takes the form of cumulative frequency steering corrections, each of relative amplitude 1 part in 10^{15} , which are applied at sixty day intervals, a procedure which should not degrade the stability of the time scale. Work on the GPS common view technique, as well as that on GLONASS time links, continues and now takes full advantage of the new time laboratory. A study of the application of relativistic theory to the syntonization of clocks in the vicinity of the Earth has been completed. Collaboration continues with radio-astronomy groups to obtain pulsar data for use in the development of pulsar time scales.

In the Electricity section, three comparisons have taken place using the transportable Josephson systems. They took place at the KRISS (Rep. of Korea), the MSL (New Zealand) and the CSIRO-NML (Australia). The results show relative differences between the 1 V Josephson voltage standards of each laboratory and that of the BIPM of less than 3 parts in 10^{10} with a total combined standard uncertainty below 3 parts in 10^{10} in each case. In November 1994 we took our transportable quantum Hall effect (QHE) resistance standard apparatus, including cryostat, magnet and resistance bridge, to the OFMET (Switzerland) and carried out the second 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 one order of magnitude or more better than those of conventional travelling standards. Further progress has been made in the AC measurement of the quantized Hall resistance at 1600 Hz. We have carried out accurate comparisons of the $i = 2$ and $i = 4$ resistance plateaus and have found accurate quantization at this frequency, but there are some residual imperfections at the level of 1 part in 10^7 . Our programme of bilateral comparisons of basic electrical standards continues to attract interest and this year three comparisons are under way.

In the Radiometry, photometry, thermometry and pressure section, much of the work this year has been preparation of the international comparisons decided by the CCPR at its meeting in September 1994. In preparation for the comparison of cryogenic radiometers, three pilot comparisons have been carried out. Two of these were direct comparisons between cryogenic

radiometers at the BIPM and the third was indirect, made through the transport of trap detectors. The results of all these comparisons confirm the excellent reproducibility of cryogenic radiometers: differences in no case exceeded 2 parts in 10^4 . The use of trap-detectors as transfer detectors for such comparisons requires accurate knowledge of their characteristics and these are being studied. Following the refurbishment of one of the rooms previously used for thermometry, it has been possible to separate the radiometric facilities, which use a monochromator and lamps, from the cryogenic radiometer. A whole room is now dedicated to cryogenic radiometry, allowing improvements in the experimental arrangement to be made and leaving more space for radiometers coming from other laboratories. In photometry, the international comparison of luminous responsivity using photometers has been prepared by a working group of the CCPR with the BIPM as the convener. Groups of lamps from Osram and Polaron have been bought which will constitute a new group of working standards. The 1,5 m diameter integrating sphere, last repainted in 1983, has been dismantled, cleaned and its white photometric paint renewed. The international comparison of triple point of water cells, begun in 1994, is well under way. The two groups of national laboratories have completed their measurements. The travelling cells were returned to the BIPM in August 1995 for the last series of checks and measurements. A facility for the test and the comparison of vacuum gauges has been designed and commissioned.

In the Ionizing radiation section, the work is divided into two broad categories, dosimetry and radionuclides. In the γ -ray and x-ray field an exhaustive study has been made of the response of a transfer chamber as a function of the radiation quality. Investigations continue with the objective of finding an explanation for the anomalously high decrease we have observed in the absorbed dose for ^{60}Co , which is 0,2 % above that expected from the known half-life of 1925,5 days. The air kerma has been determined for the new ^{137}Cs source. The total uncertainty is 0,4 %, which is slightly greater than that for the ^{60}Co source. A comparison of air kerma standards has been made with the GUM (Poland) in the BIPM x-ray beams. Two comparisons of standards of air kerma in the BIPM ^{137}Cs beam were made with the NIST (USA) and the OMH (Hungary). The BIPM analysed the results of the high-dose (15 kGy and 45 kGy) comparison in ^{60}Co radiation organized by the IAEA, in which nine laboratories participated. Several ionization chambers used as secondary standards of air kerma or absorbed dose to water have been calibrated in the x-ray, ^{137}Cs and ^{60}Co beams, for the CSIR (South Africa), the BNM-LPRI (France), the IAEA, the OMH (Hungary), the SIS (Denmark) and the SS (Norway). Active collaboration with the IAEA continues. A study has been made of methods that could be used by the BIPM to assure the equivalence of international standards for the measurement of absorbed dose to water from high-energy photon and electron beams. Final measurements have taken

place in the neutron work following the decision to cease experimental work on neutron dosimetry at the BIPM. The stability of three Bonner spheres, being used as transfer instruments in an international comparison of neutron fluence measurements, was checked before the second half of the comparison began. At the end of this comparison, in 1996, the spheres will be returned to the NPL from whence they came originally. The response function of the liquid scintillation detector involved has been measured. In the field of radionuclides, a pilot comparison of activity measurements of ^{204}Tl has been completed and the results presented to the meeting of CCEMRI Section II. The BIPM participated in a EUROMET comparison of activity measurements of ^{63}Ni . As a result of the trial comparison of activity measurements of ^{192}Ir , it was decided by CCEMRI Section II that another trial comparison should take place to include a larger number of participants. The number of participants and the number of radionuclides in the International Reference System (SIR) for gamma-ray emitting radionuclides continues to increase. As part of our long-standing interest in counting statistics, the evaluation of the results of comparisons and the expression of uncertainties, a study has begun on the possible application to metrology of so-called "robust statistics". A brief account of this is given.

1.1 Publications, lectures, travel not directly related to individual sections

1.1.1 External publications

QUINN T. J., Wozu braucht man genaue Messungen?, *PTB Mitteilungen*, 1994, **104**, 294-298.

QUINN T. J., Base Units of the 'Système International d'Unités, their Accuracy, Dissemination and International Traceability, *Metrologia*, 1995, **31**, 515-527.

QUINN T. J., News from the BIPM, *Metrologia*, 1995, **32**, 55-59.

QUINN T. J., Accurate measurements, who needs them and why?, *Measurement and Control*, 1995, **28**, 113-116.

KIND D., QUINN T. J., Metrology: Quo Vadis?, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1995, **44**, 85-89.

QUINN T. J., International Measurement Standards, In *Proceedings of Workshop on establishing international recognition of national measurement standards of developing countries*, 25 October - 4 November 1994, Hsinchu, Taiwan, coordinated by the Asia/Pacific Metrology Programme, 15-24.

1.1.2 Travel (committees, visits to laboratories and institutions) and lectures

T. J. Quinn visited:

— Lindfield (Australia), 19-21 October 1994, where he visited the National Measurement Laboratory and gave evidence to an Australian government enquiry on the Australian national measurement system;

— Hsinchu (Taiwan), 25-26 October 1994, where he took part in a meeting of the Asia/Pacific Metrology Programme giving a lecture entitled “The role of metrology in today’s world”;

— Ottawa (Canada), 28-29 November 1994 and 23-24 May 1995, to take part in meetings of the NRC Advisory Board for the Institute for National Measurement Standards;

— Turin (Italy), 7 December 1994 and 11 April 1995, to take part in meetings of the Scientific Council of the Istituto di Metrologia G. Colonnetti;

— London (United Kingdom), 14 December 1994, to give the Wheatstone Memorial Lecture at the Institution of Electrical Engineers entitled “The role of accurate measurement in today’s world”;

— Amsterdam (Netherlands), 16 January 1995, to take part in a meeting of the EUROMET steering group;

— London (United Kingdom), 6 February and 31 May 1995, to take part in meetings of the Royal Society Paul Fund;

— London (United Kingdom), 7 February 1995, to give the Jubilee Thomson Lecture of the Institution of Measurement and Control at the Science Museum entitled “Accurate measurement, who needs it and why?”;

— Braunschweig (Germany), 27-28 March 1995, to attend the retirement ceremony for D. Kind as President of the PTB;

— Bratislava (Slovak Rep.), 4-6 April 1995, to take part in a meeting of COOMET;

— Birmingham and Warwick (United Kingdom), 2-3 May 1995, to visit the universities as a representative of the Royal Society Paul Fund;

— Noordwijk (Netherlands), 15 May 1995, to give a lecture at ESTEC (European Space Agency) entitled “Science, the value of measurement”;

— Strasbourg (France), 18-19 May 1995, for a meeting of the EUROMET Committee;

— Lisbon (Portugal), 26 May 1995, to take part in a metrology workshop at the Instituto Português da Qualidade and give a lecture on the work of the BIPM;

— Braunschweig (Germany), 26 June 1995, for a meeting of the bureau of the Comité;

— Washington DC (USA), 10-11 August 1995, for a visit to the State Department;

— Copenhagen (Denmark), 21 August 1995, for the celebration of the tenth anniversary of the Danish Institute of Fundamental Metrology.

D. Blackburn gave a presentation at the meeting of the International Federation of Science Editors, in Barcelona (Spain), on 9-13 July 1995, entitled "Electronic choice for small journals".

2. Length (J.-M. Chartier)

2.1 General remarks

Our programme of laser comparisons at $\lambda \approx 633$ nm continues: eight international comparisons were carried out this year, involving twenty countries and the BIPM. One of these took place at the CSIRO (Australia) and included six laboratories from the Asia/Pacific region. Collaboration also continues with the ENS (France), the BNM-LPTF (France) and the BNM-INM (France) on the absolute frequency measurement of stabilized lasers at $\lambda \approx 778$ nm using the two-photon transitions of $5S_{1/2}$ and $5D_{3/2}$ in rubidium, and measurements will be made at the beginning of 1996. This year, the SP (Sweden), the MRI (Finland) and the HUT (Finland) worked with the BIPM on the realization of an external cavity laser diode at $\lambda \approx 633$ nm. Our two stabilized Ar^+ lasers, one using the FM-sideband and the other the third-harmonic technique are now in operation, and measurements are in progress to compare the two techniques. It has been confirmed, both by experiment and by numerical calculation, that the frequency shifts observed last year with the 612 nm He-Ne-stabilized lasers were produced by partial loss of the beam at apertures. The electronic servo system of our first laser for use at $\lambda \approx 10,6$ μm , has been built and checked; for our second laser the mechanical parts have been constructed and the gain tube is functional. With the collaboration of the BNM-INM, we continue to tabulate calculations of hyperfine constants.

2.2 Length measurement

2.2.1 Classical length measurement

Measurements of line scales and long end gauges ended this year. The combination of sparse measurements and ageing equipment made measurements increasingly time consuming when the highest accuracy was sought. A consequence of the higher priority given to the support of laser work has been the closure of the interferometric length facility.

The last measurements by the BIPM were for a comparison of line scales as part of a EUROMET project in which a line scale was circulated to nine laboratories. It was found that the standard uncertainty of the 1 m determination was, as in the 1984-1988 comparison, close to 1 μm . This is slightly worse than one might expect from the estimated uncertainties.

2.2.2 Laser interference diffractometer (L. Vitushkin)

The laser interference diffractometer for the measurement of the spacing of diffraction gratings is now complete. The diffractometer was assembled and aligned, and a preliminary investigation was carried out using available reference gratings. The first comparison of periodic short length line scales used holographic gratings, one gold coated with a spacing of $0,28 \mu\text{m}$, one on a germanium substrate with a spacing of $0,39 \mu\text{m}$ and one with an aluminium coating and a spacing of $0,50 \mu\text{m}$. The comparison was carried out at the BIPM with the collaboration of the VNIIM. The difference between results obtained at the BIPM and the VNIIM using the two-wavelength method was $0,1 \text{ nm}$ for the grating with the spacing of $0,28 \mu\text{m}$, less than 1 nm for the grating with the spacing of $0,39 \mu\text{m}$ and 1 nm for the grating with the spacing of $0,50 \mu\text{m}$.

In co-operation with the VNIIM, a method to measure the width of a single slit, opaque line, was suggested and an experiment was carried out at the BIPM using the laser interferometric diffractometer to demonstrate the feasibility of measuring slits with widths in the range $0,1 \mu\text{m}$ to $10 \mu\text{m}$. Dr S. A. Pul'kin (VNIIM) took part in this comparison.

The three-wavelength method of measuring the spacing of diffraction gratings using laser interferometric diffractometer was investigated. This avoids the need for a calibrated reference grating. The spacing to be measured is evaluated in terms of the known wavelengths of laser radiation using the ratio of measured interference fringes formed at different wavelengths and at different diffraction orders by the grating to be measured. Holographic grating GH-A1-2 was measured. The measured value of the spacing was $0,499 \mu\text{m}$ with a standard uncertainty of $0,004 \mu\text{m}$. This result is in agreement with that obtained using the two-wavelength method, $0,501 \mu\text{m}$ with a standard uncertainty of $0,001 \mu\text{m}$.

Mr A. L. Vitushkin took part in these investigations and measurements.

2.2.3 Wavemeter (X. Ducret*, J.-M. Chartier, L. Robertsson)

With the introduction of diode and solid state lasers it is essential to have some means to make approximate determinations of wavelength. Since a single wavemeter can serve only one laboratory at a time it is assumed that we shall need at least two. Thanks to the gift of a commercial wavemeter from Thomson Jaeger (France), it was possible to design and reconstruct an instrument modified to our particular requirements. This instrument is now available for measurements. Although it is accurate, some experience with this instrument is required before good measurements can be obtained.

* Guest worker

Simultaneously, the design and construction of an in-house wavemeter of simpler type was begun. This instrument is designed to be suitable for duplication in numbers suitable for the support of future activity. The BIPM-designed wavemeter has been tested and a second prototype is under construction. A different fringe counting system, also easy to duplicate, is planned for this instrument.

2.3 Lasers

2.3.1 Iodine-stabilized argon lasers at $\lambda \approx 515$ nm using external cells (L. Robertsson, L. Vitushkin, S. Picard)

The spectroscopic part of the new Ar⁺ system, BIAR2, has been redesigned. Faraday rotators, to improve control of the polarization of the light, and optical isolators, to reduce the fraction of light returning to the laser, have been incorporated. Means to stabilize the laser power for each system have also been introduced.

A series of measurements has been made with the two iodine-stabilized argon lasers. The principal objective of these measurements was to compare two techniques: FM-sideband locking and traditional third-harmonic locking. Evidently, it is of prime importance to show that no systematic frequency shift or discontinuity is involved when changing from one technical realization of the metre to another. Three types of measurement were made:

- frequency reproducibility: measurements to determine the reproducibility of the reference frequency a_3 , P(13) 43-0;
- frequency stability: measurements of the combined Allan variance for the two lasers;
- spectroscopy: measurements of most of the frequency intervals between components in the transitions P(13) 43-0 and R(15) 43-0.

2.3.2 Doubled Nd:YAG laser at $\lambda \approx 532$ nm (L. Robertsson)

The development of solid state lasers during the last decade has reached the point at which this type of laser appears to be a suitable tool for the realization of the metre. By a combination of diode-laser-pumped gain medium and monolithic resonators, high conversion efficiencies and low noise characteristics can be achieved at high output powers. The doubled frequency of the Nd:YAG laser is especially suited for this application. Experiments show good frequency stability and reproducibility. The absolute frequency of this wavelength has also been measured, so this radiation is a strong candidate for inclusion in the list of recommended radiations for the *mise en pratique* of the definition of the metre. This green wavelength is important for practical length measurements based on multiwavelength techniques.

In this domain the Nd:YAG laser will almost certainly prove to be a better alternative than the Ar⁺ laser at $\lambda \approx 515$ nm and the He-Ne laser at $\lambda \approx 543$ nm which are currently used. The BIPM has started a project based on this laser. First resonances using FM-sideband techniques have been recorded and a very good signal-to-noise ratio was obtained. Our intention is to base the equipment mainly on commercial components. This will make it easy to copy and allow rapid access to this wavelength for national laboratories, with minimal development effort on their part.

2.3.3 Iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda \approx 543,5$ nm using external cells (J.-M. Chartier)

Three lasers, each having a gain tube equipped with a Brewster window and a sealed mirror, were cleaned and realigned. The measured output powers show that they can still be used when stabilized with iodine.

2.3.4 Iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda \approx 612$ nm using internal and external cells (L. Robertsson)

Systematic frequency shift caused by truncation of the detected sideband when using modulation techniques in saturation spectroscopy, was studied and reported last year. It was found that if apertures or detectors of small size cause a partial loss at any point in the trajectory of the beam, the frequency of a laser locked to the centre of a component is shifted. Lasers at $\lambda \approx 612$ nm, using external cells, were used for this study. Additional experiments were carried out this year to extend these observations and to test the model by which they are interpreted.

The distribution of the $3f$ -signal was measured with the laser locked to frequencies at different distances from the centre frequency. The observed $3f$ -distributions vary with the locking point of the laser in a way that agrees fully with a model in which individual frequency sidebands of the modulated laser light are self-focused. Numerical calculations confirm this agreement.

2.3.5 Iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda \approx 633$ nm using internal cells (J.-M. Chartier, A. Chartier)

i) Internal comparisons of BIPM lasers

The 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).

The measured frequency difference between the oldest BIPM reference laser, BIPM2, and the BIPM4 laser was also found to be less than 5 kHz.

After the Western European laser comparison (*see* below), we carefully checked the temperature of the iodine cell of the BIPM4 laser using a platinum resistance thermometer and found a temperature of 14,73 °C: a correction has been made to bring this as close as possible to 15,00 °C.

The intracavity power has also been adjusted to 10 mW, as indicated in the *mise en pratique* of the definition of the metre, after calibration of our power meter by the Radiometry section. These two adjustments lead to a frequency correction of 1,2 kHz (– 2,0 kHz for the iodine temperature and 3,2 kHz for the intracavity power).

ii) *International comparisons*

The following international comparisons were carried out:

— in June 1994, at the JILA (Boulder, Colorado, USA), a comparison between the JILA and the BIPM (not included in the report for 1994);

— in July 1994, at the CEM (Madrid, Spain), a comparison between the CEM, the IPQ (Portugal) and the BIPM (not included in the report for 1994);

— in November 1994, at the BIPM, a comparison between the UME-MRC (Gebze-Kocaeli, Turkey) and the BIPM;

— in March 1995, at the BIPM, a comparison between the PTB (Braunschweig, Germany), the NPL (Teddington, United Kingdom), the IMGIC (Turin, Italy), the BNM-INM (Paris, France) and the BIPM;

— in March 1995, at the BIPM, a comparison between the CEM (Madrid, Spain), the NMi (Delft, Netherlands), the IGM (Brussels, Belgium) and the BIPM;

— in May 1995, at the BIPM, a comparison between the OFMET (Wabern, Switzerland) and the BIPM;

— in July 1995, at the CSIRO (Lindfield, Australia), a comparison between the CSIRO, the SISIR (Singapore), the IRL (Lower Hutt, New Zealand), the CMS-ITRI (Hsinchu, Taiwan), the KRISS (Taejon, Rep. of Korea), the CSIR (Pretoria, South Africa) and the BIPM;

— in September 1995, at the BIPM, a comparison between the VNIIM (St Petersburg, Russian Fed.), the CSM (Sofia, Bulgaria), the IFA/IFTAR (Bucharest, Romania), the NMS (Oslo, Norway) and the BIPM.

All the results will be published in the International Reports section of *Metrologia*.

iii) *Others*

The BIPM has purchased a Winters Electro-Optics stabilized laser. This laser was compared with another laser of the same type, belonging to the company, and with the BIPM4 reference laser. All the measured frequency differences were within 2 kHz (4 parts in 10^{12}) over a period of one week.

