

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES



COMITÉ INTERNATIONAL
DES
POIDS ET MESURES

Procès-verbaux de la 79^e session
Report of the 79th Meeting

1990

TOME 58

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

ISSN 0370-2596
ISBN 92-822-2114-8

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

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

AECL	Atomic Energy of Canada Limited, Chalk River (Canada)
AIEA/IAEA	Agence internationale de l'énergie atomique/International Atomic Energy Agency, Vienne (Autriche)
ARL	Australian Research Laboratory, Yallambie (Australie)
ASE/ESA	Agence spatiale européenne/European Space Agency, Paris (France)
ASMW	Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, Berlin (Rép. dém. allemande)
BCMNI/CBNM	Bureau central de mesures nucléaires/Central Bureau for Nuclear Measurements, CEC-JRC, Geel (Belgique)
BIH	Bureau international de l'heure
BIPM	Bureau international des poids et mesures
BNM	Bureau national de métrologie, Paris (France)
CBNM	<i>voir BCMNI</i>
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
CCIR	Comité consultatif international des radiocommunications, Genève (Suisse)
CCM	Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées
CCPR	Comité consultatif de photométrie et de radiométrie
CCT	Comité consultatif de thermométrie
CCU	Comité consultatif des unités
CEB	Centre d'études de Bruyères-le-Châtel (France)
CIE	Commission internationale de l'éclairage/International Commission on Illumination
CEN	Centre d'études nucléaires (France)
CEN-FAR	Centre d'études nucléaires, Fontenay-aux-Roses (France)

CERGA	Centre d'études et de recherches en géodynamique et astrométrie, Grasse (France)
CGPM	Conférence générale des poids et mesures
CIPM	Comité international des poids et mesures
CIUS/ICSU	Conseil international des unions scientifiques/International Council of Scientific Unions
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear, Rio de Janeiro et São Paulo (Brésil)
CNRS	Centre national de la recherche scientifique, Paris (France)
CODATA	Committee on Data for Science and Technology
CRL	Communications Research Laboratory, Tokyo (Japon)
CPEM'90	Conference on Precision Electromagnetic Measurements 1990
CSIR	Council for Scientific and Industrial Research, Pretoria (Afrique du Sud)
CSIRO	CSIRO, Division of Applied Physics, Lindfield (Australie)
DFM	Danish Institute for Fundamental Metrology, Lyngby (Danemark)
EGAS	European Group for Atomic Spectroscopy
ENEA	Laboratorio di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti ENEA-CRE, Casaccia, Rome (Italie)
ETCA	Établissement technique central de l'armement, Arcueil (France)
ETL	Electrotechnical Laboratory, Tsukuba (Japon)
EUROMET	European Collaboration on Measurement Standards
GED	Groupe étude dosimétrie
IAEA	<i>voir AIEA</i>
IAU	<i>voir UAI</i>
ICAG-3	Third International Comparison of Absolute Gravimeters
ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurements
ICSU	<i>voir CIUS</i>
IEA	Instytut Energu Atomowej, Swierk (Pologne)
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
IEN	Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin (Italie)
IER	Institut d'électrochimie et radiochimie, Lausanne (Suisse)
IERS	International Earth Rotation Service
IMGC	Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin (Italie)
INM	Institut national de métrologie, Paris (France)
INMARSAT	International Maritime Satellite Organization
IPQ	Instituto Português da Qualidade, Lisbonne (Portugal)
IRA	Institut de radiophysique appliquée, Lausanne (Suisse)
IRD	Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Rio de Janeiro (Brésil)

ISO	Organisation internationale de normalisation/International Organization for Standardization
IUGG	<i>voir</i> UGGI
JILA	Joint Institute for Laboratory Astrophysics, Boulder (É.-U. d'Amérique)
KSRI	Korea Standards Research Institute, Taejon (Rép. de Corée)
LCIE	Laboratoire central des industries électriques, Fontenay-aux-Roses (France)
LMRI	Laboratoire de métrologie des rayonnements ionisants, Saclay (France)
LNE	Laboratoire national d'essais, Orsay (France)
LPTF	Laboratoire primaire du temps et des fréquences, Paris (France)
NAC	National Accelerator Centre, Faure (Afrique du Sud)
NGS	National Geodetic Survey, Rockville (É.-U. d'Amérique)
NIM	Institut national de métrologie/National Institute of Metrology, Beijing (Rép. pop. de Chine)
NIRH	National Institute of Radiation Hygiene, Brønshøj (Danemark)
NIST	National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg (É.-U. d'Amérique)
NPL	National Physical Laboratory, Teddington (Royaume-Uni)
NRC	Conseil national de recherches/National Research Council, Ottawa (Canada)
NRLM	National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba (Japon)
OFMET	Office fédéral de métrologie, Wabern (Suisse)
OIML	Organisation internationale de métrologie légale
OMH	Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest (Hongrie)
OP	Observatoire de Paris (France)
PSPKR	Pusat Standardisasi dan Penelitian Keselamatan Radiasi, Jakarta (Indonésie)
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig (Allemagne)
PTTI	Precise Time and Time Interval Applications and Planning Meeting
SCPRI	Service central de protection contre les rayonnements ionisants, Le Vésinet (France)
SGT	Sub-Group on Time
SP	Statens Provningsanstalt, Borås (Suède)
TAO	Tokyo Astronomical Observatory, Tokyo (Japon)
UAI/IAU	Union astronomique internationale/International Astronomical Union
UGGI/IUGG	Union géodésique et géophysique internationale/International Union of Geodesy and Geophysics

UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
USNO	U.S. Naval Observatory, Washington (É.-U. d'Amérique)
UVVVR	Ústav pro vyzkum, výrobu a vyuziti radioisotopu, Prague (Tchécoslovaquie)
VNIIFTRI	All Union Research Institute for Physical Technical and Radio-Technical Measurements, Moscou (URSS)
VNIIM	Institut de métrologie D.I. Mendéléev, Leningrad (URSS)
VNIIOFI	All Union Research Institute for Optical and Physical Measurements, Moscou (URSS)

Sigles des termes scientifiques

Acronyms for scientific terms

ALGOS	Time-scale algorithm, BIPM
AT1	Time-scale algorithm, NIST
CCC	Cryogenic current comparator
EIT-90/ITS-90	Échelle internationale de température de 1990/International Temperature Scale of 1990
FM	Frequency modulation
GLONASS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
ITS-90	<i>voir</i> EIT-90
LASSO	Laser Synchronization from Stationary Orbit
QED	Quantum Efficiency Detector
QHR	<i>voir</i> RQH
RQH/QHR	Résistance de Hall quantifiée/Quantum Hall resistance
SA	Selective Availability/accès sélectif
SI	Système international d'unités
SIR	Système international de référence/International Reference System
SQUID	Superconducting Quantum Interference Device
TAI	Temps atomique international/International Atomic Time
UTC	Temps universel coordonné/Coordinated Universal Time
VLBI	Very Long Baseline Interferometry

LE BIPM

ET LA CONVENTION DU MÈTRE

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

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

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

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

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

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

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

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

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

(1) Au 31 décembre 1990, quarante-six États sont membres de cette Convention : Afrique du Sud, Allemagne, Amérique (É.-U. d'), Argentine (Rép.), Australie, Autriche, Belgique, Brésil, Bulgarie, Cameroun, Canada, Chili, Chine (Rép. pop. de), Corée (Rép. de), Corée (Rép. pop. dém. de), Danemark, Dominicaine (Rép.), Égypte, Espagne, Finlande, France, Hongrie, Inde, Indonésie, Iran, Irlande, Israël, Italie, Japon, Mexique, Norvège, Pakistan, Pays-Bas, Pologne, Portugal, Roumanie, Royaume-Uni, Suède, Suisse, Tchécoslovaquie, Thaïlande, Turquie, U.R.S.S., Uruguay, Venezuela, Yougoslavie.