2.3.6 External cavity diode lasers at $\lambda \approx 633$ nm (J. Åman, A. Zarka, J.-M. Chartier)

An external cavity diode laser has been designed and constructed to provide narrow linewidth single longitudinal mode oscillation, close in wavelength to the He-Ne laser at $\lambda \approx 633$ nm. The performance of the laser was investigated during 1995, using heterodyne spectroscopy at beat frequencies within 3 GHz of an iodine-stabilized He-Ne laser. The linewidth of the laser was reduced to less than 1 MHz by strong dispersive feedback from a holographic diffraction grating in the external cavity. Single-mode laser action (1,3 mW) was obtained with a decrease of the principal side modes by more than 30 dB. Complete coverage of a wide spectral region of tunability, typically more than 10 nm centred around 633 nm, was ensured by antireflection coating of the laser diode. Continuous mode-hop free tuning over 5 GHz has been demonstrated.

Diode laser spectroscopy of the P(33) 6-3 transition in the X-B band of $^{127}\text{I}_2$ has been performed for the first time. The Doppler-limited iodine absorption was measured using a vapour cell external to the laser cavity. The underlying hyperfine structure components have been resolved using saturation spectroscopy, by placing the cell inside an external enhancement cavity, in order to boost power and enhance sensitivity. This experiment demonstrates the potential of this laser as a future frequency for length standards in metrology. A preliminary investigation of intracavity absorption spectroscopy in external cavity diode lasers is complete.

Further studies of the potential of diode lasers as wavelength standards at $\lambda \approx 633$ nm are planned for 1995-1996. The work will include stabilization of the laser to hyperfine lines, and evaluation of the frequency reproducibility and stability.

The work has been carried out in collaboration with L.R. Pendrill of the SP, E. Ikonen and H. Talvitie of the MRI. L. Hollberg of the Time and Frequency Division of the NIST (Boulder) supplied the diodes. Part of the work was carried out at the SP.

2.3.7 Rubidium-stabilized diode lasers at $\lambda \approx 778$ nm using the hyperfine components of 5S-5D two-photon transitions (R. Felder)

i) Construction of the BIPM transportable rubidium-stabilized diode laser is nearly complete. The mechanical parts of the laser source have been assembled and the natural stability of this device will shortly be tested with respect to devices developed at the BNM-LPTF.

ii) The collaboration with the BNM-LPTF, the BNM-INM and the Kastler-Brossel Laboratory of the ENS continues. At the BNM-LPTF, we have developed two transportable systems whose metrological performance is under investigation. A similar device is now operating at the ENS. The three devices were compared in the summer of 1995 using an optical

fibre to link the BNM-LPTF and the Kastler-Brossel Laboratory. The BNM-LPTF frequency multiplication chain is being modified in order to determine the absolute frequencies of these devices early in 1996.

2.3.8 Methane-stabilized He-Ne lasers at $\lambda \approx 3,39 \mu\text{m}$ using internal and external cells (R. Felder)

i) General activities

The construction and study of He-Ne laser tubes and methane cells continues. We received the special ends needed for use with Brewster windows, which are made of sapphire, in the summer of 1995. This part was fabricated by a commercial concern, Établissements Dumas.

ii) Collaboration with other laboratories

The collaborative project with M. Gubin (Lebedev Institute, Moscow, Russian Fed.) and G. Cramer (PTB, Braunschweig, Germany) proposed last year to the International Association for the Promotion of Cooperation with Scientists from the Independent States of the Former Soviet Union was rejected. The development of a portable (He-Ne)/CH₄ laser at $\lambda \approx 3,39 \mu\text{m}$, in which the hyperfine structure of the F₂² line is resolved, is nevertheless of interest to the BIPM. We therefore remain in close discussion with laboratories interested in future collaboration.

2.3.9 CO₂ laser at $\lambda \approx 10,6 \mu\text{m}$ using an external cell containing SF₆ (S. Picard)

Part of the electronics required to control the frequency stabilization of the first CO₂ laser, BC1, has been constructed. The optical adaptation of the laser beam entering the Perot-Fabry interferometer is being optimized. A second CO₂ laser, BC2, has been constructed: this differs in some details from the first laser. All the mechanical elements were constructed in the BIPM mechanical workshop and the laser tube has been tested. The BC2 laser has been mounted and is being aligned. The characteristics of the first laser are described in *Rapport BIPM-94/10*.

2.3.10 Frequency synthesis chain for measuring the absolute frequency of iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda \approx 633 \text{ nm}$ (R. Felder)

The set up required for measurement of the absolute frequency of an iodine-stabilized He-Ne laser at $\lambda \approx 633 \text{ nm}$ with respect to the sum of the frequencies of the (He-Ne)/CH₄ laser at $\lambda \approx 3,39 \mu\text{m}$ and a rubidium-stabilized diode laser at $\lambda \approx 778 \text{ nm}$ is under study. Several optical schemes have been investigated. With J.-J. Zondy from the BNM-LPTF, we have studied the possibility of generating a beam at $\lambda \approx 633 \text{ nm}$ using available non-linear crystals.

2.3.11 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 eight non-saturated cells (denoted type N) were filled. Their frequencies were calibrated using the beat frequency technique; most were sold to metrological laboratories.

ii) *Laser-induced fluorescence* (S. Picard)

The installation of a new laser to verify the purity of iodine glass cells was delayed due to a problem in construction. Some specially prepared cells filled with iodine have been measured. These cells will be taken to the IRMM (Geel, Belgium) for a study by P. De Bièvre using mass spectroscopy.

2.3.12 Hyperfine structure (S. Picard)

The hyperfine structure of iodine is of interest to many groups working on the realization of the metre. Calculations by several different groups of the hyperfine structure and the hyperfine constants of various ro-vibrational transitions in the B-X system of $^{127}\text{I}_2$ have been tabulated in co-operation with A. Razet (BNM-INM). The tabulation has been accepted for publication in *Metrologia*. A similar compilation on $^{129}\text{I}_2$ is near completion.

2.3.13 Computing systems (A. Zarka)

i) *Computer aided design system*

We recently purchased a digitally-controlled instrument for the manufacture of printed circuit boards and front panels. This should allow us to produce high-quality work more rapidly. A first series of nine front panels and four different printed circuit boards is complete. Studies continue on how to make best use of this equipment in combination with our electronic computer aided design system.

ii) *Digital system*

An investigation is in progress on the possible advantages of the VXI system (extended VME bus), for digital servo-control systems.

2.4 Publications, lectures, travel: Length section

2.4.1 External publications

1. BALLING P., BLABLA J., CHARTIER A., CHARTIER J.-M., ZIEGLER M., International Comparison of $^{127}\text{I}_2$ -Stabilized He-Ne Lasers at $\lambda \approx 633 \text{ nm}$

- Using the Third and the Fifth Harmonic Locking Techniques, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1995, **44**, 173-176.
2. CHARTIER J.-M., CHARTIER A., LABOT J., WINTERS M., Absolute gravimeters: status report on the use of iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda \approx 633$ nm, *Metrologia*, 1995, **32**, 181-184.
 3. TOUAHRI D., NEZ F., ABED M., ZONDY J.-J., ACEF O., HILICO L., CLAIRON A., MILLERIOUX Y., BIRABEN F., JULIEN L., FELDER R., LPTF Frequency Synthesis Chain: Results and Improvement for the Near Future, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1995, **44**, 170-172.
 4. NEZ F., PLIMMER M. D., BOURZEIX S., JULIEN L., BIRABEN F., FELDER R., MILLERIOUX Y., DE NATALE P., Determination of the Rydberg Constant by Direct Frequency Measurement, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1995, **44**, 568-571.
 5. VITUSHKIN L. F., LAZARYUK S. V., PUL'KIN S. A., ROBERTSSON L., TOPTYGINA G. I., Resonances of Subnatural Line Width in Iodine Vapor Driven by a Polychromatic Laser Light Field at $\lambda = 515$ nm: A Proposal, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1995, **44**, 177-180.
 6. FELDER R., TOUAHRI D., ACEF O., HILICO L., ZONDY J.-J., CLAIRON A., DE BEAUVOIR B., BIRABEN F., JULIEN L., NEZ F., MILLERIOUX Y., Performance of a GaAlAs laser diode stabilized on a hyperfine component of two-photon transitions in rubidium at 778 nm, *SPIE Proc.*, 1995, **2378**, 52-57.
 7. ZONDY J.-J., TOUAHRI D., ACEF O., HILICO L., ABED M., CLAIRON A., MILLERIOUX Y., FELDER R., DE BEAUVOIR B., NEZ F., BIRABEN F., JULIEN L., Absolute frequency measurement of a diode laser locked on a hyperfine component of $5S_{1/2} - 5D_{5/2}$ two-photon transitions of rubidium ($\lambda \approx 778.1$ nm, $\nu = 385.3$ THz), *SPIE Proc.*, 1995, **2378**, 147-155.

2.4.2 Lectures and presentations

L. Robertsson, J.-M. Chartier and L. F. Vitushkin gave a presentation at the XXI General Assembly of the IUGG, entitled "New determination of the value of 'g' in the BIPM micronetwork using the FG-5 absolute gravimeter", see *Abstracts*, p. B30.

L. F. Vitushkin, T. M. Niebauer and A. L. Vitushkin gave a presentation at the XXI General Assembly of the IUGG, entitled "Ballistic gradiometer for the measurement of the vertical gravity gradient: a proposal", see *Abstracts*, p. B30.

L. F. Vitushkin gave a presentation at the NIST, entitled "Investigations of laser microinterferometric diffractometry for measurement of the spacing of diffraction gratings in the range of 0,25 μm - 10 μm ".

J. Åman, J.-M. Chartier, H. Talvitie, L. R. Pendrill, A. Zarka and M. Hammersberg, gave a presentation at TWICOLS'95 entitled "External cavity diode laser around 633 nm: a possible future optical frequency standard".

2.4.3 Travel (committees, visits to laboratories and institutions)

J.-M. Chartier visited:

- the CSIRO (Lindfield, Australia), 7-21 July 1995, to participate in a He-Ne laser comparison at $\lambda \approx 633$ nm;
- the IRL-MSL (Lower Hutt, New Zealand), 31 July 1995, to see the laboratory and discuss mutual problems;
- the SISIR (Singapore), 7-8 August 1995, to participate in a He-Ne laser comparison at $\lambda \approx 633$ nm.

L. Robertsson visited Wabern (Switzerland), 17-18 October 1994, to attend a EUROMET meeting.

R. Felder spent two thirds of the year at the BNM-LPTF, where he continued to work on the development of a potential reference laser at $\lambda \approx 778$ nm.

R. Felder and S. Picard visited Arcueil (France), 10 January 1995, to attend a one-day series of lectures on "Sources laser solides".

S. Picard visited Villeteuse (France), 13 December 1994, to discuss impurities in iodine cells at the Laboratoire de Physique des Lasers of the BNM-INM.

A. Zarka visited:

- Compiègne (France), 6-17 February 1995, to attend a course on science computing at the Université Technologique de Compiègne;
- Borås (Sweden), 16-25 April 1995, to work on stabilized $\lambda \approx 633$ nm diode lasers at the SP.

L. F. Vitushkin visited:

- Gaithersburg (USA), 29-30 June 1995, for discussions at the NIST;
- Boulder (USA), 14-15 July 1995, for discussions at the JILA.

2.5 Visitors to the Length section

2.5.1 Guest workers

Mrs M. Erin, Dr A. N. Titov and Mr B. Karaboce (UME-MRC, Gebze-Kocaeli, Turkey), stayed at the BIPM, 14-22 November 1994, for a comparison of lasers at $\lambda \approx 633$ nm between their institute and the BIPM.

Mr J. Åman (Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden), stayed at the BIPM, 5 October-5 November 1994 and 24 April-2 June 1995, to work with stabilized diode lasers using iodine at $\lambda \approx 633$ nm.

Messrs W. R. C. Rowley (NPL, Teddington, United Kingdom), H. Darnedde (PTB, Braunschweig, Germany), F. Bertinotto and P. Cordiale (IMGC, Turin, Italy), Y. Millerieux (BNM-INM, Paris, France), stayed at

the BIPM, 20-24 March 1995, for a laser comparison at $\lambda \approx 633$ nm between their institutes and the BIPM.

Mrs M. Mar Pérez, Messrs E. Priéto (CEM, Madrid, Spain), H. Pirée (IGM, Brussels, Belgium), H. Haitjema (NMI-VSL, Delft, Netherlands), S. Wetzels (TUE, Eindhoven, Netherlands), stayed at the BIPM, 27-31 March 1995, for a laser comparison at $\lambda \approx 633$ nm between their institutes and the BIPM.

Dr S. A. Pul'kin (VNIIM, St Petersburg, Russian Fed.) stayed at the BIPM, 3 April-11 May 1995, to take part in a comparison of short-length line scales.

Dr L. R. Pendrill (SP, Borås, Sweden) stayed at the BIPM, 15-17 May 1995, to work on diode lasers at $\lambda \approx 633$ nm.

Dr B. Vaucher (OFMET, Wabern, Switzerland) stayed at the BIPM, 15-19 May 1995, for a laser comparison at $\lambda \approx 633$ nm between his institute and the BIPM.

Dr M. Viliesid (CENAM, Queretaro, Mexico), stayed at the BIPM, 29 May-9 June 1995, for training in stabilized laser technologies and to participate in the frequency calibration of a Zeeman stabilized laser belonging to his institute.

Dr M. Winters (Winters Electro-Optics, Boulder, Colorado, USA) stayed at the BIPM, 2-9 June 1995, to participate in a laser comparison at $\lambda \approx 633$ nm between lasers built by his own company and a BIPM reference laser.

Drs L. Abramova, Y. Zakarenko and V. Fedorine (VNIIM, St Petersburg, Russian Fed.), Mrs S. Kartalova and Mr T. Blagev (CSM, Sofia, Bulgaria), Dr G. Popescu (IFA/IFTAR, Bucharest, Romania) and Dr H. Karlsson (NMS, Oslo, Norway), stayed at the BIPM, 18-29 September 1995, for a laser comparison at $\lambda \approx 633$ nm between their institutes and the BIPM.

2.5.2 Visitors

Mr L. Czap (IAEA, Dosimetry Laboratory, Seibersdorf, Austria), 5 October 1994.

Dr A. Onae (NRLM, Tsukuba, Japan), 11 October 1994.

Dr P. Connes (Service d'Aéronomie, Verrières-le-Buisson, France), 12, 18 and 19 October 1994.

Dr A. Pereira Ribeiro (INMETRO, Rio de Janeiro, Brazil), 11 October 1994.

Dr Min Woongki (KRISS, Taejon, South Korea), 18 October 1994.

Dr M. Van Ruymbeke and J.-M. Delinte (ORB, Brussels, Belgium), 19 October 1994.

Dr L. K. Issaev (GOSSTANDART, Moscow, Russian Fed.), 30 January 1995.

Mr J. Tulasombut (DSS, Bangkok, Thailand), 10 February 1995.

Mr Y. Millerioux (BNM-INM, Paris, France), 14 February 1995.

Prof. G. Moscati (University of São Paulo, São Paulo, Brazil), 5 and 10 May 1995.

Dr M. Gubin (Lebedev Institute, Moscow, Russian Fed.), 15 May 1995.

Dr S. Ueno (Technical Research Institute, Japan Society for the Promotion of Machine Industry, Japan), 23 May 1995.

Dr J. L. Hall (JILA, Boulder, Colorado, USA), 31 May 1995.

Messrs G. Losfeld and S. Desvignes (ONERA, Meudon, France), 3 and 26 July 1995.

Dr M. Kesselberg (University of Stockholm, Sweden), 3 August 1995.

Dr Z. Heggedus (CSIRO, Lindfield, Australia), 4 September 1995.

Dr Wu Changhua and Mr Huang Bingying (NIM, Beijing, People's Rep. of China), 7 September 1995.

Dr J. Y. Lepommelec (BNM-LCIE, Fontenay-aux-Roses, France), 8 September 1995.

3. Mass and related quantities (R. S. Davis)

3.1 Introduction

The international comparison of 1 kg stainless-steel standards initiated by the CCM is continuing and is due to be completed in 1996. The construction of the new flexure-strip balance is finished and it is now undergoing commissioning tests. Apparent changes in mass were observed during a study of the behaviour of the BIPM Pt-Ir standard using the Mettler HK 1000 balance. We now think the observations represent not changes in mass but faults in the operation of the mass exchanger of the balance. Using commercial capacitance detectors, a new system for the measurement of relative humidity gradients has been constructed and linked to a PC. Following the international comparison of absolute gravimeters held at the BIPM in 1994, further measurements have been made using the BIPM FG5 gravimeter which now make an additional contribution to the analysis of the results of the comparison.

3.2 Platinum-iridium standards and a new study of the HK 1000 balance

As part of the follow-up work to the third periodic verification of national prototypes of the kilogram, certain of the BIPM working standards were compared among themselves using the Mettler HK 1000 balance. It was found that prototypes Nos 9 and 31, which had been used extensively

during the third verification, appeared to increase in mass with respect to two other prototypes, Nos 42' and 650, by about 4 μg over a period of six weeks. Further investigation of this unexpected change showed that it was probably an artefact of the balance whose source lies in the mass exchanger mechanism. Apparently correct measurements can be made by assuming that each position on the mass exchanger is associated with its own small mass correction, which can be as much as 4 μg . Work is continuing in an attempt identify the origin of this behaviour.

3.3 Stainless-steel standards

The CCM at its meeting in 1993 asked the BIPM to carry out an international comparison of stainless-steel 1 kg standards. The plan was for pairs of 1 kg standards to be sent to participating laboratories where they would be measured against the laboratories' stainless-steel reference standards which in turn had been calibrated by reference to the national Pt-Ir prototype. Pairs of travelling standards were supplied by the NMi (Netherlands), the SMU (Slovak Rep.) and the BIPM. So far, one pair has been to the NMi and the NPL (UK), and back to the BIPM. The plan is to send it successively to the VNIIM (Russian Fed.), the BIPM, the SMU, the PTB (Germany), once again to the BIPM and then to the BNM-INM (France). The second pair has been to the NIST (USA) and the NRC (Canada). Its subsequent schedule takes it to the NRLM (Japan), back to the BIPM and then to the NIM (People's Rep. of China), the CSIRO-NML (Australia) and the IMGIC (Italy). Completion of the comparison is planned for the end of 1996. As part of this comparison, BIPM working standards N2 and N3 were compared with Pt-Ir standards and then with the three pairs of stainless-steel standards to be used for the CCM comparison, one of which was the BIPM pair J2 and J3.

A calibration of mass and density was carried out on a stainless-steel 1 kg standard, marked 2, for the CMS-ITRI (Hsinchu, Taiwan).

3.4 New flexure-strip balance (A. Picard, T. J. Quinn)

Construction of the new flexure-strip balance, the FB2, was completed in the Spring of 1995 and commissioning tests have been under way since then. These tests include adjustment of the servo-control system of the beam, assessments of the reliability of the mass exchanger, and measurements of the temperature stability and temperature uniformity inside the balance case. For each of these parameters the design criteria appear to have been met. The temperature stability inside the balance case is better than 1 mK over 24 h and the mass centring error on the pan is about 1 μm for each of the eight weighing stations on the mass exchanger. The beam servo control maintains the beam position with respect to the

base to better than 10 nrad during mass exchanges. Preliminary weighings of a set of eight 1 kg stainless-steel masses, made at the BIPM specially for this balance, were of comparable quality to those obtained with the prototype flexure-strip balance.

3.5 Measurement of relative humidity in the balance case

Using commercial capacitance elements, a simple humidity transducer system having rapid response and good sensitivity has been made for use inside a balance or balance enclosure. The sensitivity is about 0,0002 in relative humidity, and calibration is by reference to a dew-point hygrometer and a series of saturated salt solutions. A set of four such detectors has been made, and each is linked to a PC for operation and recording. The detectors are used in a differential mode.

Using two of these new detectors, a short study has been made of the changes in relative humidity that take place inside the balance case of the Mettler HK 1000 balance. After sealing the enclosure which contains the balance, a period of about one day is required before the relative humidity of the air within the balance case reaches equilibrium with the air in the balance enclosure. Initially a difference of 0,02 or 0,03 in relative humidity (a deliberately large difference) was observed to fall slowly to 0,001. Once a steady state is reached, the differential probes demonstrate that the dew-point temperatures are the same inside and outside the balance case. The relative humidity measurements, however, are not the same because of temperature gradients. Note that the dew-point measurements outside the weighing chamber are calibrated with respect to an adjacent chilled-mirror dew-point meter.

Two important conclusions drawn from this work are: *a)* the device made at the BIPM may be simple and small only because we require high precision in the differential mode, and *b)* after an initial period of drift, gradients in relative humidity and temperature reach a steady state in which the dew-point temperature is constant throughout the air-tight enclosure. This behaviour is reasonable, but had not previously been verified.

3.6 Anelasticity in flexure pivots and torsion strips (T. J. Quinn)

No further experiments have been done on beryllium-copper following those described in the Report for 1994; instead, efforts have been devoted to a search for suitable samples of single crystal silicon with which to do similar experiments. In the light of the results on Cu-Be, it is now thought that the measurements of anelastic losses in single crystal silicon reported in 1992 are too high. The losses were then found to be about one tenth of those of Cu-Be. We now believe that the intrinsic losses in

single crystal silicon are much lower than this. What was measured were probably losses at the supports and in the pendulum rather than intrinsic losses in the silicon.

3.7 New prototypes and other Pt-Ir artefacts

The new ingot of Pt-Ir obtained in 1994 from Johnson-Matthey jointly with the NPL has been cut. Four ingots, each destined to become a 1 kg prototype, are now at the BIPM and their density has been measured. In addition, two further 1 kg ingots and a group of other slices of smaller mass belonging to the NPL are at the BIPM for machining into special artefacts. The artefacts will be used at the NPL for experiments in vacuum weighing and surface studies.

A new prototype, No. 78, was delivered to the CMS-ITRI (Hsinchu, Taiwan). This prototype comes from the previous purchase of alloy from Johnson-Matthey from which there remain Nos 79 and 80, as yet unattributed.

3.8 Gravimetry (A. Sakuma, L. Robertsson, L. Vitushkin)

In 1994, we established the three absolute gravimetry stations (bases) in the mountainous region of Le Puy-de-Dôme about 440 km south of Paris. These stations, designated Puy-de-Dôme-A, Orcines-A and Clermont-Ferrand-A, provide a large spread of gravity difference, $\Delta g \approx 2,19 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-2}$ ($\approx 219 \text{ mGal}$), within a limited geographical area, less than 15 km displacement, and so are well-suited for the calibration of relative gravimeters. The first trial calibration demonstrates an important improvement in precision. We intend to repeat the absolute measurements at these stations and so to monitor possible variations of g due to volcanic activity.

After the international comparison of absolute gravimeters, which took place at the BIPM in May and June 1994, the BIPM FG5 gravimeter was transported in turn to each of the stations on the site at which measurements had been made. The network thereby obtained showed small but significant differences from those obtained during the international comparison using relative gravimeters. The origin of these differences is being sought. Since early summer 1994, regular weekly measurements have been made using the FG5 at point L₄ in the laser building. These are providing a valuable data base to monitor changes in g and also to test modifications to the software of the gravimeter. Recent studies, elsewhere, of the fringe detection system of the FG5 have indicated that a small systematic error, linked to fringe amplitude, may have been present in FG5 instruments at the time of the international comparison. The possibility of such an error in the BIPM FG5 is being evaluated, but first indications are that it is not present.

3.9 Publications, lectures, travel: Mass section

3.9.1 External publications

1. DAVIS R. S., Device to locate the centre of mass of a test object to within a precision of micrometres, *Meas. Sci. Technol.*, 1995, **6**, 227-229.
2. DAVIS R. S., Determining the magnetic properties of 1 kg mass standards, *J. Res. Nat. Inst. Stand. Technol.*, 1995, **100**, 209-225.
3. DAVIS R. S., Results of the 3rd Verification of the national prototypes of the kilogram, In *La Massa et la Sua Misura: Atti del Convegno Internazionale*, Modena, 15-17 September 1993, Bologna: CLUEB, 1995, 89-98.
4. QUINN T. J., PICARD A., The BIPM flexure-strip balance, In *La Massa e la Sua Misura: Atti del Convegno Internazionale*, Modena, 15-17 September 1993, Bologna: CLUEB, 1995, 109-118.
5. QUINN T. J., SPEAKE C. C., DAVIS R. S., TEW W., Stress-dependent damping in Cu-Be torsion and flexure suspensions up to 1.1 GPa, *Phys. Lett.*, 1995, **A197**, 197-208 (see also Erratum, *Phys. Lett.*, 1995, **A198**, 474).
6. QUINN T. J., PICARD A., The BIPM flexure-strip balance, In *Basic Metrology and its Applications*, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Libreria Editrice Universitaria Levrotto & Bella, Turin, 1994, 18-28.
7. QUINN T. J., Traceability of mass standards among thirty nine member states of the Convention du Mètre, *Metrologia*, 1994, **31**, 337.

3.9.2 Travel (committees, visits to laboratories and institutions)

R. S. Davis visited Copenhagen (Denmark), 24-27 January 1995, to attend a EUROMET mass contact persons meeting at the DFM.

R. S. Davis spent the period May to October 1995 on detachment to the NIST (Gaithersburg).

A. Picard is spending the period August 1995 to July 1996 at the NIST (Gaithersburg) as a Guest Scientist working in the Electricity Division on the experiment to link the kilogram to fundamental physical constants.

3.10 Visitors to the Mass section

Mr V. Tulasombut (DSS, Bangkok, Thailand), 9-10 February 1995.

Mr M. Luty (NPL, Teddington, UK), 1 March 1995.

Mr H. Chang, Ms H.C. Ma and Dr B.-S. Harn (CMS-ITRI, Hsinchu, Taiwan), 24 May 1995.

Dr M. Kenny (CSIRO, Lindfield, Australia), 15 September 1995.

4. Time (C. Thomas)

4.1 International Atomic Time (TAI) and Coordinated Universal Time (UTC)

Reference time scales TAI and UTC have been regularly computed and published in the monthly *Circular T*. The definitive results for 1994 have been available, in the form of computer-readable files on the BIPM Time section Internet anonymous FTP, since 5 April 1995 and printed volumes of the *Annual Report of the BIPM Time Section* for 1994 (Volume 7) were distributed at the beginning of May 1995.

4.2 Algorithms for time scales (J. Azoubib, G. Petit, C. Thomas)

In the field of research concerning time-scale algorithms, the activity of the Time section was largely dominated by preparations for the meeting of the CCDS working group on TAI, held at the BIPM on 13-14 March 1995. This includes studies which aim to improve the long-term stability of EAL and define a safe strategy for frequency steering.

4.2.1 Stability algorithm

Since the end of 1992, the quality of the timing data received at the BIPM has evolved rapidly thanks to the wide use of GPS time transfer and to the extensive replacement of older designs of commercial clocks by the new HP 5071A clocks. Consequently the stability of the free atomic time scale EAL, the first step in the calculation of TAI, has improved significantly. Values for the stability were estimated by application of the N-cornered hat technique to data obtained in 1993 and 1994 in comparisons between EAL and the best independent time scales of the world (maintained at the NIST, the VNIIFTRI, the USNO, the PTB and the BNM-LPTF). They lead to the following values for the Allan standard deviation $\sigma_y(\tau)$ [1]:

$$\sigma_y(\tau = 10 \text{ d}) = 4,1 \times 10^{-15},$$

$$\sigma_y(\tau = 20 \text{ d}) = 3,4 \times 10^{-15},$$

$$\sigma_y(\tau = 40 \text{ d}) = 3,1 \times 10^{-15},$$

$$\sigma_y(\tau = 80 \text{ d}) = 4,1 \times 10^{-15}.$$

For further improvement, the stability algorithm which produces EAL may need to be revised. Several possible changes have been the subject of experiments on real clock data collected at the BIPM. These studies mainly concern the use of hydrogen masers, a change in the upper limit of weights, and shortening of the computation time of TAI.

It has been shown that the introduction of hydrogen maser data in the EAL computation did not degrade its stability for the period 1988-1994, though frequency drifts were not taken into account [2]. For averaging times close to the EAL computation time (60 days), the variation of the maser frequencies relative to EAL was dominated by an important drift in only one case, which consequently received a small weight. However, EAL stability is improving and the frequency drift of some hydrogen masers may become significant when compared with the intrinsic EAL noise, without leading to their deweighting. If this proves to be the case, it will be necessary to use a specific weighting procedure and mode of frequency prediction for hydrogen masers, based on estimates of their frequency drifts. The CCDS working group on TAI did not take any decision on this point and tests are being carried out. It is already recognized that long periods of observation, at least one year, are necessary to make good estimates of frequency drifts.

The reduction of the noise involved in time transfers and the stability characteristics of HP 5071A clocks may make it possible to shorten the computation time of EAL. However, data averaging over 30 day periods rather than 60 day periods, improves the long-term stability of EAL only if it is associated with an increase of the upper limit of weight [17, 18]. Following decisions of the CCDS working group on TAI, the maximum allowable weight of a clock in EAL was changed from 1000 to 2500 [19] starting from the computation over the two-month interval May-June 1995. The computation time will probably be reduced to 30 days at the beginning of 1996, when all contributing laboratories will provide the BIPM with data taken every 5 days (MJDs ending in 9 and 4) rather than every 10 days (MJDs ending in 9) as at present.

In addition, following the advice of the working group, studies are in hand to assess the advantages of using an upper limit of relative weights, rather than one of absolute weights. Tests show that an upper contribution of 1,4 % for any individual clock would have helped to improve the stability of EAL for all averaging times during the period 1993-1994. This criterion operates a very severe discrimination even among HP 5071A clocks and primary standards, some of these not being stable enough to reach the upper limit. It also deweights laboratories for which GPS data are not of the first quality.

Other decisions of the working group were put into operation immediately after the meeting:

- All time differences published in *Circular T* are given within ± 1 ns.
- Frequency steering corrections are published in advance, so as to facilitate the steering of local time scales.
- Clock data for month n are requested, in a file arranged according to a specified format, on the 5th of month $(n + 1)$. This had the effect that *Circular T88* was published on 18 May 1995, whereas publication had been expected on 29 May.

4.2.2 Steering strategy

The question of the application of new steering corrections was also discussed at the meeting of the CCDS working group on TAI [20]. The purpose of such corrections is to keep the duration of the TAI scale unit as close as possible to the SI second on the rotating geoid. For many years TAI accuracy has been based on results from the primary frequency standards PTB-CS1 and CS2, but the situation has now radically changed:

- Since the second half of 1994, the BIPM has regularly received data from evaluations of the optically pumped primary frequency standard NIST-7 developed at the NIST (Boulder, Colorado, USA). These evaluations lead to a level of accuracy, characterized by a relative uncertainty of 1×10^{-14} (1σ), never reached before. These results are corrected for the black-body radiation shift, which is estimated to be $-1,7$ parts in 10^{14} for a caesium atom at a temperature of 300 K. In the past, laboratories reporting data from primary frequency standards have not applied this correction in a uniform way: in particular, the results provided by PTB-CS1 and CS2 have never been corrected.
- In addition, since July 1995, PTB-CS1 has ceased operation and the BIPM has received an estimate of the black-body correction for PTB-CS2.

It follows that, starting July 1995, we have applied this correction to results from PTB-CS2 and have evaluated the duration of the TAI scale unit from the two primary frequency standards PTB-CS2 and NIST-7 corrected in a consistent manner. This procedure is in accord with the decisions of the CCDS working group on TAI which recommended to the CCDS that black-body corrections should be applied. The CCDS will take a final decision on this question at its meeting in March 1996.

This new procedure led to a departure of the TAI scale unit from the SI second on the geoid estimated as 2×10^{-14} s with a relative uncertainty of $0,7 \times 10^{-14}$ for the two-month interval July-August 1995. Compensation of this discrepancy has already been initiated: it takes the form of cumulative frequency steering corrections, each of relative amplitude 1×10^{-15} , which are applied on dates separated by 60 day intervals, a procedure which should not degrade the stability of the time scale.

4.3 Time links (W. Lewandowski, G. Petit, C. Thomas)

Since the beginning of 1995, the GPS common-view technique has been the sole means of time transfer used for TAI computation. Nevertheless, the BIPM Time section is interested in any other time comparison method which has the potential for nanosecond accuracy, in particular GLONASS common views and two-way time transfer via geostationary satellites [3].

4.3.1 Global Positioning System (GPS)

The BIPM still issues, twice a year, GPS international common-view schedules. Schedule No. 24 was implemented in GPS time receivers on 16 December 1994 and Schedule No. 25 on 28 June 1995. The collection and treatment of rough GPS data are effected regularly according to well-known procedures. The international network of GPS time links used by the BIPM is organized to follow a pattern of local stars within a continent, together with two long-distance links, NIST-OP and CRL-OP, for which data is corrected to take account of on-site ionospheric measurements and post-processed precise satellite ephemerides. Only strict common-views are used in order to overcome effects due to the implementation of Selective Availability on satellite signals.

The BIPM also publishes an evaluation of the daily time differences [$UTC - GPS\ time$] in its monthly *Circular T*. These differences are obtained by smoothing data taken from a selection of satellites observed with an angle of elevation greater than 30° . The standard deviation of the daily results is about 12 ns, as Selective Availability is not completely eliminated in this procedure.

An important part of our current work is to check the differential delays between GPS receivers which operate on a regular basis in collaborating timing centres or, on special request, in other laboratories. Five exercises involving the differential calibration of GPS receivers have been carried out since autumn 1994:

- a European round-trip OP (Paris, France) to OP successively through the OCA (Grasse, France), the NPL (Teddington, United Kingdom), the NMI-VSL (Delft, Netherlands), the PTB (Braunschweig, Germany), the FTZ (Darmstadt, Germany) and the TUG (Graz, Austria) [22];
- between the OP and the IEN (Turin, Italy) [23];
- between the OP and the NMI-VSL (Delft, Netherlands) [24];
- between the OP and the USNO (Washington DC, USA) [25, 26];
- between the OP, the AOS (Borowiec, Poland) and the GUM (Warsaw, Poland) [27, 28].

Work continues on testing the closure condition through a combination of three links, OP-NIST, NIST-CRL and CRL-OP, using precise GPS satellite ephemerides and ionospheric delays measured at the three sites. The closure condition still shows a residual error of a few nanoseconds on daily averages, which now can be determined with a precision of less than 1 ns. With the passage of time, 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. Work is under way to evaluate these errors.

It may be possible to carry out GPS time transfers at sub-nanosecond accuracy using dual-frequency phase measurements. Such data are obtained from the Allen Osborne Associates TTR-4P receiver in operation at the BIPM and we are now contacting outside laboratories equipped with similar receivers with a view to initiating experimental work on this subject.

The implementation of technical directives for the standardization of GPS time receiver software and of the new data format, designed in 1993, should take place before the end of 1995 [4]. This should help to provide 1 ns accuracy for GPS common-view time transfer. Within the group on GPS time transfer standards (GGTTS), the BIPM is now studying the possibility of using standardized hardware, with the aim of reducing, in particular, the variation with outside temperature of some types of receiver currently in operation.

Another issue is estimation of the tropospheric delay usually obtained with a general empirical model. We are testing a semi-empirical model based on weather measurements taken on site. Time transfers through GPS common views over a short baseline of about 700 km, and over three baselines of 6400 km, 9000 km and 9600 km have been studied using both models. This shows that the results of time comparisons within a region where the climate is similar are shifted by no more than a few hundreds of picoseconds when applying the semi-empirical model. In contrast, for long distance links, differences can reach several nanoseconds [5].

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*.

A GLONASS common-view time transfer between California, the East Coast of the United States and the BIPM has been under way since end of June 1995. The BIPM is equipped with a receiver which is on loan from the 3S Navigation Company. The software in this new receiver, which is designed specifically for fully automatic GLONASS common-view observations, is the first of its kind and was developed with the help of the BIPM: in particular, the results are provided in the new standard format defined by the GGTTS for GPS measurements. Preliminary results show a precision similar to that obtained with the GPS. This experiment will continue with improved accuracy using a GLONASS double-frequency receiver now on order by the BIPM. In addition, the first official international GLONASS common-view schedule will be published by the BIPM at the end of 1995.

4.3.3 Two-way time transfer

The CCDS working group on two-way satellite time transfer met for the fourth time in Grasse (France), on 26-27 October 1994. In addition, a

more technical meeting of the active stations was held on 23 June 1995 at the NMi-VSL. These meetings were devoted mainly to discussions of a field-trial, the use of an INTELSAT satellite in 1996, the results of the calibration trip conducted in 1994 and the state of available modems.

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 was initially scheduled to last one year. Regular time transfer sessions occurred three times per week, on Mondays, Wednesdays and Fridays. The field-trial was a major success in terms of putting into permanent operation an international network of eight stations. However, sub-nanosecond time transfer has not yet been obtained and the experiment has been prolonged for one more year.

During the autumn of 1994, the Earth stations involved were calibrated using a portable station. At the same time, the GPS equipment in these laboratories was differentially calibrated using a portable GPS time receiver provided by the BIPM. These calibration exercises should allow a check of previous estimates of the accuracy of the two-way technique [6].

4.4 Application of general relativity to time metrology (G. Petit, C. Thomas, P. Wolf)

Work on the development of a relativistic theory for the syntonization of clocks in the vicinity of the Earth has been completed [7, 8, 9]. Analytical expressions for the syntonization of a clock with respect to Geocentric Coordinate Time (TCG) were obtained at a relative uncertainty of about 2×10^{-17} for clocks on the Earth's surface and 1×10^{-18} for clocks on board terrestrial satellites. It was found that syntonization with respect to Terrestrial Time (TT) is limited at a relative uncertainty of 1×10^{-17} by uncertainties in the determination of the potential on the geoid. When comparing the stability of two clocks, only time varying effects are of interest: expressions for calculation of the corresponding corrections at a level of 10^{-18} were obtained, even for clocks located on the Earth's surface.

This, together with last year's results on clock synchronization, amounts to a complete relativistic theory for the realization of TCG taking account of all terms exceeding 1 part in 10^{18} and picosecond datation accuracy. This should be sufficient to accommodate all expected developments in clock technology and time transfer methods for years to come.