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

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

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

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

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

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

Le Bureau international publie aussi des monographies sur des sujets métrologiques particuliers et, sous le titre « *Le Système international d'unités (SI)* », une brochure remise à jour périodiquement qui rassemble toutes les décisions et recommandations concernant les unités.

La collection des *Travaux et mémoires du Bureau international des poids et mesures* (22 tomes publiés de 1881 à 1966) a été arrêtée en 1966 par décision du Comité international.

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

LISTE DES MEMBRES
DU
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
au 25 septembre 1990

Président

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

Secrétaire

2. J. KOVALEVSKY, astronome au Centre d'études et de recherches en géodynamique et astrométrie, avenue N. Copernic, 06130 Grasse, France.

Membres

3. W. R. BLEVIN, directeur adjoint de la Division de physique appliquée, CSIRO, P.O. Box 218, Bradfield Road, Lindfield NSW 2070, Australie.
4. J. DE BOER, Institut de physique, Université d'Amsterdam, Valckenierstraat 65, Amsterdam-C, Pays-Bas.
5. A. BRAY, Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Strada delle Cacce 73, 10135 Turin, Italie.
6. P. DEAN, 6 Maples, Banstead, Surrey SM7 3QZ, Royaume-Uni.
7. K. IIZUKA, conseiller spécial, Agency of Industrial Science and Technology, 3-1 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100, Japon.
8. H. H. JENSEN, professeur, H. C. Oersted Institutet, Universitetets Fysiske Laboratorium, Universitetsparken 5, 2100 København Ø, Danemark, *Secrétaire-adjoint*.
9. S. K. JOSHI, directeur du National Physical Laboratory of India, Dr. K. S. Krishnan Road, New Delhi 110012, Inde.
10. J. W. LYONS, directeur du National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899, É-U. d'Amérique.

11. T. PLEBANSKI, directeur du Centre de recherche et de développement des matériaux de référence « WZORMAT », Ul. Elektoralna 2, 00 139 Varsovie, Pologne.
12. H. PRESTON-THOMAS, Institut des étalons nationaux de mesure, Conseil national de recherches, Ottawa K1A 0S1, Canada. *Vice-président.*
13. O. SALA, professeur, Departamento de Fisica Nucleare, Universitaria Armando Salles de Oliveria, Caixa Postal 20516, 01498 São Paulo, Brésil.
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, Tchécoslovaquie. *Vice-président.*
16. R. STEINBERG, chef du Département de physique et métrologie. Instituto Nacional de Tecnología Industrial, 1101 Buenos Aires, Argentine.
17. WANG Daheng, professeur, directeur de la division des sciences techniques, Academia Sinica, Conseiller du Bureau d'État de métrologie, BP 2112, Beijing, Rép. pop. de Chine.
18. ...

Membres honoraires

1. E. AMBLER, The Belvedere (No. 626), 1600 N. Oak Street, Arlington, VA 22209.
2. L. M. BRANSCOMB, Box 309, Concord, Massachusetts 01742.
3. J. V. DUNWORTH, The Warbuck, Kirk Michael, Isle of Man.
4. L. E. HOWLETT, 1702-71 Somerset Street W, Ottawa, Ontario K2P2G2.
5. M. KERSTEN, Am Hohen Tore 4A, 3300 Braunschweig.
6. F. J. LEHANY, 5 Gladstone Avenue, Hunters Hill, NSW 2110.
7. J. STULLA-GÖTZ, Gentzgasse 3, A-1180 Wien*.

* Le BIPM a appris avec un vif regret le décès de J. Stulla-Götz survenu le 23 décembre 1990.