Members of the Time section contributed to a draft report of the CCDS working group on the application of general relativity to metrology chaired by Prof. B. Guinot, and are currently continuing research on some of the topics addressed by this report.

A satellite test of special relativity [10, 11] has been proposed within the framework of the ExTRAS (Experiment on Timing, Ranging and Atmospheric Sounding) project in which we were involved last year [12].

Although the project was not approved for funding by the European Space Agency, research continues with the goal of eventually carrying out such a test.

4.5 Pulsars (G. Petit)

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(BIPM95) in April 1995, and has given other occasional support. This collaboration will continue through the working group on pulsar timing of the IAU Commission 31 (Time), which is chaired by G. Petit.

Studies of a new technique which could be used at radio observatories to obtain more pulsar data are being carried out in collaboration with the Centre National d'Études Spatiales (CNES, Toulouse, France) and with the Observatoire de Paris (Meudon, France) [13, 14]. The possibility of using this technique to discover new pulsars is also under study.

4.6 Very Long Baseline Interferometry (G. Petit)

Very Long Baseline Interferometry (VLBI) is one of the most precise techniques for the realization of reference frames in geodesy and astrometry. It is also an application which demands the highest stability of atomic clocks when operating with averaging times of 1 minute to 1 day. We maintain contact with this technique by collaborating with the Observatoire de Paris and the CNES, particularly through VLBI observations on millisecond pulsars [13].

4.7 Publications, lectures, travel: Time section

4.7.1 External publications

1. THOMAS C., Time Activities at the BIPM, *Proc. 26th PTTI*, 1994, 111-122.
2. AZOUBIB J., THOMAS C., The Use of Hydrogen Masers in TAI Computation, *Proc. 9th EFTF*, 1995, 283-287.

3. PETIT G., THOMAS C., Current achievements in time transfer, In *Highlights of Astronomy*, Kluwer Acad. Pub., Appenzeller I. (ed.), 1995, **10**, 286-287.
4. WEISS M. A., THOMAS C., Implementation of a Standard Format for GPS Common View Data, *Proc. 26th PTTI*, 1994, 75-88.
5. LEWANDOWSKI W., KLEPCZYNSKI W. J., MIRANIAN M., GRUDLER P., BAUMONT F., IMAE M., Study of Tropospheric Correction for Intercontinental GPS Common View Time Transfer, *Proc. 26th PTTI*, 1994, 319-332.
6. KLEPCZYNSKI W. J., DAVIS J. A., KIRCHNER D., RESSLER H., DE JONG G., BAUMONT F., HETZEL P., SOERING A., HACKMAN C., GRANVEAUD M., LEWANDOWSKI W., Some Preliminary Results of the FAST Calibration Trip During the INTELSAT Field-Trial, *Proc. 26th PTTI*, 1994, 89-94.
7. WOLF P., PETIT G., Relativistic Theory for Syntonization of Clocks in the Vicinity of the Earth, *Proc. 26th PTTI*, 1994, 381-392.
8. WOLF P., PETIT G., Relativistic Theory for the Realization of Coordinate Time Scales and the Syntonization of Clocks in the Vicinity of the Earth, *Proc. 9th EFTF*, 1995, 323-326.
9. WOLF P., PETIT G., Relativistic Theory for Clock Syntonization and the Realization of Geocentric Coordinate Times, *Astron. Astrophys.*, 1995, **304**, 653-661.
10. WOLF P., Satellite Test of the Isotropy of the One-Way Speed of Light Using ExTRAS, *Proc. 26th PTTI*, 1994, 455-464.
11. WOLF P., Proposed Satellite Test of Special Relativity, *Phys. Rev. A.*, 1995, **51**, 5016-5018.
12. THOMAS C., WOLF P., UHRICH P., SCHÄEFER W., NAU H., VEILLET C., Anticipated Uncertainty Budgets of Praretime and T2L2 Techniques as Applied to ExTRAS, *Proc. 26th PTTI*, 1994, 127-140.
13. PETIT G., Observations VLBI des pulsars millisecondes pour le raccordement des systèmes de référence célestes et la stabilité des échelles de temps, *Thèse de Doctorat*, Observatoire de Paris, 1994, 138 p.
14. PETIT G., FAYARD T., LESTRADE J.-F., High precision timing of the millisecond pulsar 1937+21 by autocorrelation of VLBI data, *Astron. Astrophys.*, 1995, **303**, L17-L20.
15. PETIT G., BIPM analysis of millisecond pulsar data, In *Highlights of Astronomy*, Kluwer Acad. Pub., Appenzeller I. (ed.), 1995, **10**, 278-279.

4.7.2 BIPM reports

16. THOMAS C., WOLF P., TAVELLA P., Time scales, *Monographie BIPM-94/1*, 1994, 52 p.

17. AZOUBIB J., THOMAS C., Shortening of the definitive computation time of TAI, *Report to the CCDS working group on TAI*, GT-TAI/95-7, 1995, 28 p.
18. THOMAS C., AZOUBIB J., A modified version of the TAI algorithm under test, *Report to the CCDS working group on TAI*, GT-TAI/95-9, 1995, 15 p.
19. AZOUBIB J., THOMAS C., The upper limit of weight for clocks contributing to TAI, *Report to the CCDS working group on TAI*, GT-TAI/95-8, 1995, 26 p.
20. PETIT G., Test of different strategies in the steering of EAL, *Report to the CCDS working group on TAI*, GT-TAI/95-6, 1995, 9 p.
21. THOMAS C., Pre-filtering of timing data, *Report to the CCDS working group on TAI*, GT-TAI/95-4, 1995, 2 p.
22. LEWANDOWSKI W., BAUMONT F., Determination of differential time corrections between GPS time equipment located at the Observatoire de Paris, Paris, France, the Observatoire de la Côte d'Azur, Grasse, France, the National Physical Laboratory, Teddington, United Kingdom, the Van Swinden Laboratorium, Delft, the Netherlands, the Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Germany, the Forschungs- und Technologiezentrum, Darmstadt, Germany and the Technical University, Graz, Austria, *Rapport BIPM-94/12*, 1995, 11 p.
23. LEWANDOWSKI W., MOUSSAY P., Determination of differential time correction between GPS time equipment located at the Observatoire de Paris, Paris, France, and the Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin, Italy, *Rapport BIPM-95/7*, 1995, 10 p.
24. LEWANDOWSKI W., Determination of differential time correction between GPS time equipment located at the Observatoire de Paris, Paris, France, and the Van Swinden Laboratorium, Delft, the Netherlands, *Rapport BIPM-95/8*, 1995, 10 p.
25. LEWANDOWSKI W., Determination of differential time correction between GPS time equipment located at the Observatoire de Paris, Paris, France, and the United States Naval Observatory, Washington DC, USA, *Rapport BIPM-94/11*, 1994, 14 p.
26. LEWANDOWSKI W., Determination of differential time correction between GPS time equipment located at the Observatoire de Paris, Paris, France, and the United States Naval Observatory, Washington DC, USA, *Rapport BIPM-95/10*, 1995, 12 p.
27. LEWANDOWSKI W., Determination of differential time correction between GPS time equipment located at the Observatoire de Paris, Paris, France, and the Central Office of Measures, Warsaw, Poland, *Rapport BIPM-95/11*, 1995, 11 p.
28. LEWANDOWSKI W., Determination of differential time correction between GPS time equipment located at the Observatoire de Paris, Paris, France,

and the Astronomical Latitude Observatory, Borowiec, Poland, *Rapport BIPM-95/12*, 1995, 11 p.

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 19-20 September 1994, in Falls Church (Virginia, USA), on 2-3 March 1995, and in Palm Springs (California, USA), on 11-12 September 1995, where he gave presentations on recent studies in GPS, GLONASS, and two-way time transfers. He also gave lectures on Time at the AOS in Borowiec (Poland), on 7 April 1995, and at the Space Research Centre in Warsaw (Poland), on 21 April 1995.

G. Petit presented his PhD dissertation in the Observatoire de Paris, on 14 December 1994, and presented a report on the activities of the BIPM Time section at the XXIst IUGG General Assembly in Boulder (Colorado, USA).

C. Thomas gave a presentation on the use of primary frequency data in TAI computation at the NIST (Boulder, Colorado, USA), on 30 November 1994, and a presentation on BIPM time activities at the USNO (Washington DC, USA), on 9 December 1994.

4.7.4 Travel (committees, visits to laboratories and institutions)

J. Azoubib visited Besançon (France), 8-10 March 1995, to attend the 9th EFTF meeting.

W. Lewandowski visited:

— Salt Lake City (Utah, USA), 20-23 September 1994, to attend the 7th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GPS-94);

— Grasse (France), 26-27 October 1994, to participate in the meeting of the CCDS working group on two-way satellite time transfer;

— Reston (Virginia, USA), 5-8 December 1994, to attend the 26th PTTI meeting;

— Washington DC (USA), 1 and 6 March 1995, to calibrate the GPS time equipment at the USNO;

— Borowiec (Poland), 5-7 March and 18 March 1995, to calibrate the GPS time equipment at the AOS;

— Warsaw (Poland), 18-24 April 1995, to calibrate the GPS time equipment at the GUM;

— Delft (Netherlands), 23 June 1995, to attend a meeting of the participating stations of the CCDS working group on two-way satellite time transfer;

— Palm Springs (California, USA), 13-15 September 1995, to attend the 8th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GPS-95) and give a presentation on “GLONASS Intercontinental Time Transfer: Calibration and Initial Results” with J. Danaher, A. Balendra and W. J. Klepczynski.

G. Petit visited:

— Paris (France), 25 November 1994, to participate in the work of the Scientific Council of the Groupe de Recherche de Géodésie Spatiale (GRGS);

— Besançon (France), 8-10 March 1995, to attend the 9th EFTF meeting;

— Toulouse (France), 4-6 April 1995 and 28-29 June 1995, to supervise the work of a student and to process pulsar data at the CNES;

— Boulder (Colorado, USA), 9-17 July 1995, to attend the XX1st IUGG General Assembly and for discussions with colleagues at the NIST.

C. Thomas visited:

— Turin (Italy), 5-6 October 1994, for discussions with colleagues from the IEN and with Prof. De Marchi from the Politecnico di Torino;

— Grasse (France), 26-27 October 1994, to chair the 2nd meeting of the CCDS working group on two-way satellite time transfer, and to visit the time laboratory of the OCA;

— Boulder (Colorado, USA), 29-30 November 1994, to visit the Time and Frequency Division of the NIST, and to take part in an informal working meeting with colleagues of the NIST about the use of primary frequency standard data in the TAI computation;

— Washington DC (USA), 2, 5 and 9 December 1994, to visit the Time Department of the USNO and to discuss possible changes in the TAI algorithm;

— Reston (Virginia, USA), 6-8 December 1994, to attend the 26th PTTI meeting.

P. Wolf visited:

— London (United Kingdom), 10-14 October 1994, to work with Prof. I.W. Roxburgh and Dr A.G. Polnarev at Queen Mary and Westfield College;

— Reston (Virginia, USA), 5-8 December 1994, to take part in the 26th PTTI meeting.

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, for which he is a member of the working group on astronomical standards and chairman of the working group on pulsar timing of Commission 31 (Time). He is a member of the Scientific Council of the GRGS (France) and of the IERS Central Bureau (France). He is a member of the Comité National Français de Géodésie et Géophysique.

C. Thomas is a member of the Comité National Français de Géodésie et Géophysique.

4.9 Visitors to the Time section

Dr K. Mordzinski (GUM, Warsaw, Poland), 11 October 1994.

Dr R. Gamidov and Mr I. Taskin (UME-MRC, Gebze-Kocaeli, Turkey), 15 November 1994.

Mr B. Simeone (CNAM, Paris, France), 6 January 1995.

Dr M. Granveaud (BNM-LPTF, Paris, France), 25 January 1995.

Dr S.R. Stein (Timing Solutions Corporation, Boulder, Colorado, USA), 15 March 1995.

Dr A. Bauch (PTB, Braunschweig, Germany), 15 March 1995.

Dr R. Douglas (NRC, Ottawa, Canada), 15 March 1995.

Dr N. Koshelyaevsky, Mr S. Pushkin and Mr V. Koutcherov (VNIIFTRI, Moscow, Russian Fed.), 16 March 1995.

Dr G. Moscati (University of São Paulo, São Paulo, Brazil), 11 May 1995.

Dr H. Nilsson (SP, Borås, Sweden), 15 June 1995.

Dr G. Lin Heng-dao and Dr Chiu Wu-jhy (TL, Taiwan), 16 June 1995.

Dr W.J. Klepczynski (USNO, Washington DC, USA), 21 June 1995.

Dr A. Jakab (OMH, Budapest, Hungary), 26 June 1995.

5. Electricity (T. J. Witt)

5.1 Summary of the work of the Electricity section

The highlights of our activities in the year 1994-1995 include three comparisons of 1 V Josephson voltage standards by means of our transportable apparatus. These comparisons took place at the KRISS (Rep. of Korea), the MSL (New Zealand) and the CSIRO-NML (Australia). The results show relative differences between the 1 V Josephson voltage standards of each laboratory and that of the BIPM of less than 3 parts in 10^{10} with a total combined standard uncertainty below 3 parts in 10^{10} in each case. In November 1994 we took our transportable quantum Hall effect (QHE) resistance standard apparatus, including cryostat, magnet and

resistance bridge, to the OFMET (Switzerland) and carried out the second 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 one order of magnitude or more better than those of conventional travelling standards.

Further progress has been made in the AC measurement of the quantized Hall resistance at 1600 Hz. We have carried out accurate comparisons of the $i = 2$ and $i = 4$ resistance plateaus and have found accurate quantization at this frequency but there are some residual imperfections at the level of one part in 10^7 .

Our programme of bilateral comparisons of basic electrical standards continues to attract interest and this year three comparisons are under way.

5.2 Electrical potential

5.2.1 Josephson effect (D. Reymann)

This year we automated the acquisition of data for the measurements of our reference standard cells with respect to the Josephson voltage standard. A digital voltmeter (DVM) is connected in parallel with the chart recorder at the output of the null detector, and a computer is used for data acquisition and computation of the results. Small deviations of the detector signal have been sometimes observed when the computer initiates the DVM readings. This effect can be eliminated by placing the DVM and the computer a few metres from the other instruments.

Several modifications were made in the methods and equipment used to measure 10 V Zener diode voltage standards. Data acquisition for these measurements is now carried out using the DVM and computer described above. A newly constructed current source has improved the stability of our 10 V transfer device. As in previous transfer devices, mercury batteries are used to stabilize the output voltage. By soldering leads directly to the battery cases we improved the stability of the 10 V output. These modifications bring the peak-to-peak noise of the transfer device to below 20 nV, but the drift rate of the output remains somewhat greater than expected.

This year we carried out three new comparisons of 1 V Josephson array voltage standards with laboratories in the Asia-Pacific region. In January 1995, our equipment was taken to the KRIS (Rep. of Korea). A novel aspect of the comparison there was that it included calibrations of standard cells with both Josephson standards. For this part of the comparison the uncertainty was significantly lower than that obtained for calibrations of

Zener-diode voltage standards. In March and April our equipment was taken to the MSL (New Zealand) and to the CSIRO-NML (Australia).

The results, expressed as the difference between the values attributed to a 1,018 V standard by the laboratories, and the combined standard type A and type B uncertainties are

$$\begin{aligned}U_{\text{KRISS}} - U_{\text{BIPM}} &= + 0,20 \text{ nV} & \sigma &= 0,21 \text{ nV}, \\U_{\text{MSL}} - U_{\text{BIPM}} &= - 0,24 \text{ nV} & \sigma &= 0,21 \text{ nV}, \\U_{\text{NML}} - U_{\text{BIPM}} &= - 0,02 \text{ nV} & \sigma &= 0,17 \text{ nV}.\end{aligned}$$

We used computer-controlled data acquisition in the comparison of Josephson voltage standards at the KRISS. Deviations of the detector signal were observed when readings of the DVM were initiated under computer control and, in direct comparison of the two arrays, the DVM and computer generated an instability of the array outputs. Both instruments were removed from the circuit for that part of the comparison. Use of automated data acquisition equipment produced larger effects at the MSL where the day-to-day scatter of the indirect comparison was as high as a few nanovolts. Finally, at the CSIRO-NML, a more careful investigation of the problem allowed us to trace the source to electromagnetic interference from the switching-mode power supply of our computer. Even with the computer switched off, the power supply charges the computer batteries. The effects of electromagnetic interference are probably a major source of uncertainty in the calibration of Zener-diode voltage standards with a Josephson array. Observations in the CSIRO-NML comparison confirm those obtained in other laboratories where arrays are used to calibrate Zener-diode voltage standards: the calibration results depend on the way the measurements are made.

5.2.2 Study of Zener-diode standards: humidity effects and noise (T. J. Witt)

The study of the variation of the 1,018 V output of Zener-diode voltage standards as a function of humidity, described in last year's report, continues. One result of this work is greater appreciation of how difficult it is to carry out accurate humidity measurements. The Electricity section purchased a dew point hygrometer that senses the change from specular to diffuse reflection of light from a mirror as it is cooled to the dew point.

Another aspect of our study of Zener-diode voltage standards is observation of the output noise. Our method of investigation is to measure or calculate the power spectral density of Zener standards under typical calibration conditions. We do this in two ways: 1) using a commercial low-frequency spectrum analyzer and 2) by calculating the fast Fourier

transforms of voltage data taken as a function of time. The results of noise measurements by the two methods are in good agreement.

5.2.3 Refitting the automatic standard cell comparator (T. J. Witt)

The automatic standard cell comparator has now been in service for more than ten years and still uses many of the original components. The original computer, a Hewlett-Packard model 85, has been obsolete for years and its data files are incompatible with other personal computers (PCs). It has been replaced by a 486-based PC and all relevant software has been rewritten. The conversion was accomplished without significant disruption of the calibration schedule. This equipment allows us to ensure that standard cell calibrations take place under excellent conditions.

5.3 Electrical impedance (F. Delahaye)

5.3.1 On-site comparisons of quantum Hall resistance standards

In 1993 the BIPM started a programme to verify the international coherence of primary resistance standards by comparing quantum Hall effect (QHE) standards of national laboratories with that of the BIPM. The method of comparison used is based on the transportation of a complete BIPM QHE resistance standard, including a room-temperature resistance-ratio bridge operating at 1 Hz and a set of resistance standards selected for their low and reproducible 1 Hz-DC resistance differences, to a host laboratory. The first comparison of this type was successfully carried out in December 1993 by taking the BIPM transportable QHE resistance standard to the BNM-LCIE (Fontenay-aux-Roses, France) [4]. The programme was continued this year by taking the standard to the OFMET (Wabern, Switzerland). From 14 to 18 November 1994, measurements of a 100 Ω resistance standard were carried out in terms of the quantized Hall resistance corresponding to the quantum number 2, $R_H(2)$, using QHE apparatus from each laboratory. In addition, measurements were carried out of 10 000 Ω :100 Ω and 100 Ω :1 Ω ratios. The OFMET and BIPM measurements of the 100 Ω standard in terms of $R_H(2)$ agree well within the total standard uncertainty of the comparison (17 parts in 10^{10}). Good agreement was also obtained for measurements of the 10 000 Ω :100 Ω and 100 Ω :1 Ω ratios for which the total uncertainties are respectively 18 parts in 10^{10} and 27 parts in 10^{10} . A report on this comparison was submitted to *Metrologia*. We plan to continue this programme in 1995/1996 with an on-site comparison at the PTB.

5.3.2 AC measurements of the quantized Hall resistance at kilohertz frequencies (with J. Boháček*)

The first AC measurements of the quantized Hall resistance (QHR) carried out at the BIPM in 1994 are encouraging: the ratio of the QHR to that of a Vishay-type AC reference resistance was found to vary by less than 2 parts in 10^7 from 1 Hz to 1600 Hz. For AC measurements, however, the Hall resistance plateaus are less well defined than at DC. In particular, the width of the central flat region of the plateaus is reduced and some frequency-dependent distortions are observed at the edges of the plateaus [2].

Further experimental AC measurements of the QHR were carried out this year. We optimized the sample mounting to reduce the problems arising from small-amplitude mechanical vibrations caused by the rather large electromagnetic force which acts on the sample and its attached current-carrying wires. The coaxial AC bridge was also modified and calibrated to allow measurement of impedance ratios of 2/1 as well as 1/1. Thus at a frequency of 1600 Hz we can compare the ratios of the quantized Hall resistances for quantum numbers $i = 2$ and $i = 4$, $R_H(2)$ and $R_H(4)$, by measuring each with respect to a 12906Ω AC reference resistor. We carried out this comparison using two different GaAs based heterostructures at a temperature of 1,3 K. One heterostructure was operated on the $i = 2$ plateau with a magnetic flux density of 10,4 T and the other on the $i = 4$ plateau with 6,8 T. At 1600 Hz both quantized resistances were found to present a small but non-negligible current dependence. For the $i = 2$ plateau the Hall resistance increases linearly with current at a rate of approximately 2 parts in 10^8 per $10 \mu\text{A}$. For the $i = 4$ plateau the rate is approximately 0,5 part in 10^8 per $10 \mu\text{A}$. The result of comparative measurements carried out at 1600 Hz with $20 \mu\text{A}$ for both plateaus and extrapolated to zero current is:

$$\frac{R_H(2) - 2R_H(4)}{R_H(2)} = 8 \times 10^{-8} \quad s = 2 \times 10^{-8}.$$

We conclude that at 1600 Hz and in the present experimental conditions, the quantization of the Hall resistance is still rather complete but there are residual imperfections of order 1 part in 10^7 . The origin of these imperfections is not understood at present, but we plan to continue our investigations.

* Guest worker

5.3.3 Installation of the automated Warshawsky bridge in Room 15

In order to make more space available for calibrations of Zener-diode standards in Room 4, the automated Warshawsky bridge for measurements of 10 k Ω resistors was moved to Room 15. There it was installed in a pre-fabricated modular room that provides adequate temperature stability.

5.4 Survey of temperature characteristics of resistors and temperature conditions in national laboratories (T. J. Witt)

The Electricity section refers measurements of naked standard cells and of most resistors to a temperature of 20 °C. For several reasons, this temperature may be too low, particularly for the most commonly used standard resistors. To provide data for the CCE in its discussion of the possibility of referring BIPM electrical calibrations and comparisons to 23 °C, we have carried out two surveys. One shows the distribution of temperature coefficients for the 1200 standard resistors studied by the BIPM over the years [7]; the other lists reference temperatures used in the national laboratories for naked standard cells and resistors, and the temperatures that the laboratories use for the maintenance, storage, and calibration of these standards [8].

The CCE discussed this matter at its meeting on 14-15 June 1995 and agreed that the BIPM could change its reference temperatures if it so decided. After further consideration of the practical consequences, the BIPM decided to keep 20 °C as the reference (and physical) temperature for naked standard cells. The reason is to avoid having to rebuild several of our temperature-regulated standard cell enclosures. However, we have decided to change the reference temperature for standard resistors from 20 °C to 23 °C and to maintain the resistors at 23 °C during calibrations. This temperature change will go into effect in 1996. The date will be announced later.

5.5 Bilateral comparisons of electrical standards at the BIPM (T. J. Witt)

The scheme for bilateral comparisons of electrical standards was introduced two years ago to provide rigorous comparisons with laboratories wishing to show the traceability of their basic electrical standards to those of the BIPM. This year several laboratories have participated in bilateral comparisons. Results and uncertainties are given in the tables below. They will also appear in tabulated form in a future issue of *Metrologia*. The last column indicates whether the laboratory decided to change the value attributed to its standards.

VOLTAGE STANDARDS

Laboratory	Date	1,018 V		10 V		change
		$(U_{LAB} - U_{BI})/\mu V$	$s/\mu V$	$(U_{LAB} - U_{BI})/\mu V$	$s/\mu V$	
INETI (Lisbon)	1994-06-14	- 0,46	0,82	- 2,9	6,2	yes
BEV (Vienna)	1995-05-07	- 0,03	0,21			no
BEV (Vienna)	1995-05-08			- 2,2	3,0	no
NML (Dublin)	1995-06-04	+ 0,15	0,66			yes
NML (Dublin)	1995-06-05			+ 2,2	2,5	yes

RESISTANCE STANDARDS

Laboratory	Date	1 Ω		10 k Ω		change
		$(R_{LAB} - R_{BI})/\mu\Omega$	$s/\mu\Omega$	$(R_{LAB} - R_{BI})/c\Omega$	$s/c\Omega$	
INETI (Lisbon)	1995-05-15	- 0,10	0,21			no
JV (Oslo)	1995-05-09			- 0,26	0,21	yes

5.6 Routine calibrations

Routine calibrations were carried out this year on the following standards: standard cells for Hungary and Poland; Zener-diode voltage standards for Austria, Belgium, the Czech Republic, Hungary, Ireland and Romania; 1 Ω resistors for the Czech Republic, Poland, Portugal and Spain; 10 k Ω resistors for the Czech Republic, Norway, Portugal, Romania and Spain.

5.7 Publications, lectures, travel: Electricity section

5.7.1 External publications

1. REYMANN D., AVRONS D., A Transfer Device for 10 V Josephson Array Measurements, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1995, **44**, 201-203.
2. LO-HIVE J.-P., REYMANN D., GENEVÈS G., Comparisons of 10 V Josephson Array Voltage Standards between the BNM-LCIE and the BIPM, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1995, **44**, 230-233.
3. DELAHAYE F., Accurate AC Measurements of the Quantized Hall Resistance from 1 Hz to 1,6 kHz, *Metrologia*, 1994/95, **31**, 367-373.

4. DELAHAYE F., WITT T. J., PIQUEMAL F., GENEVÈS G., Comparison of Quantum Hall Effect Resistance Standards of the BNM-LCIE and the BIPM, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1995, **44**, 258-261.
5. WITT T. J., REYMANN D., AVRONS D., The Stability of Some Zener-Diode-Based Voltage Standards, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1995, **44**, 226-229.
6. WITT T. J., Realizations and Comparisons of Josephson Array Voltage Standards, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1995, **44**, 208-210.

5.7.2 BIPM reports

7. WITT T. J., Statistical summary of the temperature characteristics of 1 Ω and 10 k Ω resistors measured at the BIPM, *Rapport BIPM-95/3*, May 1995, 5 p.
8. WITT T. J., Results of the questionnaire on a possible change of maintained and reference temperatures of BIPM electrical standards, *Rapport BIPM-95/4*, May 1995, 5 p.

5.7.3 Lectures and presentations

T. J. Witt gave a lecture entitled “A sampling of BIPM international comparisons” at the Measurement Standards Laboratory of the New Zealand Institute for Industrial Research and Development (Lower Hutt, New Zealand), on 29 March 1995. He gave a lecture entitled “International comparisons of electrical standards carried out by the BIPM” at the National Measurement Laboratory of the CSIRO (Lindfield, Australia), on 5 April 1995.

5.7.4 Travel (committees, visits to laboratories and institutions)

T. J. Witt visited the laboratories of the IEN (Turin, Italy) and attended meetings of the Scientific Council of the IEN on 7 October 1994 and 23 January 1995.

T. J. Witt attended the 7th meeting of EUROMET contact persons in electricity at the SP (Borås, Sweden), 26-27 October 1994.

F. Delahaye and T. J. Witt visited the OFMET (Wabern, Switzerland), 13-19 November 1994 for comparisons of QHE standards.

T. J. Witt and D. Reymann visited the KRISS (Taejon, Rep. of Korea), 12-20 January 1995, the MSL (Lower Hutt, New Zealand), 23-30 March 1995 and the CSIRO-NML (Lindfield, Australia), 31 March-7 April 1995 for comparisons of Josephson standards. On their way to New Zealand they visited the SISIR (Singapore), on 22 March 1995.

F. Delahaye attended a meeting of the IEC working group on the vocabulary of general concepts in electrotechnology, at Warsaw (Poland), 13-17 March 1995.

F. Delahaye and D. Reymann attended the EUROMET experts meeting on the quantum Hall effect and the Josephson effect at the BNM-LCIE (Fontenay-aux-Roses, France), 18-20 April 1995.

5.8 Activities related to external organizations

T. J. Witt is a member of the Executive Committee of the CPEM. He is also member of the Scientific Council of the IEN. Elsewhere, he served as a technical assessor for calibration laboratory accreditation.

F. Delahaye is a member of the IEC working group on general concepts in electrotechnology.

5.9 Visitors to the Electricity section

5.9.1 Guest worker

Professor J. Boháček of the Czech Technical University (Prague) was a guest worker in the Electricity section, 24 April-23 June 1995, where he worked with F. Delahaye on AC impedance measurements and the quantum Hall effect.

5.9.2 Research fellow

Dr J. Melcher of the Electricity Division of the PTB (Braunschweig) joined the Electricity Section on 1 September 1995 to work on the project to derive a standard of capacitance from the QHR.

5.9.3 Visitors

Dr Y. Sakamoto (ETL, Tsukuba, Japan), Dr A. D. Inglis (NRC, Ottawa, Canada), Mr D. Andreone (IEN, Turin, Italy), 21 April 1995.

Mr P. Chrobok (CMI, Prague, Czech Rep.), 26 April 1995.

Dr Chang Hsu, Ms Hui-Chung Ma and Dr Boh-Sheng Harn (CMS-ITRI, Hsinchu, Taiwan), 6 June 1995.

Dr Ing. A. Szymczak (Central Office of Measures, Warsaw, Poland), 8 June 1995.

Dr B. M. Wood (NRC, Ottawa, Canada), 12 June 1995.

Prof. R. M. Liu, Mr T. Jin (NIM, Beijing, People's Rep. of China) and Ms G. Zhao (Beijing Institute of Radio Metrology and Measurement, Beijing, People's Rep. of China), 22 June 1995.

Mr Tore Sørdsal (NMS, Oslo, Norway), 26 June 1995.

Mr A. Jakab (National Office of Measures, Budapest, Hungary), 26 and 29 June 1995.

Dr A. Sebelá, Mr P. Chrobok and Mr J. Zikan (CMI, Prague, Czech Rep.), 27 June 1995.

Mr L. Énard (BNM-LCIE, Fontenay-aux-Roses, France), 29 June 1995.

Dr N.M. Frota (INMETRO, Rio de Janeiro, Brazil), 7 July 1995.

Mr N. Sequeira (INETI, Lisbon, Portugal), 25 July 1995.

6. Radiometry, photometry, thermometry and pressure (R. Köhler)

6.1 Radiometry (R. Köhler, R. Goebel)

At its meeting in September 1994, the CCPR asked the BIPM to organize two international comparisons, one on the responsivity of cryogenic radiometers, the other on the luminous responsivity of photometers. The BIPM will also participate in a CCPR comparison of luminous flux and luminous intensity, using tungsten lamps, to be organized by the PTB (Braunschweig).

In preparation for the comparison of cryogenic radiometers, three pilot comparisons have been carried out. Two of these were direct comparisons between cryogenic radiometers at the BIPM and the third was indirect, made through the transport of trap detectors.

The first of the direct comparisons was between the BIPM Radiox cryogenic radiometer (Oxford Instruments, UK) and the BNM-INM (Paris, France) CRI LaseRad cryogenic radiometer (Cambridge Research & Instrumentation Inc., Cambridge, USA). Preliminary results from this comparison were given in the report for 1994 and were confirmed by the recent measurements. At wavelengths of 647 nm and 476 nm and at a constant power level of about 400 μW , the relative difference in the observed power, expressed as the function $r(1,2) = 2(p_1 - p_2)/(p_1 + p_2)$ is given by:

$$r(\text{Radiox, LaseRad}) = 1,9 \times 10^{-4}, \text{ where } \sigma(r) = 1,1 \times 10^{-4}.$$

The second direct comparison, also at the BIPM, was between the Radiox and an Oxford Instruments mechanically cooled cryogenic radiometer (MCR) from the NPL. The two radiometers are of similar optical design: they differ mainly in that the Radiox is cooled by liquid helium and the MCR by a closed-cycle compressor system. At a wavelength of 647 nm the fractional difference in observed power was

$$r(\text{Radiox, MCR}) = 1,5 \times 10^{-5}, \text{ where } \sigma(r) = 8 \times 10^{-5},$$

the same values being found for optical powers of 400 μW and 650 μW .

These results demonstrate not only the excellent reproducibility of these highly accurate instruments, but also the feasibility of direct comparisons. It should be noted that the largest component in the uncertainty, of 8 parts in 10^5 , was that due to an unknown source of electrical noise in the MCR. The noise level of the Radiox was about 2 parts in 10^5 .

The indirect comparison was made with the Radiox cryogenic radiometer at the CSIRO (Sydney, Australia) by means of two transfer trap-detectors sent from the BIPM and calibrated against the BIPM Radiox. The stability of these detectors will be checked on their return to the BIPM. In spite of a larger uncertainty in the comparison, due to the use of transfer detectors, the feasibility of accurate indirect comparisons has already been demonstrated.

At a wavelength of 647 nm and an optical power of 480 μW , measured calibration of the transfer detector used under similar conditions differs by

$$r (\text{Radiox BIPM, Radiox CSIRO}) = 9,5 \times 10^{-5}, \sigma (r) = 2 \times 10^{-4},$$

and at a wavelength of 476,2 nm and an optical power of 500 μW , measured calibration of the transfer detector used under similar conditions differs by

$$r (\text{Radiox BIPM, Radiox CSIRO}) = 6 \times 10^{-5}, \sigma (r) = 2 \times 10^{-4}.$$

The use of trap-detectors as transfer detectors for such comparisons depends on accurate knowledge of their characteristics. Their sensitivity to beam polarization, local sensitivity and stability under vacuum is now being studied. For the last of these, a special vacuum chamber has been constructed. Nevertheless, it is unlikely that the stability of these detectors will reach that of the cryogenic radiometer.

During the year, some modifications were made by Oxford Instruments to the internal wiring of the Radiox. These have improved the temperature stability and have increased the helium hold-time from two days to five days. A more precise mechanical system for the adjustment of the window orientation has been designed and installed by the BIPM.

Following the refurbishment of one of the rooms previously used for thermometry, it has been possible to separate the radiometric facilities which use a monochromator and lamps, from the cryogenic radiometer. A whole room is now dedicated to cryogenic radiometry, allowing improvements in the experimental arrangement and leaving more space for radiometers coming from other laboratories.

In photometry, preparations for the international comparison of luminous responsivity using photometers were undertaken by a working group of the CCPR with the BIPM as the convener (selection of the devices to be used, experimental conditions etc.). Groups of lamps from Osram and Polaron were purchased and each lamp was aged for 100 hours and calibrated against BIPM standards. Together, these lamps will constitute a new group of working standards. A new data acquisition system has been installed, and the standard resistors used for current measurements re-calibrated.

The 1,5 m diameter integrating sphere, last repainted in 1983, has been dismantled, cleaned and its white photometric paint renewed.

6.2 Thermometry and pressure (R. Köhler, R. Pello)

The international comparison of triple point of water cells, begun in 1994, is well under way. The two groups of national laboratories have completed their measurements. The travelling cells have been returned to the BIPM for the last series of checks and measurements.

More national laboratories are now involved in this comparison: INMETRO (Brazil), IPQ (Portugal), NMI (Netherlands), SISIR (Singapore) have sent triple point of water cells for comparison with the travelling cells at the BIPM.

Two triple point of water cells were bought from the IRL (New Zealand) and also measured. A new data acquisition and calculation system for the calibration of triple point cells has been installed.

A facility for the test and the comparison of vacuum gauges has been designed and commissioned.

6.3 Calibration work

Six photometric standard lamps of luminous intensity and two of luminous flux have been calibrated for the CSM (Bulgaria).

Five standard lamps of luminous intensity and four standard lamps of colour temperature have been calibrated for the EZU (Czech Rep.).

Calibrations of pressure gauges have been made for the Electricity, Mass and Ionizing radiation sections throughout the year.

6.4 General work (R. Köhler, R. Goebel, A. Zarka)

An internal network for computers was installed at the BIPM and connected to the Internet. World-wide information exchange is now possible via e-mail and other Internet facilities.

With the assistance of the BIPM administration, the Radiometry section organized a group-order of large-area high quality photodiodes from the Hamamatsu Company (Japan) and took charge of their delivery to eighteen national laboratories.

6.5 Publications, lectures, travel: Radiometry, photometry, thermometry and pressure section

6.5.1 External publications

1. QUINN T. J., Les origines de la thermométrie et l'évolution des échelles de température, *Bul. BNM*, 1995, No. 99, 9-17.
2. KRUMREY M., TEGELER E., GOEBEL R., KÖHLER R., Self-calibration of the same silicon photodiode in the visible and soft x-ray ranges, *Rev. Sci. Instrum.*, 1995, **66**, 4736-4737.

6.5.2 Lectures and presentations

R. Köhler gave a presentation on radiometry and photometry at the BIPM during a visit from the Kodak Metrology Council.

R. Köhler gave a presentation at the CSIRO, Division of Applied Physics on “Radiometry and photometry at the BIPM”.

R. Köhler presented a poster with D.J. Butler and J. Gardner on “Optical power measurements with a cryogenic radiometer” at the conference of the Australian Optical Society, University of Queensland, 5-7 July 1995.

6.5.3 Travel (committees, visits to laboratories and institutions)

R. Köhler visited:

— Berlin (Germany), 1-3 December 1994, to attend the symposium “70 years of photometry in the CIE”;

— Madrid (Spain), 16-17 January 1995, to assist as an observer at a EUROMET meeting on radiometry;

— the ETL (Tsukuba, Japan), 19-20 February 1995, for discussions and a visit to the laboratories;

— the Hamamatsu Co. (Hamamatsu City, Japan), 21 February 1995, for discussions on the group-order for high quality photodiodes and to visit the manufacturing plant;

— the CSIRO-NML (Sydney, Australia) as a guest worker, from 1 March 1995 to 30 June 1995, to work on cryogenic radiometry, trap detectors and calculations on diffraction at apertures;

— the IRL (Lower Hutt, New Zealand), 29-30 May 1995, for discussions and a visit to the laboratories.

R. Goebel and R. Pello visited:

— Oxford Instruments (Oxford, United Kingdom), 13-14 December 1994, for discussions and to deliver the BIPM cryogenic radiometer for modification, and on 1 March 1995, to collect it;

— the NPL (Teddington, United Kingdom), 1 March 1995, for discussions with the Radiometry section in preparation for the comparison of cryogenic radiometers, to obtain information from the Photometry section on Polaron standard lamps and to discuss vacuum gauge comparators with the Pressure section.