PERSONNEL
DU
BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
au 1^{er} janvier 1991

Directeur : M. T.J. Quinn

Longueurs : M. J.-M. Chartier

M. R. Felder, Mme S. Picard, M. L. Robertsson
Mme A. Chartier, M. J. Labot

Masse et grandeurs apparentées : MM. G. Girard, A. Sakuma

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

Échelles de temps : Mme C. Thomas

MM. J. Azoubib, W. Lewandowski, G. Petit ; M. B. Guinot (temps
partiel)

Mlle H. Konaté, Mme M. Thomas

Électricité : M. T.J. Witt

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

Radiométrie et photométrie : M. J. Bonhoure

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

Rayonnements ionisants : M. J. W. Müller

Mme M. Boutillon, MM. P. Bréonce, V. D. Huynh, G. Ratel
MM. D. Carnet, C. Colas, L. Lafaye, C. Veyradier

Secrétariat : Mlle J. Monprofit

Mme D. Le Coz, Mme D. Müller ⁽²⁾
Mme L. Delfour, Mme M. Petit

Metrologia : M. D. A. Blackburn

⁽¹⁾ Chercheur associé.

⁽²⁾ Détachée à la Section des rayonnements ionisants.

Finance, administration : Mlle B. Perent

Mme M.-J. Martin

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

Femmes de ménage : Mme A. Perez, Mme R. Prieto, Mme 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, J. Leroux, A. Montbrun, D. Rotrou

MM. E. Dominguez ⁽³⁾, C. Neves ⁽³⁾

Directeurs honoraires : MM. Ch. Volet, J. Terrien, P. Giacomo

Métrologiste principal honoraire : M. G. Leclerc

Métrologiste honoraire : M. H. Moreau

⁽³⁾ Également gardiens.

ORDRE DU JOUR DE LA SESSION

1. Ouverture de la session, quorum, approbation de l'ordre du jour.
 2. Rapport du secrétaire.
 3. Rapport sur l'activité du bureau du CIPM (octobre 1989-septembre 1990).
 4. Discussion du projet de Convocation de la 19^e CGPM.
 5. Comités consultatifs :
 - rapport du CCU,
 - rapport du CCPR,
 - rapport du CCM (réunion du Groupe de travail du CCM sur les étalons de masse qui s'est tenue en novembre 1989),
 - réunions futures,
 - rapports des présidents des Comités consultatifs à la 19^e CGPM,
 - présidence du CCE et du CCEMRI.
 6. Travaux du BIPM ; Rapport du directeur.
 7. Coordination mondiale des mesures chimiques et physico-chimiques ; discussion de l'opportunité d'une action du CIPM.
 8. Accords bilatéraux sur l'équivalence d'étalons, discussion sur le rôle du BIPM et de la Convention du Mètre.
 9. Metrologia.
 10. Révision du règlement des conditions d'étalonnage au BIPM.
 11. Affaires administratives et financières :
 - « Rapport aux Gouvernements » pour 1989,
 - quitus pour 1989,
 - exercice 1990 en cours.
 12. Questions diverses.
-

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

79^e session (septembre 1990)

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES TENUES À SÈVRES

Présidence de M. D. Kind

Le Comité international des poids et mesures s'est réuni pour sa 79^e session au Bureau international des poids et mesures, à Sèvres, les mardi 25, mercredi 26 et jeudi 27 septembre 1990. Il a tenu cinq séances.

Étaient présents : MM. BLEVIN, BRAY, DE BOER, DEAN, IZUKA, JENSEN, JOSHI, KIND, KOVALEVSKY, LYONS, PLEBANSKI, PRESTON-THOMAS, SALA, SKÁKALA, WANG, QUINN (directeur du BIPM).

Assistaient aussi aux séances : M. CLAPHAM (invité, le 26 et le 27 septembre), M. POUSTOVOIT (invité), M. GIACOMO (directeur honoraire du BIPM); M. OBOUKHOV (interprète); Mlle MONPROFIT, Mme LE COZ (secrétaires).

Excusés : MM. SIEGBAHN, STEINBERG.

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

Le président ouvre la 79^e session du Comité international des poids et mesures et accueille les membres présents, en particulier les deux membres nouvellement élus, M. Joshi et M. Lyons, ainsi que M. Poustovoit, invité. M. Clapham qui n'assiste pas à la session du 25 septembre, est présent à titre d'invité les 26 et 27 septembre. Le professeur Siegbahn et M. Steinberg ont prié le Comité de les excuser de ne pouvoir assister à la présente session.

Le président remercie le directeur du BIPM pour la préparation de la réunion, en particulier pour le projet du texte de Convocation de la 19^e Conférence générale des poids et mesures, qui va faire l'objet de discussions et dont la mise au point figure à l'ordre du jour.

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

L'ordre du jour est adopté sans modification.

Après avoir présenté le déroulement prévu pour la réunion, le président donne la parole au secrétaire du CIPM pour la présentation de son rapport.

2. Rapport du secrétaire du CIPM (octobre 1989 - septembre 1990)

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

États membres de la Convention du Mètre

La liste des États membres de la Convention du Mètre est restée inchangée et comporte toujours 47 États.

Membres du CIPM

Depuis octobre 1989, MM. Mitra, Ambler et Mekhannikov ont présenté leur démission. Par ailleurs M. Lyons (directeur du NIST, Gaithersburg) et M. Joshi (directeur du NPL of India, New Delhi) ont été élus. Il reste donc encore un siège à pourvoir au Comité.

À ce propos, le secrétaire remarque qu'il serait préférable, dans la mesure du possible, qu'il n'y ait pas de siège vacant au moment de la prochaine Conférence générale.

Réunions des comités consultatifs et des groupes de travail

— Le Groupe de travail sur les « Étalons de masse » du CCM s'est réuni le 2 et le 3 novembre 1989 pour discuter des problèmes liés au nettoyage des prototypes nationaux du kilogramme qui participent à la troisième vérification périodique.

— Le CCU a tenu sa 10^e session les 10 et 11 juillet 1990 sous la présidence de M. J. de Boer.

— Le CCPR a tenu sa 12^e session les 17, 18 et 19 septembre 1990 sous la présidence de M. W. R. Blevin.

Toutes ces réunions ont eu lieu au Pavillon de Breteuil.

Indications financières

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

Comptes	1987	1988	1989	1990
I. — Fonds ordinaires	15 550 507,07	13 743 538,35	11 685 088,87	10 924 171,95
II. — Caisse de retraites ...	11 843 142,42	13 160 434,56	14 369 021,18	14 002 735,45
III. — Fonds spécial pour l'amélioration du ma- tériel scientifique	523 857,79	214 847,73	78 764,20	75 835,04
IV. — Caisse de prêts sociaux.	204 771,34	230 719,45	260 806,64	283 545,36
V. — Réserve pour les bâti- ments	1 816 600,45	1 359 042,99	83 232,12	0,00
Totaux	29 938 879,07	28 708 583,08	26 476 913,01	25 286 287,80

La discussion des questions financières a lieu ultérieurement au cours de la réunion.

3. Rapport sur l'activité du bureau du CIPM
(octobre 1989 - septembre 1990)

Le secrétaire poursuit en présentant son rapport sur l'activité du bureau du CIPM. Le bureau du Comité a tenu trois réunions depuis la dernière session du CIPM ; deux d'entre elles ont eu lieu au Pavillon de Breteuil et une autre à Grasse. L'essentiel du temps a été consacré à des discussions sur le projet de convocation de la Conférence générale et sur les problèmes financiers posés par le contexte critique de la situation politique dans le Golfe persique et l'imminence de la réunification de l'Allemagne. Cette réunification implique soit une réduction de 1,75 % de la dotation du BIPM (puisque la République fédérale d'Allemagne se trouve déjà au niveau maximal de contribution), soit une répartition du montant correspondant entre les États dont la contribution ne se situe ni au maximum ni au minimum.

Parmi les autres sujets discutés par le bureau il y a eu en particulier : l'achat de *Metrologia*, les implications pour le BIPM et les organes de la Convention du Mètre de la prolifération des accords bilatéraux portant sur l'équivalence des étalons et enfin l'opportunité pour le CIPM d'avoir une action en vue d'améliorer l'uniformité des mesures physico-chimiques au niveau mondial. Par ailleurs, quelques problèmes particuliers ou autres qui se sont posés au BIPM ont été étudiés, entre autres la situation des retraités du BIPM à la suite des décisions prises par le CIPM, à sa 78^e session en 1989, concernant l'augmentation des salaires

et de la contribution du personnel au fonds de retraite. Comme toujours, un certain nombre de questions se sont réglées par téléphone et par correspondance.