R. Pello was invited by the IPQ (Portugal), 1-4 July 1995, to give assistance in the installation of a pyrometer and to have discussions on the results of the EUROMET international comparison of triple point of water cells. He also transported two cells and the 1 kg prototype No. 69.

R. Goebel visited the PTB (Braunschweig, Germany), 13 September 1995, to prepare for the direct comparison at the PTB of the BIPM cryogenic radiometer with that of the PTB.

6.6 Activities related to external organizations

R. Köhler is a member of the CIE technical committee 2.29 on Measurements of Detector Linearity.

6.7 Visitors to the Radiometry, photometry, thermometry and pressure section

6.7.1 Guest worker

Mr S. Yilmaz (University Paris VII, Paris, France), visited the BIPM from March 1995 to September 1995, to work on the properties of trap-detectors.

6.7.2 Visitors

A group of fifteen people from the Kodak Metrology Council, 18 November 1994.

Dr B. Rougié (BNM-INM, Paris, France), 13 March 1995.

Mr P. Haycocks (NPL, Teddington, United Kingdom), 3-13 April 1995.

Dr N. Fox (NPL, Teddington, United Kingdom), 6-7 April 1995.

Mr Jiri Zikan (CMI, Prague, Czech Rep.), 26 April 1995.

Dr Kai-Li Ko (CMS-ITRI, Hsinchu, Taiwan), 3 May 1995.

Mrs K. Petkova (NMC, Sofia, Bulgaria), 27 June 1995.

Dr M.N. Frota (INMETRO, Rio de Janeiro, Brazil), 7 July 1995.

Mr Z. Heggedus (CSIRO, Lindfield, Australia), 4 September 1995.

7. Ionizing Radiation (J. W. Müller)

Recent meetings of the three sections of the CCEMRI attest to the wide range of problems met in the field of ionizing radiation, and emphasize the continuing need to harmonize world-wide efforts to improve the traceability of the measurements. The International reference system (SIR) provides a good basis for demonstrating the equivalence of activity measurements between national laboratories; a similar solution is actively pursued in the field of high-energy dosimetry.

7.1 Dosimetry (M. Boutillon and V. D. Huynh)

7.1.1 Gamma rays and x rays (M. Boutillon, A.-M. Perroche and P. Allisy-Roberts)

i) *Variation of calibration factor with quality in the low-energy x-ray range*

An exhaustive study has been made of the response of a transfer chamber (of a type generally used in the low-energy x-ray range) as a function of the radiation quality. Its purpose was to estimate loss of accuracy in the calibration factor of a chamber on transfer from the calibration beam to the user's beam. The results show this accuracy to degrade by a factor of up to 2, depending on the radiation quality.

ii) *Long-term stability of the ^{60}Co and ^{137}Cs measurements*

Since 1989, when the first measurements were made, the absorbed dose for ^{60}Co radiation has decreased by 0,20 % more than would be expected from the half life ($T_{1/2} = 1925,5$ d). This decrease may be explained by the uncertainty of $T_{1/2}$. The air kermas for ^{60}Co and ^{137}Cs exhibit the same tendency.

iii) *^{137}Cs source (1 TBq)*

Air kerma: The determination of the air kerma (kinetic energy released by unit mass of material) for ^{137}Cs has been achieved. The total uncertainty is 0,4 %, slightly higher than for ^{60}Co . Some of the corrections relating to this standard were determined by experiment: the attenuation caused by the wall of the standard was measured, and found to be in good agreement with the value deduced from the calculated spectrum of the beam. The correction factor for the radiation scattered from the chamber wall was deduced by extrapolation from measurements made with several graphite discs. Its value, 5 %, is twice that obtained in the ^{60}Co beam for the same chamber. The radial non-uniformity of the beam has been derived from measurements carried out using a small spherical chamber. From the results, the correction for the standard is estimated to be 0,70 % (0,16 % for the ^{60}Co beam).

Ambient dose equivalent: The installation for the determination of the ambient dose equivalent H^* , in the reference plane at 3 m from the source, is complete and the non-uniformity of the beam, of diameter 60 cm, has been determined. Values of H^* will be obtained from the air kerma, K , measured with the BIPM standard in this reference plane, and from the ratio H^*/K calculated by a Monte-Carlo method for the BIPM beam, which includes 30 % scattered radiation (in terms of energy fluence). This ratio is 1,216 Sv/Gy. Without the scattered radiation of the beam, this ratio would be 1,8 % lower.

iv) *Comparisons and calibrations at the BIPM*

A comparison of air kerma standards has been made with the GUM (Poland), in the BIPM x-ray beams. In the soft-energy x-ray range (10 kV to 50 kV), a small parallel plate chamber, manufactured by the GUM, was used as a transfer instrument. Such indirect comparisons are generally not recommended at these energies but the chamber exhibits a very small variation of its response over the range of energies used (0,8 %) which justifies the procedure in this case. The results of the comparison, given by the ratio $R_{LAB} = K_{LAB}/K_{BIPM}$, where K is the value of the air kerma measured by a standard, are given in Table 7.1 and show good agreement between the GUM and the BIPM standards. No significant variation with the quality of the radiation was detected. In the medium-energy range (100 kV to 250 kV) a NE 2561 chamber was used as the transfer instrument, and the results (Table 7.1) show good agreement, compatible with the uncertainties, although a slight dependence on the radiation quality can be observed.

TABLE 7.1
Comparisons of air kerma standards

low-energy x rays		medium-energy x rays		¹³⁷ Cs
quality/kV	R_{GUM}^*	quality/kV	R_{GUM}^*	
10	0,996 3	100	0,998 6	$R_{NIST} = 0,995 1$
30	0,997 3	135	0,996 8	
50(a)**	0,997 6	180	0,995 9	
50(b)	0,996 7	250	0,994 4	$R_{OMH} = 0,995 4$

* $R_{LAB} = K_{LAB}/K_{BIPM}$

** filtration is heavier than for 50(b)

Two comparisons of standards of air kerma in the ¹³⁷Cs beam were made at the BIPM, with the NIST (USA) and the OMH (Hungary). The first was made indirectly by means of two Shonka chambers belonging to the NIST, and the second by direct comparison of the OMH and BIPM standards. The results, shown in Table 7.1, are in good agreement in terms of the uncertainties.

The BIPM analysed the results of the high-dose (15 kGy and 45 kGy) comparison in ⁶⁰Co radiation organized by the IAEA. Nine laboratories participated and IAEA alanine-α dosimeters were used as the measuring devices. The standard deviation of the results is better than 2 %.

Several ionization chambers used as secondary standards of air kerma or absorbed dose to water have been calibrated in the x-ray, ¹³⁷Cs and ⁶⁰Co beams, for Denmark (SIS), France (BNM-LPRI), Hungary (OMH), Norway (SS), South Africa (CSIR) and the IAEA. Active collaboration with the

IAEA continues. On four occasions thermoluminescent dosimeters were irradiated (2 Gy) for the IAEA in the BIPM water phantom. The results are satisfactory, well within the 1 % uncertainty quoted by the IAEA.

A study has been made of methods that could be used by the BIPM to assure equivalence of international standards for the measurement of absorbed dose to water from high-energy photon and electron beams. These methods use various forms of ionization chambers, and solid-state systems such as thermoluminescence dosimetry and alanine- α dosimetry.

7.1.2 Neutron measurements (V. D. Huynh)

i) International comparison of neutron fluence measurements

The comparison of neutron-fluence measurements at 24,5 keV, using three Bonner spheres as transfer instruments, is in progress. Six laboratories (CIAE, ETL, NIST, NPL, PTB and VNIIM) participate in this comparison. Measurements have been completed at the CIAE, the NIST and the PTB. Completion of the comparison is not expected before mid-1996. After measurement by each participant, the Bonner spheres are returned to the BIPM for a verification of stability using the BIPM check source.

ii) Neutron spectrometry

The response functions and detection efficiencies of the BIPM NE-213 liquid-scintillation detector have been calculated and measured for 2,50 MeV and 14,65 MeV neutrons. For the response functions there is now fairly good agreement, at both energies, between the calculated and measured pulse-height spectra. This has been obtained by using a value of the high voltage which is lower than that used in the previous measurements (*see* Director's Report 1993). The results also suggest that the calculated efficiencies are in good agreement with those obtained experimentally using the coincidences which exist between the neutrons from the NE-213 scintillator and the associated particles from the silicon detector. In addition, from knowledge of the measurement efficiency, the fluence measured by the NE-213 scintillator and that measured absolutely by the associated-particle method can be compared. The results show agreement between the fluences determined by the two detectors to within the uncertainties of the measurements.

7.2 Radionuclides (J. W. Müller and G. Ratel)

7.2.1 Activity measurements (G. Ratel)

i) Trial comparison of ^{204}Tl activity measurements

A trial comparison of ^{204}Tl activity measurements was organized by the BIPM under the auspices of Section II of the CCEMRI with the

participation of six laboratories (BNM-LPRI, CIEMAT, NAC, NIST, PTB and BIPM). The radioactive solution, with a half life of 3,79 a, $\sigma = 0,02$ a, was prepared at the BIPM. It took the form of an aqueous solution of HCl 0,1 M, containing 30 $\mu\text{g/g}$ of TlCl as carrier, with an approximate activity concentration of 70 kBq/g. An ampoule filled with about 3,6 g of solution was sent to each participating laboratory at the end of August 1994. Purity tests, carried out by the BNM-LPRI, the CIEMAT, the NAC and the PTB, indicate that the solution was free of any impurity.

The measurements extended over a period of six months and were completed in March 1995, so that a report could be written in time for discussion at the CCEMRI Section II meeting in May 1995.

Several measurement methods were applied, most based on the liquid-scintillation (LS) technique. Five laboratories used the CIEMAT/NIST method and the calculation codes developed at the CIEMAT. To evaluate the quenching level, four different external radionuclides were used, namely ^3H , ^{133}Ba , ^{137}Cs and ^{226}Ra . Two laboratories determined the activity concentration by means of the triple-to-double coincidence ratio method (TDCR). This method has the important advantage, when compared with the CIEMAT/NIST method, that it does not require an external standard for the determination of the figure of merit characterizing the measuring device. At the BNM-LPRI the β activity was also measured with a $4\pi\beta$ proportional counter operating under normal pressure. Finally, the NAC used the $4\pi\text{LS}(x,e)\text{-}x_K$ coincidence method to measure the activity concentration of the solution. This is an extrapolation method in which the counting efficiency is changed by varying the detection threshold in the x-ray channel. The first three of these methods require a correction for electron-capture of about 2,8 % whereas the last method gives a result directly.

The final results of the trial comparison are shown in Fig. 7.1. If one result, which lies 2,5 % below the unweighted mean of all the others, is disregarded, the different methods give very similar results. The overall range of the data is 1,91 Bq/mg (3,4 %). A report on this comparison, in which the data are analyzed in different ways, is available and may be consulted for further details. The unweighted and weighted means, as well as the median value, are in good agreement, as is shown in Fig. 7.2.

The presence of a possible outlier suggests that a problem remains in the preparation of the ampoules. Further tests are being carried out to find the most suitable chemical composition for the solution which will be used in the full-scale comparison planned for the second half of 1996.

ii) *EUROMET comparison of ^{63}Ni*

The results of the EUROMET comparison of ^{63}Ni were presented orally at the ICRM meeting in May 1995. The BIPM result is 2 % lower than the others. The fact that several laboratories found the solution to be unstable

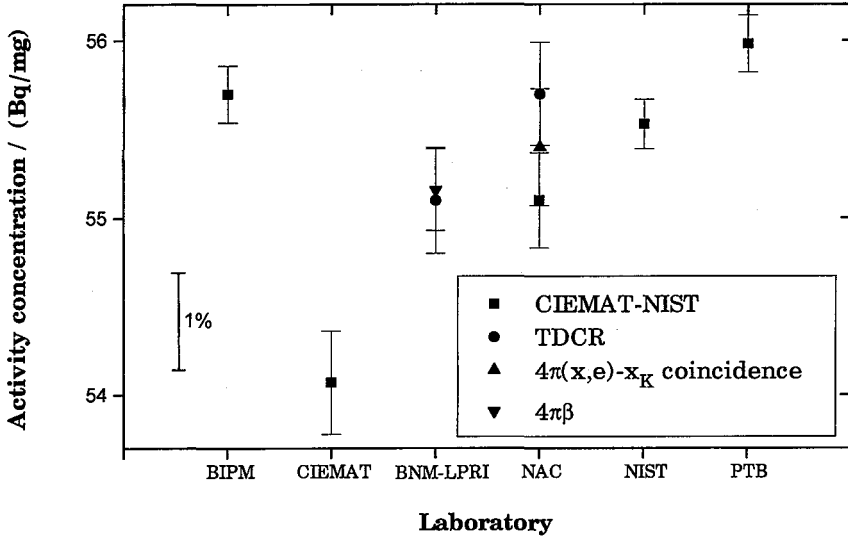


Fig. 7.1. — Results of the ^{204}Tl comparison.

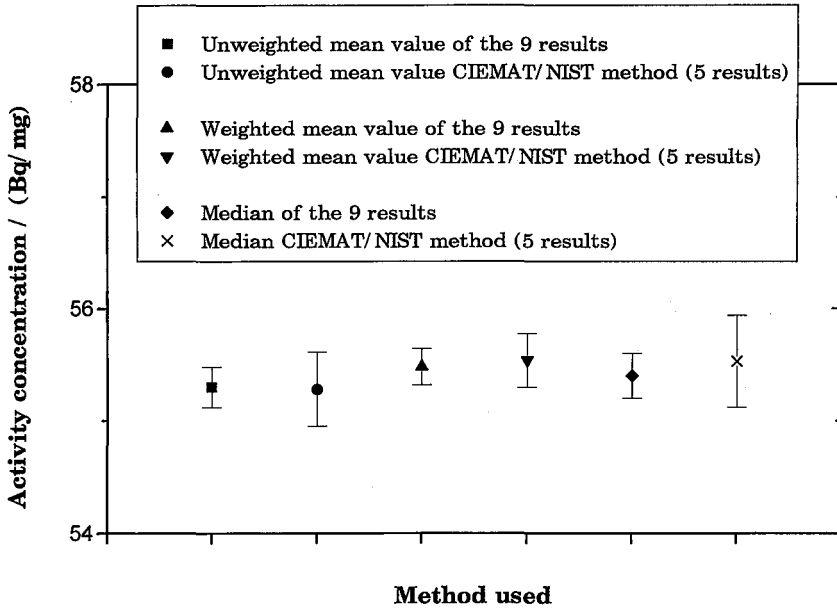


Fig. 7.2. — Results of the ^{204}Tl comparison; schematic representation of the mean values.

indicates the need to undertake a further comparison with another solution and other scintillators. This will take place early in 1996.

iii) *Trial comparison of ^{192}Ir*

At the meeting of Section II in May 1995, it was agreed that a larger number of participants should take part in a trial comparison of activity measurements of ^{192}Ir during the fall of 1995. This decision, to hold an early trial comparison, was made in view of the numerous applications of this radionuclide, particularly in medicine, which have been mentioned by several laboratories.

iv) *International reference system for measuring the activity of gamma-ray emitting radionuclides (SIR)*

The trend towards a clear increase in the number of ampoules sent to the BIPM, already noted last year, has been confirmed. We received 31 ampoules filled with 19 different radionuclides, namely ^{22}Na , ^{46}Sc , ^{51}Cr , ^{58}Co , ^{59}Fe , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{67}Ga , ^{85}Sr , ^{99}Mo , ^{109}Cd , ^{131}I , ^{133}Ba , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{139}Ce , ^{141}Ce , ^{192}Ir , ^{201}Tl . This brings 27 new results from 9 laboratories (AECL, ANSTO, BARC, BNM-LPRI, ETL, IRA, KRIS, OMH and PTB). A total of 645 ampoules has been measured since 1976, and 474 independent results from 25 laboratories for 54 different gamma-ray emitters were entered in the registration tables of the SIR. The results show equivalence between the laboratories, with uncertainties from 0,04 % (^{60}Co) to 3 % (^{153}Gd) for this range of radionuclides.

As the BIPM has now successfully carried out a number of measurements using its liquid-scintillation facilities, a comparison of activity measurements of solutions of ^{90}Sr of similar chemical composition has begun. A questionnaire inviting the laboratories to participate and enquiring about the chemical properties of the solutions has been circulated. Once the BIPM has prepared the appropriate scintillators, the radionuclides sent to the BIPM will be measured by means of the liquid-scintillation technique.

7.2.2 Counting statistics: robust analysis of comparisons
(J. W. Müller)

The result of a comparison is usually presented in the form of a mean value, its uncertainty being evaluated according to well-established rules.

It sometimes happens that such an analysis is disturbed by the presence of one or several outliers, i.e. measurement results which deviate further from the others than one would expect, considering that all are assumed to come from the same original population. Their presence poses a serious problem to the evaluator who must choose between three possibilities: leave them as they are, correct them or delete them.

Unfortunately, all three procedures have unwanted features. A correction would clearly be welcome, but it is rarely possible to do this retrospectively in an objective way. If outliers are retained, they falsify both the mean value and its uncertainty, sometimes to the point of making

them unacceptable. Deletion clearly requires a convincing justification and may cause trouble for all concerned.

In this uncomfortable situation, an unexpected rescue is provided by the expanding field of “robust statistics” which studies methods that lead to parameters which are largely insensitive to the presence of outliers. The simplest proposal is to replace the mean value by the sample median (or central value). For a set of n ordered values $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n$, the median, denoted by $\tilde{m} = \text{med} \{x_i\}$, is given by

$$\tilde{m} = \begin{cases} x_{k+1}, & \text{for } n = 2k + 1, \\ (x_k + x_{k+1})/2, & \text{for } n = 2k. \end{cases}$$

It is essential that we also attribute to this location parameter a measure of its precision. This “uncertainty”, for reasons of consistency, can no longer be formulated in terms of squared deviations, but should be linear and based on medians. One possibility is to form the median of the absolute deviations, traditionally abbreviated by MAD, i.e.

$$\text{MAD} = \text{med} \{|x_i - \tilde{m}|\}, \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, n.$$

The uncertainty of \tilde{m} is then taken as

$$s(\tilde{m}) = C \cdot \text{MAD},$$

where the proportionality factor C is to be determined. This can be done by requiring that, in the limit of large samples taken from a normal population, it is equal to the traditional uncertainty. As shown in *Rapport BIPM-95/2*, this leads to the relation

$$s(\tilde{m}) \cong \frac{1,86}{\sqrt{n-1}} \text{MAD}.$$

The median has been evaluated for a number of comparisons and found to give a very satisfactory solution. In the absence of outliers, the uncertainty is usually somewhat larger, but this is the price to be paid for the improved robustness. In future international comparisons, the BIPM will use the median as a robust alternative, in parallel with a traditional evaluation.

Obviously, a similar approach should be used in virtually all evaluations of data. However, the situation may be more complicated when the results are assembled over a period of time, as they can no longer be regarded as independent of one another.