À titre transitoire M. de Boer a aimablement accepté d'assister cette année encore aux réunions du bureau.

Convocation de la 19^e CGPM

Le projet du document de Convocation de la 19^e CGPM, communiqué aux membres du CIPM pour mise au point au cours de la présente session, est le résultat de discussions détaillées qui ont eu lieu au sein du bureau du Comité. Pour ce qui est des aspects financiers, il constitue un compromis entre ce qui paraît souhaitable pour le bon développement du BIPM et ce qui semble devoir être le maximum acceptable pour les États membres. Par suite de la décision que la République démocratique allemande vient de prendre de faire partie de la République fédérale d'Allemagne, le montant de la dotation pour 1991 et pour 1992 sera réduit de 1,75 %, sauf s'il y a répartition. Le bureau propose que cette réduction ne soit pas, comme on pourrait soutenir qu'elle doit l'être, compensée en en répartissant le montant (soit environ 300 kFO) entre les États dont la contribution n'est ni au maximum ni au minimum. Au contraire, le bureau pense que l'on doit accepter cette réduction et que cela constitue un argument supplémentaire à présenter à la CGPM en 1991 pour accroître le niveau des contributions. Cette proposition rencontre l'approbation unanime du Comité.

Le secrétaire rappelle aux membres du Comité que, à la suite d'une demande faite lors de la 18^e CGPM, les documents présentés à la 19^e CGPM, y compris la Convocation, seront préparés en anglais aussi bien qu'en français, bien que la seule version officielle soit la version en français.

Metrologia

Un accord final a été conclu avec Springer-Verlag en juin 1990 pour l'achat de *Metrologia*. Le transfert se fera au 1^{er} janvier 1991 avec le volume 28 de la revue.

Le directeur a fait part au bureau du Comité de l'attitude coopérative montrée par Springer-Verlag tout au long des discussions et au nom du Comité il a exprimé ses remerciements à la direction de Springer-Verlag.

À l'évidence, il est de notre intérêt de faire tout notre possible pour accroître le nombre des abonnés à *Metrologia*. D'après une remarque faite par Springer-Verlag au cours des négociations, il semble qu'une revue ait plus de chances de succès si elle paraît six fois plutôt que quatre fois par an, comme *Metrologia*. Dans cet esprit, il est prévu de publier deux numéros supplémentaires en 1991. L'un comprendra les comptes rendus d'une conférence sur la radiométrie absolue qui doit se

tenir à Davos (Suisse) en septembre 1990 et l'autre sera un numéro spécial comprenant des articles sollicités sur le thème de la « nanométrie ». Le coût du premier numéro supplémentaire sera pour une grande partie couvert par les frais d'inscription à la conférence mais le coût du second numéro sera à la charge du BIPM.

Maintenant que *Metrologia* va devenir l'entière propriété du BIPM le bureau demande de façon pressante que tous les membres du CIPM saisissent toutes les occasions qui se présentent pour en faire la publicité.

M. Joshi suggère de préparer un petit prospectus donnant une description de la revue et d'adresser des numéros gratuits à des souscripteurs potentiels.

Accords bilatéraux sur l'équivalence des étalons nationaux

Un certain nombre d'accords bilatéraux ont été signés depuis quelque temps, accords qui portent sur l'équivalence des étalons nationaux entre des pays membres de la Convention du Mètre. Le bureau a discuté des implications que la prolifération de tels accords pourrait avoir non seulement pour le BIPM et les organes de la Convention du Mètre mais aussi pour les laboratoires nationaux. Le bureau estime qu'une discussion doit avoir lieu sur ce sujet lors de la réunion du CIPM et, comme base de discussion, il a préparé un projet de résolution à soumettre à la Conférence générale. (Ce projet de résolution n'a pas été adopté par le Comité, voir point 8, p. 15.)