7.3 Publications, lectures, travel: Ionizing radiation section

7.3.1 External publications

1. ALLISY A., MÜLLER J. W., Assessment of uncertainties in measurements, *ICRU News*, 1994, 2, 4-5.

2. BOUTILLON M., PERROCHE A.-M., Long-term stability of measurements in the ^{60}Co field at the BIPM, *Metrologia*, 1995, **32**, 43-50.
3. BOUTILLON M., PERROCHE A.-M., A brief look at absorbed dose measurements in the ^{60}Co field, *Nucl. Instrum. Meth.*, 1995, **A361**, 338-341.
4. MÜLLER J. W., ICRU Report 52: Particle counting in radioactivity measurements, *ICRU News*, 1995, **1**, 31-32.
5. RATEL G., Activity concentration of a solution of ^{125}I : Results of an international comparison, *Nucl. Instrum. Meth.*, 1995, **A366**, 183-191.
6. RATEL G., Ionising Radiations at the BIPM, In *EUROMET Workshop on Ionising Radiation and Radioactivity*, Teddington, October 1994, 4 p.
7. ROBERTS P. J., National patient dose measurement protocols: an investigation on behalf of ICRU, *Rad. Prot. Dos.*, 1995, **57**, 355-358.
8. ROBERTS P. J., Implications of revisions in CEC directives on the classification of workers and designation of areas, *Rad. Prot. in Interventional Radiol.* (BIR, London), 1995, 11-14.
9. CHAUVENET B., DAURES J., DELAUNAY F., LEROY E., OSTROWSKY A., PERROCHE A.-M., BOUTILLON M., Comparaison des étalons de kerma dans l'air et de dose absorbée du LPRI et du BIPM pour les photons gamma du ^{60}Co , *Bul. BNM*, 1995, No. 101, 43-45.
10. BOUTILLON M., BIPM analysis, In *IAEA Report on a Consultants' meeting on "IAEA High-Dose Intercomparison 1994"*, Report IAEA 95-CT-2253 (Mehta K. ed.).

7.3.2 BIPM reports

11. MÜLLER J. W., The relation between the numbers M_r and B_j , *BIPM Working Party Note 238*, January 1995, 3 p.
12. PERROCHE A.-M., BOUTILLON M., CSETE I., Comparison of the standards of air kerma of the OMH and the BIPM for ^{137}Cs , *Rapport BIPM-94/13*, December 1994, 8 p.
13. MÜLLER J. W., Sums of alternate powers - an empirical approach, *Rapport BIPM-94/14*, December 1994, 10 p.
14. MÜLLER J. W., Sums of factorials, *Rapport BIPM-95/1*, February 1995, 12 p.
15. MÜLLER J. W., Possible advantages of a robust evaluation of comparisons, *Rapport BIPM-95/2*, April 1995, 7 p.
16. PERROCHE A.-M., BOUTILLON M., Comparisons and calibrations at the BIPM (1993-1995), 1995, *CCEMRI(I)/95-2*, 6 p.
17. PERROCHE A.-M., BOUTILLON M., Determination of air kerma for ^{137}Cs gamma rays, 1995, *CCEMRI(I)/95-3*, 5 p.
18. ALLISY-ROBERTS P. J., Preliminary investigation of high-energy dosimetry transfer systems, 1995, *CCEMRI(I)/95-16*, 9 p.

19. MÜLLER J. W., On the divisibility of powers of integers, *Rapport BIPM-95/6*, July 1995, 5 p.
20. MÜLLER J. W., Some remarks on twin primes, *Rapport BIPM-95/9*, September 1995, 10 p.
21. ALLISY-ROBERTS P. J., BOUTILLON M., WITZANI J., Comparisons of the standards of air kerma of the BEV and the BIPM for ^{137}Cs and ^{60}Co γ rays, *Rapport BIPM-95/5*, August 1995, 9 p.

7.3.3 Travel (committees, visits to laboratories and institutions)

J. W. Müller visited:

— Vienna (Austria), 6 to 10 March 1995, to attend a meeting of the SSDL Scientific Committee at the IAEA, and 5 and 6 April 1995, to attend a consultants' meeting on a comparison amongst calibration laboratories in high-dose dosimetry, where he gave a seminar on "Robust analysis of intercomparisons";

— Bethesda MD (USA), 10 to 14 April 1995, for a meeting of the ICRU Committee on Quantities and Units;

— Paris (France), 15 to 20 May 1995, to attend the International Symposium on Radionuclide Metrology (ICRM' 95);

— Prague (Czech Rep.), 5 and 6 June 1995, to attend the "Conference on the occasion of the 120th anniversary of the Metre Convention", where he gave a lecture on the BIPM and its activities;

— Paris (France), 12 June 1995, Bureau International de Métrologie Légale, for the joint meeting of TC 3/TC 4 and TC 3/SC 2 on the "Expression of uncertainty in measurements related to legal metrology";

— Lennep (Germany), 8 to 15 September 1995, for the annual meeting of the ICRU Main Commission as the BIPM representative.

M. Boutillon visited:

— London (United Kingdom), 14 February 1995, to attend a scientific meeting on electron dosimetry;

— Vienna (Austria), 5 to 7 April 1995, to attend the meeting on the "IAEA High-Dose Intercomparison at the IAEA", where she presented the analysis of the comparison;

— Lennep (Germany), 8 to 15 September 1995, for the annual meeting of the ICRU Main Commission.

A.-M. Perroche visited Vienna (Austria), 19 to 21 October 1994, to attend a meeting of experts on quality assurance in radiotherapy dosimetry at the IAEA, where she also presented a paper entitled "Long-term stability of measurements in the ^{60}Co field at the BIPM".

P. J. Allisy-Roberts visited:

— London (United Kingdom), 8 November 1994, 9 January, 27 February, 15 May, 6 July 1995, to attend the Council of the UK Society for Radiological Protection;

— Teddington (United Kingdom), 24 November 1994, 1 May, 3 July 1995, to attend meetings of the British Committee on Radiation Units and Measurements;

— Brussels (Belgium), 12 and 13 December 1994, 16 and 17 February 1995, for meetings of the Article 31 Group of the European Commission;

— London (United Kingdom), 15 February 1995, to attend a scientific meeting on electron dosimetry;

— London (United Kingdom), 3 March 1995, to attend the Health and Safety Commission (UK) Ionising Radiation Advisory Committee;

— Seibersdorf (Austria), 6 March 1995, to visit the IAEA dosimetry laboratories, and see the alanine- α dosimetry service;

— Vienna (Austria), 4 and 5 May 1995, to attend the ICRP Committee 3 Report Group;

— Berlin (Germany), 8 May 1995, to lecture at a CEC Summer School on “Radiation dosimetry quantities and units” and “The role of international organizations in radiation metrology”;

— Luxembourg, 31 May 1995, to attend a meeting of experts of the Article 31 Group of the European Communities.

G. Ratel visited:

— Teddington (United Kingdom), 10 to 12 October 1994, for the EUROMET Workshop on Ionizing Radiations and Radioactivity and the Contact Persons Meeting, held at the NPL, where he gave a talk entitled “Ionizing radiations at the BIPM”, and visited the radioactivity laboratories of the NPL;

— Paris (France), 15 to 20 May 1995, to attend the International Symposium on Radionuclide Metrology (ICRM’ 95).

7.4 Activities related to external organizations

J. W. Müller is a member of the Editorial Board of *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*. He is the BIPM representative at the ICRU 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 BNM-INM (Paris, France), and a member of the ISO working group of TAG 4 on the expression of uncertainties.

P. J. Allisy-Roberts is a member of the European Commission’s Article 31 Group of experts and the British Committee on Radiation Units and Measurements. She is a referee for the NPL radiation metrology annual

review for the UK Department of Trade and Industry, and is a scientific member of the UK Health and Safety Commission's ionising radiations advisory committee. In 1993, she was appointed to Committee 3 of the International Commission for Radiological Protection and in 1994, to the council of the UK Society for Radiological Protection.

7.5 Visitors to the Ionizing radiation section

7.5.1 Guest workers

Mme A.-M. Perroche (OPRI, Le Vésinet, France) continued her participation in the work of the Ionizing radiation section (Dosimetry) until 1 May 1995.

Mr Czap (IAEA), from 3 to 5 October 1994, for the calibration of transfer chambers in x and γ rays, and the calibration of an electrometer and a barometer.

Mr Csete (OMH, Budapest, Hungary), from 24 to 28 October 1994, for a comparison of air kerma standards in the ^{137}Cs and ^{60}Co beams.

Mr O. Mikkelborg (Statens Strålevern, Østerås, Norway), from 20 to 23 March 1995, for the calibration of three ionization chambers (x rays, ^{60}Co and ^{137}Cs).

Dr K. Ennow (Statens Institut for Stralehygiejne, Brønshøj, Denmark), from 27 to 30 March 1995, for the calibration of four ionization chambers (x rays and ^{60}Co).

Dr Z. Referowski (GUM, Warsaw, Poland) visited the BIPM on 27 April 1995, for a discussion on the comparison of standards of air kerma in the x-ray range.

A group of four visitors (BNM-LPRI, Saclay, France), on 29 May 1995, for the calibration of a 0,5 l chamber, used for iridium measurements.

Dr J. Witzani (BEV, Vienna, Austria), from 6 to 9 June 1995, for the comparison of air kerma standards in the ^{137}Cs and ^{60}Co beams.

7.5.2 Visitors

Mr D. F. G. Reher (IRMM, Geel, Belgium), 16 December 1994.

Dr N. Coursol and Mr P. Berthe (BNM-LPRI, Saclay, France), 19 December 1994.

Dr A. Grau Malonda (CIEMAT, Madrid, Spain), 31 January 1995.

Dr K. Ennow (NIRH, Brønshøj, Denmark), 27 February 1995.

Mrs S. Seralta and Mr Ch. Dulieu (BNM-LPRI, Saclay, France), 9 March 1995.

Mr G.-M. Sordi (São Paulo, Brazil), 6 June 1995.

Prof. G. Moscati (University of São Paulo, São Paulo, Brazil), 22 April to 20 May 1995.

Dr M. M. de Araújo (LNMRI, Rio de Janeiro, Brazil), 14 and 15 June 1995.

Dr M. Nogueira Frota (INMETRO, Rio de Janeiro, Brazil), 7 July 1995.

Miss E. Leblanc and Mr P. Blanchis (BNM-LPRI, Saclay, France), 11 July 1995.

IV. — PUBLICATIONS OF THE BIPM

1. General publications

Since October 1994 the following have been published:

Procès-Verbaux des Séances du Comité International des Poids et Mesures, Tome 62, 83rd meeting, 1994, 222 p.

Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie, 13th meeting, 1994, 67 p.

Comité Consultatif de Thermométrie, 18th meeting, 1993, 80 p.

Comité Consultatif pour la Définition du Mètre, 8th meeting, 1992, 215 p.

Comité Consultatif pour la Quantité de Matière, 1st meeting, 1995, 38 p.

Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants, 13th meeting, 1994, 141 p.

Annual Report of the BIPM Time Section (1994), 1995, 7, 127 p.

Circular T (monthly), 4 p.

Le BIPM et la Convention du Mètre, 1995, 63 p.

2. Metrologia (D. A. Blackburn)

Volume 31 of *Metrologia* was published in 1994 and early 1995. For this volume the four research issues were supplemented by two special issues. One supplement details the proceedings of the International Workshop on the Avogadro Constant and the Representation of the Silicon Mole, held in Turin (Italy) in March 1994. The other is a special issue on Physical Units, a topic of particular interest for a journal whose field is measurement, which takes the form of a series of essays dealing with the definitions and description of units, their historical development and their application in scientific, legal, business, regional and international affairs.

In Volume 31, 59 articles were published, 39 regular research papers, 14 conference papers and 6 international reports. In the year 1 January 1994 to 31 December 1994, 64 research papers were submitted for

publication. Of these, 37 were published, 1 awaits publication, 18 were refused publication, 5 were withdrawn, and 3 remain under consideration. From 1 January to 31 May 1995, 36 research papers and 8 international reports were submitted. At 31 May 1995, 9 of the research papers had been published, 2 had been accepted for publication, 3 had been refused and 22 remain under consideration.

V. — MEETINGS AND LECTURES AT THE BIPM

1. Meetings

The CCU met on 21 and 22 February 1995.

The CCDS working group on TAI met on 13 and 14 March 1995.

The CCQM met on 19 and 20 April 1995.

Section I of the CCEMRI met from 24 to 26 April 1995.

Section III of the CCEMRI met on 27 and 28 April 1995.

Section II of the CCEMRI met from 9 to 11 May 1995.

The CCE met on 14 and 15 June 1995.

2. Lectures

The following lectures were given at the BIPM as part of the regular schedule of seminars:

S. R. Domen (NIST, Gaithersburg, USA): Progress in water calorimetry, 18 October 1994.

M. Boutillon: Un coup d'oeil sur la détermination de la dose absorbée dans l'eau, 30 November 1994.

G. Bonnier (BNM-INM, Paris, France): Un nouvel outil en métrologie: le caloduc, 15 December 1994.

A. Labeyrie (Collège de France, Paris, France): Interférométrie stellaire, 19 January 1995.

J. W. Müller: Les valeurs moyennes - sont-elles fiables?, 17 February 1995.

O. Tengblad (CERN, Geneva, Switzerland): The ISOLDE facility at CERN, 17 March 1995.

L. Vitushkin: Measurements of gravity gradients, 18 April 1995.

VI. — CERTIFICATES AND NOTES OF STUDY

In the period from 1 October 1994 to 30 September 1995, 54 Certificates and 3 Notes of Study were delivered.

For a list of Certificates and Notes, *see* page 94.

VII. — ACCOUNTS

Details of the accounts for 1994 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 1994 and the balance of accounts at 31 December 1994. This is done under the headings:

DÉTAIL DES DÉPENSES BUDGÉTAIRES

STATEMENT OF BUDGETARY EXPENDITURE

Bilan au 31 décembre 1994

Balance at 31 December 1994

It should be noted that in all tables the unit of currency is the gold franc (franc-or) which is defined by the equivalence 1 franc-or = 1,814 52 French francs.

OBITUARY

Luigi CROVINI

1937 - 1995

Luigi Crovini was born in Turin on 1 September 1937 and died there suddenly on 21 October 1995. At the time of his death, he was Director of the Istituto di Metrologia G. Colonnetti (IMGC), Director of the Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) and Deputy Secretary of the Comité International des Poids et Mesures (CIPM). Until 1989 he was also Associate Professor at the Politecnico of Turin. These different positions reflect the various strands of his professional life which began with his graduation "Laurea" in Electronic Engineering from the Politecnico of Turin in 1961, continued with his appointment to the Istituto Termometrico Italiano of the CNR and led to his subsequent career in international metrology.

After graduating in 1961, he became a part-time Assistant Professor in Physics until 1972. He was awarded a doctorate in thermal measurements in 1969. From 1972 to 1989 he was part time at the Politecnico of Turin, teaching a course in thermal measurements and control, and assumed in 1986 the position of Associate Professor. During these years his close association with academic physics and engineering provided invaluable support for his principal activities in metrology which were carried out in an institute of the CNR, the Istituto Termometrico later to become the Istituto di Metrologia G. Colonnetti. To maintain such links with academe has become increasingly difficult for the directors of national metrology institutes. But for those who do the benefits are clear for all to see. In this respect Luigi is well remembered for his work as co-director, principal organizer and lecturer at the CX Course of the Enrico Fermi International School of Physics "Metrology at the Frontiers of Physics and Technology" that took place at the Villa Marigola in Lerici in 1989.

The Istituto Termometrico Italiano (created in 1957), which Luigi joined in 1962, merged in 1968 with another institute of the CNR, the Istituto Dinamometrico Italiano (created in 1956), to form the Istituto di Metrologia "Gustavo Colonnetti", the IMGC. Luigi became Head of the Temperature

Department of the IMGC in 1970, was appointed a Director of Research of the CNR in 1975 and succeeded Professor Anthos Bray as Director of the IMGC in 1990. His interests were wide and among the more than one hundred publications in refereed journals that appeared under his name we find articles not only on temperature measurement and temperature scales, but also on the thermal properties of materials, noise measurement, humidity measurement and various aspects of the theory of measurement. He is perhaps best known for the measurements in noise thermometry for the determination of thermodynamic temperature which he made in collaboration with his colleague Antonio Actis extending over many years. More recently he devoted considerable time and effort to the establishment of humidity standards, a subject of great industrial importance but one which did not receive the attention it deserved in many national metrology institutes: his work in this field is, therefore, of special value.

Luigi Crovini was intimately concerned with the important changes that took place in European metrology in the 1980s with the rapid expansion of the metrological activities carried out by the European Commission in its Community Bureau of Reference (BCR) programme and the foundation and development of EUROMET. At the time of his death he was the Italian member of the Advisory Committee of the EC Measurement and Testing Programme (the successor to the BCR) and the Italian delegate to the EUROMET Committee. In both of these he had a position of great influence for his views were widely respected.

Luigi Crovini was elected member of the Comité International des Poids et Mesures in 1992. His association with the Bureau International des Poids et Mesures, however, long predates this. Since 1971 he had been the delegate of the IMGC to the Comité Consultatif de Thermométrie (CCT) and took part in all its meetings from the ninth in 1971 to the eighteenth in 1993 at which he was President for the first time. In the late 1980s he played a key role in the development of the International Temperature Scale of 1990 (ITS-90) as Chairman of the CCT working group 3 "Resolution of the definition of the platinum resistance thermometer range of the ITS-90". Since the platinum resistance thermometer covers a very wide range in the ITS-90, from the triple point of equilibrium hydrogen (13,8033 K) to the freezing point of silver (961,78 °C), his was a heavy responsibility and one that he assumed with great distinction and considerable success. Since the adoption of the ITS-90, it has become clear that the formalism finally adopted in the definition of the interpolation function for the platinum resistance thermometer in this range was indeed a good choice. During the 1989 meeting of the CCT, at which many of the details were finalized, it was Luigi's personality and charm as well as his considerable knowledge and experience that allowed many difficult points to be resolved. In the short time he was President of the CCT he initiated studies on the implementation of the ITS-90 and its extension to lower temperatures as well as taking charge of a newly created joint working group with the

Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie on radiometric methods of temperature measurement.

Soon after his election to the Comité International it became clear that he would become a key figure in the affairs of the Comité and, in consequence, of the Bureau International. His wide knowledge and experience in metrology, the great respect in which he was held made it inevitable that he would shortly be elected a member of the bureau of the Comité, a decision taken by the Comité at its meeting in September 1994. He was then elected Deputy Secretary with the intention that he would soon take over the important task of Secretary. This was not to be, however, and shortly after the end of the twentieth Conférence Générale des Poids et Mesures, while at home in Turin, he was taken from us and the world was left a poorer place.