Uniformité mondiale des mesures chimiques et physico-chimiques

L'uniformité mondiale et la traçabilité des mesures physiques sont assurées par la Convention du Mètre et le BIPM, en étroite coopération avec les laboratoires nationaux de métrologie. Il semble qu'il y ait un problème pour assurer de même l'uniformité et la traçabilité des mesures chimiques et physico-chimiques au niveau le plus élevé d'exactitude.

Le bureau propose que le CIPM établisse un groupe de travail *ad hoc*, comportant des représentants des grands laboratoires nationaux, chargé d'étudier le problème et de dire si le CIPM doit ou non avoir une action dans ce domaine.

Retraites du BIPM

Lors de sa session de 1989 le CIPM a décidé d'accroître la contribution du personnel au fonds de retraites et de la faire passer de 5 % à 9 % du salaire. Il a en même temps décidé d'augmenter les salaires de 4,5 %.

À l'époque le Comité a décidé de ne pas répercuter cette augmentation de 4,5 % sur les retraites actuellement versées. La Commission des salaires et celle des Statuts ont ensuite instamment demandé que la décision soit revue.

À la suite de discussions et d'une étude approfondie du problème avec les représentants du personnel, le bureau fait au Comité la proposition suivante : les retraites du BIPM seront augmentées de 2,25 % à dater du 1^{er} janvier 1990 (avec effet rétroactif), puis subiront une nouvelle augmentation de 2,25 % au 1^{er} janvier 1991 ; de plus la contribution du budget du BIPM au fonds de retraite sera augmentée en conséquence. Après quelques échanges de vues cette proposition est acceptée par le Comité.

4. Projet de Convocation de la 19^e Conférence générale

Le secrétaire présente pour discussion au Comité le projet de Convocation de la 19^e Conférence générale.

Il rappelle aux participants que ce document doit être envoyé à l'imprimeur avant la fin du mois d'octobre 1990, pour être adressé aux États membres en décembre 1990 ; c'est donc la seule occasion qu'ils pourront avoir d'apporter une modification au texte proposé.

Une discussion détaillée du texte se déroule.

Quelques modifications rédactionnelles mineures sont introduites en différents points de l'ordre du jour de la Conférence ; les projets de résolutions sont longuement discutés et adoptés sous leur forme finale. Le projet de résolution A sur les « Étalons de temps et comparaisons de temps » est approuvé : il rassemble en une seule résolution un résumé des différentes recommandations du CCDS. Le projet de résolution B sur « L'effet Josephson et l'effet Hall quantique » est approuvé, avec de légères modifications rédactionnelles. Le projet de résolution C sur « L'Échelle internationale de température de 1990 et les travaux futurs en thermométrie » est approuvé. Un court projet de résolution D « Préfixes zetta, zepto, yotta et yocto » est approuvé et ajouté au point 14 de l'ordre du jour (Le Système international d'unités).

Le secrétaire présente le projet de commentaires relatifs au point 16 de l'ordre du jour de la Conférence (Dotation annuelle du Bureau international des poids et mesures). Pour calculer les montants de la dotation pour les années 1993 à 1996, le Comité convient de prendre comme point de départ le montant de la dotation voté par la 18^e CGPM pour l'année 1992, de le réduire de 1,75 % (correspondant à ce qu'aurait été la contribution de la République démocratique allemande pour 1992), puis d'ajouter au chiffre obtenu une somme globale de 625 000 francs-or destinée à permettre l'achat d'horloges et d'équipements nécessaires à la Section du temps. Le montant ainsi obtenu constitue la base de départ du calcul des dotations pour les années 1993 à 1996. À partir de ce montant un accroissement annuel de 7 % est demandé.

5. Comités consultatifs

Depuis la précédente session du CIPM, le Comité consultatif des unités a tenu sa 10^e session, les 10 et 11 juillet 1990, le Comité consultatif de photométrie et radiométrie a tenu sa 12^e session du 17 au 19 septembre 1990. Le Groupe de travail sur les Étalons de masse du Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées s'est réuni au BIPM le 2 et le 3 novembre 1989.