T. J. QUINN

(T. J. QUINN wishes to thank T. RICOLFI
and his colleagues at the IMGC
for supplying the information
on L. Crovini's work in Turin)

January 1996

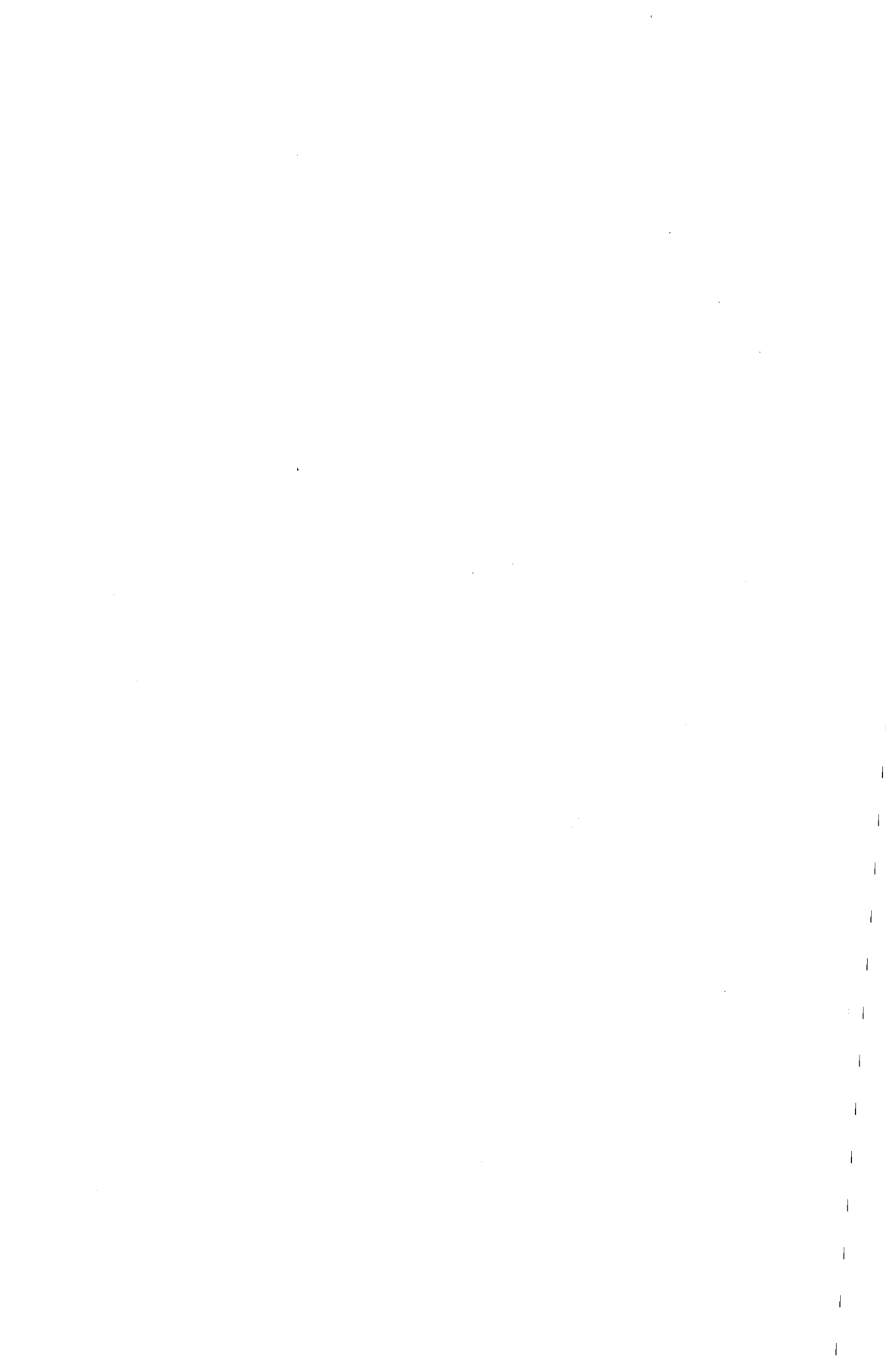


TABLE DES MATIÈRES
TABLE OF CONTENTS

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

84^e session (octobre 1995)
84th Meeting (October 1995)

	Pages
Liste des sigles utilisés dans le présent volume	V
List of acronyms used in the present volume	V
Le BIPM et la Convention du Mètre	XIII
Liste des membres du Comité international des poids et mesures	XV
Liste du personnel du Bureau international des poids et mesures	XVII
Ordre du jour	XX
Procès-verbaux des séances, 5, 6 et 12 octobre 1995	1
1. Ouverture de la session ; quorum ; ordre du jour	1
2. Rapport du secrétaire du CIPM et activités du bureau du Comité	2
3. La Convention du Mètre et l'Organisation internationale de métrologie légale	4
4. Vingtième Conférence générale	5
5. Comités consultatifs	6
5.1 Comité consultatif d'électricité	6
5.2 Comité consultatif des unités	7
5.3 Comité consultatif pour la quantité de matière	9
5.4 Groupe de travail du CCDS sur le TAI	10
5.5 Sections I, II et III du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants	11

5.6 Groupe de travail <i>ad hoc</i> du CCM sur la constante d'Avogadro	12
5.7 Réunions futures des comités consultatifs	13
5.8 Présidence des comités consultatifs	13
6. Travaux du BIPM : Rapport du directeur	14
6.1 Travaux du BIPM	14
6.2 Traçabilité	16
6.3 Dépôt des prototypes	19
7. Questions administratives et financières	19
7.1 Questions administratives et financières	19
7.2 Promotions	21
7.3 Changements mineurs au Statut du personnel	21
8. Composition du CIPM	21
8.1 Composition du CIPM	21
8.2 Conséquences de la Conférence générale	22
9. Questions diverses	22
9.1 Source radioactive du BIPM	22
9.2 Prochaine session du CIPM	24
Rapport du directeur sur l'activité et la gestion du Bureau international des poids et mesures (octobre 1994 - septembre 1995)	25
I. Personnel. — Promotion (M. Boutillon). Chercheurs associés (P. Wolf, J. Melcher, L. Vitouchkine). Départs (P. Bréonce, F. Perez, V.-D. Huynh) ..	25
II. Bâtiments	26
III. Travaux scientifiques	27
1. Remarques générales	27
1.1 Publications, conférences et voyages ne concernant pas directe- ment une section particulière	33
1.1.1 Publications extérieures	33
1.1.2 Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts) et conférences	33
2. Longueurs	34
2.1 Remarques générales	34
2.2 Mesures de longueur	35
2.2.1 Mesures de longueur classiques	35
2.2.2 Diffractomètre interférentiel à laser	35
2.2.3 Instrument de mesure des longueurs d'onde	36
2.3 Lasers	37
2.3.1 Lasers à argon asservis sur l'iode en cuve externe à $\lambda \approx 515$ nm	37
2.3.2 Laser à Nd:YAG doublé à $\lambda \approx 532$ nm	37

2.3.3 Lasers à He-Ne asservis sur l'iode à $\lambda \approx 543,5$ nm en cuve externe	38
2.3.4 Lasers à He-Ne asservis sur l'iode à $\lambda \approx 612$ nm en cuve interne ou externe.....	38
2.3.5 Lasers à He-Ne asservis sur l'iode à $\lambda \approx 633$ nm en cuve interne.....	39
2.3.6 Lasers à diode à cavité externe à $\lambda \approx 633$ nm	40
2.3.7 Lasers à diode asservis sur le rubidium à $\lambda \approx 778$ nm utilisant les composantes hyperfines des transitions 5S-5D à deux photons	41
2.3.8 Lasers à He-Ne asservis sur le méthane à $\lambda \approx 3,39$ μm en cuve interne ou externe.....	41
2.3.9 Laser à CO_2 à $\lambda \approx 10,6$ μm à cuve externe contenant du SF_6	42
2.3.10 Chaîne de synthèse de fréquences pour mesurer la fréquence absolue des lasers à He-Ne asservis sur l'iode à $\lambda \approx 633$ nm	42
2.3.11 Cuves à iode	42
2.3.12 Structure hyperfine	43
2.3.13 Ordinateurs	43
2.4 Publications, conférences et voyages : section des longueurs	43
2.4.1 Publications extérieures	43
2.4.2 Conférences et exposés	44
2.4.3 Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts) ...	44
2.5 Visiteurs de la section des longueurs	45
2.5.1 Stagiaires	45
2.5.2 Visiteurs	46
3. Masse et grandeurs apparentées	47
3.1 Introduction	47
3.2 Étalons en platine iridié et nouvelle étude de la balance HK 1000	47
3.3 Étalons en acier inoxydable	48
3.4 Nouvelle balance à suspensions flexibles	48
3.5 Mesure de l'humidité relative dans la cage de la balance	49
3.6 Anélasticité des pivots flexibles et des rubans de torsion	49
3.7 Nouveaux prototypes et autres échantillons en platine iridié	50
3.8 Gravimétrie	50
3.9 Publications, conférences et voyages : section des masses	51
3.9.1 Publications extérieures	51
3.9.2 Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts) ...	51
3.10 Visiteurs de la section des masses	52
4. Temps	52
4.1 Temps atomique international (TAI) et Temps universel coordonné (UTC)	52

4.2	Algorithmes pour les échelles de temps	52
4.2.1	Algorithme de stabilité	52
4.2.2	Stratégie de pilotage	54
4.3	Liaisons horaires	55
4.3.1	Global Positioning System (GPS)	55
4.3.2	Global Navigation Satellite System (GLONASS)	57
4.3.3	Comparaisons horaires par aller et retour	58
4.4	Application de la relativité générale à la métrologie du temps	58
4.5	Pulsars	59
4.6	Radio-interférométrie à très longue base	60
4.7	Publications, conférences et voyages : section du temps	60
4.7.1	Publications extérieures	60
4.7.2	Rapports BIPM	61
4.7.3	Conférences et exposés	62
4.7.4	Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts) ...	62
4.8	Activités en liaison avec des organismes extérieurs	64
4.9	Visiteurs de la section du temps	64
5.	Électricité	65
5.1	Résumé des travaux de la section d'électricité	65
5.2	Potentiel électrique	66
5.2.1	Effet Josephson	66
5.2.2	Études d'étalons à diode de Zener : effets de l'humidité et du bruit	67
5.2.3	Révision du comparateur automatique de piles étalons .	68
5.3	Impédance électrique	68
5.3.1	Comparaisons sur place d'étalons à résistance de Hall quantifiée	68
5.3.2	Mesures de la résistance de Hall quantifiée en courant alternatif à des fréquences de l'ordre du kilohertz	69
5.3.3	Installation à la salle 15 du pont Warshawsky automatisé	70
5.4	Étude des coefficients de température des résistances et de la température de conservation dans les laboratoires nationaux	70
5.5	Comparaisons bilatérales d'étalons électriques au BIPM	70
5.6	Étalonnages de routine	71
5.7	Publications, conférences et voyages : section d'électricité	71
5.7.1	Publications extérieures	71
5.7.2	Rapports BIPM	72
5.7.3	Conférences et exposés	72
5.7.4	Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts) ...	72
5.8	Activités en liaison avec des organismes extérieurs	73
5.9	Visiteurs de la section d'électricité	73
5.9.1	Stagiaire	73
5.9.2	Chercheur associé	73

5.9.3	Visiteurs	73
6.	Radiométrie, photométrie, thermométrie et manométrie	74
6.1	Radiométrie	74
6.2	Thermométrie et manométrie	76
6.3	Travaux d'étalonnage	76
6.4	Travaux divers	76
6.5	Publications, conférences et voyages : section de radiométrie, photométrie, thermométrie et manométrie	77
6.5.1	Publications extérieures	77
6.5.2	Conférences et exposés	77
6.5.3	Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts) ...	77
6.6	Activités en liaison avec des organismes extérieurs	78
6.7	Visiteurs de la section de radiométrie, photométrie, thermomé- trie et manométrie	78
6.7.1	Stagiaire	78
6.7.2	Visiteurs	78
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 : analyse robuste des comparaisons	85
7.3	Publications, conférences et voyages : section des rayonne- ments 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) ...	88
7.4	Activités en liaison avec des organismes extérieurs	89
7.5	Visiteurs de la section des rayonnements ionisants	90
7.5.1	Stagiaires	90
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	94
VII.	Comptes	97

Notice nécrologique

Luigi Crovini, par *T.J. Quinn* 103

English text of the report

The BIPM and the Convention du Mètre 109
Members of the Comité International des Poids et Mesures 111
Staff of the Bureau International des Poids et Mesures 113
Agenda 116

Proceedings of the sessions, 5, 6 and 12 October 1995 117

1. Opening of the meeting; quorum; agenda 117
2. Report of the Secretary of the CIPM and activities of the bureau of the
Comité 118
3. The Convention du Mètre and the Organisation Internationale de
Métrologie Légale 120
4. Twentieth Conférence Générale 121
5. Comités Consultatifs 122
5.1 Comité Consultatif d'Électricité 122
5.2 Comité Consultatif des Unités 123
5.3 Comité Consultatif pour la Quantité de Matière 124
5.4 CCDS working group on TAI 125
5.5 Sections I, II and III of the Comité Consultatif pour les Étalons de
Mesure des Rayonnements Ionisants 126
5.6 CCM *ad hoc* working group on the Avogadro constant 128
5.7 Future meetings of the Comités Consultatifs 128
5.8 Presidency of Comités Consultatifs 128
6. Work of the BIPM: Report of the Director 129
6.1 Work of the BIPM 129
6.2 Traceability 131
6.3 Dépôt des prototypes 134
7. Administrative and financial affairs 134
7.1 Administrative and financial affairs 134
7.2 Promotions 136
7.3 Minor changes to the staff Statutes 136
8. Membership of the CIPM 136
8.1 Membership of the CIPM 136
8.2 Consequences of the Conférence Générale 137

9. Other business	137
9.1 Radioactive source of the BIPM	137
9.2 Next CIPM meeting	139

Director's Report on the Activity and Management of the Bureau International des Poids et Mesures (October 1994 - September 1995) 141

I. Staff. — Promotion and change of grade (M. Boutillon). Research fellows (P. Wolf, J. Melcher, L. Vitushkin). Departures (P. Bréonce, F. Perez, V.-D. Huynh)	141
II. Buildings	142
III. Scientific work	143
1. General introduction	143
1.1 Publications, lectures, travel not directly related to individual sections	148
1.1.1 External publications	148
1.1.2 Travel (committees, visits to laboratories and institutions) and lectures	149
2. Length	150
2.1 General remarks	150
2.2 Length measurement	150
2.2.1 Classical length measurement	150
2.2.2 Laser interference diffractometer	151
2.2.3 Wavemeter	151
2.3 Lasers	152
2.3.1 Iodine-stabilized argon lasers at $\lambda \approx 515$ nm using external cells	152
2.3.2 Doubled Nd:YAG lasers at $\lambda \approx 532$ nm	152
2.3.3 Iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda \approx 543,5$ nm using external cells	153
2.3.4 Iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda \approx 612$ nm using internal and external cells	153
2.3.5 Iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda \approx 633$ nm using internal cells	153
2.3.6 External cavity diode lasers at $\lambda \approx 633$ nm	155
2.3.7 Rubidium-stabilized diode lasers at $\lambda \approx 778$ nm using the hyperfine components of 5S-5D two-photon transitions	155
2.3.8 Methane-stabilized He-Ne lasers at $\lambda \approx 3,39$ μm using internal and external cells	156
2.3.9 CO ₂ laser at $\lambda \approx 10,6$ μm using an external cell containing SF ₆	156
2.3.10 Frequency synthesis chain for measuring the absolute frequency of iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda \approx 633$ nm	156
2.3.11 Iodine cells	157
2.3.12 Hyperfine structure	157
2.3.13 Computing systems	157

2.4	Publications, lectures, travel: Length section	157
2.4.1	External publications	157
2.4.2	Lectures and presentations	158
2.4.3	Travel (committees, visits to laboratories and institutions)	159
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	Platinum-iridium standards and a new study of the HK 1000 balance	161
3.3	Stainless-steel standards	162
3.4	New flexure-strip balance	162
3.5	Measurement of relative humidity in the balance case	163
3.6	Anelasticity in flexure pivots and torsion strips	163
3.7	New prototypes and other Pt-Ir artefacts	164
3.8	Gravimetry	164
3.9	Publications, lectures, travel: Mass section	165
3.9.1	External publications	165
3.9.2	Travel (committees, visits to laboratories and institutions)	165
3.10	Visitors to the Mass section	165
4.	Time	166
4.1	International Atomic Time (TAI) and Coordinated Universal Time (UTC)	166
4.2	Algorithms for time scales	166
4.2.1	Stability algorithm	166
4.2.2	Steering strategy	168
4.3	Time links	168
4.3.1	Global Positioning System (GPS)	169
4.3.2	Global Navigation Satellite System (GLONASS)	170
4.3.3	Two-way time transfer	170
4.4	Application of general relativity to time metrology	171
4.5	Pulsars	172
4.6	Very Long Baseline Interferometry (VLBI)	172
4.7	Publications, lectures, travel: Time section	172
4.7.1	External publications	172
4.7.2	BIPM reports	173
4.7.3	Lectures and presentations	175
4.7.4	Travel (committees, visits to laboratories and institutions)	175
4.8	Activities related to external organizations	176
4.9	Visitors to the Time section	177

5. Electricity	177
5.1 Summary of the work of the Electricity section	177
5.2 Electrical potential	178
5.2.1 Josephson effect	178
5.2.2 Study of Zener-diode standards: humidity effects and noise ..	179
5.2.3 Refitting the automatic standard cell comparator	180
5.3 Electrical impedance	180
5.3.1 On-site comparisons of quantum Hall resistance standards ..	180
5.3.2 AC measurements of the quantized Hall resistance at kilohertz frequencies	181
5.3.3 Installation of the automated Warshawsky bridge in Room 15	182
5.4 Survey of temperature characteristics of resistors and temperature conditions in national laboratories	182
5.5 Bilateral comparisons of electrical standards at the BIPM	182
5.6 Routine calibrations	183
5.7 Publications, lectures, travel: Electricity section	183
5.7.1 External publications	183
5.7.2 BIPM reports	184
5.7.3 Lectures and presentations	184
5.7.4 Travel (committees, visits to laboratories and institutions)	184
5.8 Activities related to external organizations	185
5.9 Visitors to the Electricity section	185
5.9.1 Guest worker	185
5.9.2 Research fellow	185
5.9.3 Visitors	185
6. Radiometry, photometry, thermometry and pressure	186
6.1 Radiometry	186
6.2 Thermometry and pressure	188
6.3 Calibration work	188
6.4 General work	188
6.5 Publications, lectures, travel: Radiometry, photometry, thermo- metry and pressure section	188
6.5.1 External publications	188
6.5.2 Lectures and presentations	189
6.5.3 Travel (committees, visits to laboratories and institutions)	189
6.6 Activities related to external organizations	190
6.7 Visitors to the Radiometry, photometry, thermometry and pressure section	190
6.7.1 Guest worker	190
6.7.2 Visitors	190

7. Ionizing Radiation	190
7.1 Dosimetry	191
7.1.1 Gamma rays and x rays	191
7.1.2 Neutron measurements	193
7.2 Radionuclides	193
7.2.1 Activity measurements	193
7.2.2 Counting statistics: robust analysis of comparisons	196
7.3 Publications, lectures, travel: Ionizing radiation section	197
7.3.1 External publications	197
7.3.2 BIPM reports	198
7.3.3 Travel (committees, visits to laboratories and institutions)	199
7.4 Activities related to external organizations	200
7.5 Visitors to the Ionizing radiation section	201
7.5.1 Guest workers	201
7.5.2 Visitors	201
IV. Publications of the BIPM	202
1. General publications	202
2. Metrologia	202
V. Meetings and lectures at the BIPM	203
1. Meetings	203
2. Lectures	203
VI. Certificates and Notes of Study	204
VII. Accounts	205

Obituary

Luigi Crovini, by <i>T.J. Quinn</i>	207
---	-----