5.1. Comité consultatif des unités

M. de Boer, président du CCU, présente le rapport de son comité.

La 6^e édition de la brochure sur le SI est en cours de préparation. Les principaux changements concernent l'Annexe II « Mise en pratique des définitions des principales unités » ; ils résultent de l'adoption de l'EIT-90 et des modifications apportées à la représentation du volt et de l'ohm.

Après discussion d'une proposition faite par M. Quinn, le Comité est d'accord pour qu'il ne soit pas fait mention dans la brochure sur le SI des variations récemment observées sur la masse du prototype international du kilogramme, car il s'agit d'un problème purement scientifique qui risquerait d'être mal compris par le public assez large auquel cette brochure est destinée.

Une discussion a eu lieu sur le choix entre « l » et « L » comme symbole du litre et il a été décidé de ne faire aucune recommandation sur le sujet. De nouveaux préfixes avec leurs symboles ont été proposés (zetta 10^{21} , zepto 10^{-21} , yotta 10^{24} et yocto 10^{-24}) et le CIPM a préparé et approuvé un projet de résolution D à soumettre à la 19^e CGPM. La question d'un symbole pour les grandeurs de dimension 1 a été discutée, mais il a été décidé de laisser ce sujet à l'ISO. Une proposition avait été faite de modifier la définition de l'ampère tendant à préciser que le même courant doit passer dans chacun des deux conducteurs ; cette proposition n'a pas été retenue. Le CCU considère que la définition est suffisamment claire.

5.2. Comité consultatif de photométrie et radiométrie

M. Blevin, président du CCPR, présente un bref rapport sur la 12^e session. C'est la première réunion qui a lieu depuis que le BIPM a entrepris un travail expérimental dans le domaine de la spectroradiométrie.

Le CCPR a passé en revue les conséquences des recommandations faites lors de la 11^e session en 1986 : ainsi qu'il avait été recommandé, les valeurs attribuées aux étalons d'intensité lumineuse et de flux lumineux du BIPM ont été modifiées à dater du 1^{er} janvier 1987 afin

d'être en accord avec la moyenne des résultats des comparaisons internationales de 1985. Elles sont maintenant en accord aussi étroit que possible avec les définitions actuelles de la candela et du lumen.

De la même manière, certains laboratoires nationaux ont ajusté les valeurs de leurs étalons pour se conformer aux définitions actuelles. Les valeurs de ces modifications et de toutes les différences résiduelles par rapport aux étalons de référence du BIPM ont fait l'objet d'une publication dans *Metrologia*.

Le NIST a indiqué qu'il avait modifié la valeur de ses étalons photométriques de $-0,4\%$ à dater du 1^{er} juillet 1990, pour les rapprocher des moyennes internationales obtenues en 1985.

Une tentative faite par un groupe de travail pour expliquer certaines différences non-aléatoires entre les laboratoires nationaux, différences observées dans les résultats de la comparaison d'intensité lumineuse de 1985, n'a guère été couronnée de succès.

Dans une comparaison internationale de mesures de l'éclairement énergétique spectral dans le domaine de longueurs d'onde allant de 200 à 2 400 nm, à laquelle ont pris part 13 laboratoires nationaux, on a constaté un accord à environ $\pm 1\%$ près dans le domaine du visible mais des divergences beaucoup plus grandes dans l'ultraviolet et l'infrarouge.

Dans une comparaison restreinte de mesures de sensibilité spectrale aux trois longueurs d'onde utilisées dans l'infrarouge pour les communications optiques (850, 1 300 et 1 550 nm), les quatre laboratoires nationaux participants ont obtenu des résultats qui concordent à mieux que $0,3\%$ près avec leurs résultats moyens. Cela indique que les divergences beaucoup plus importantes que l'on rencontre dans les mesures de puissance des rayonnements optiques dans l'industrie des communications ont d'autres sources que les étalons nationaux de base. Une comparaison étendue à 13 laboratoires nationaux doit s'achever en 1991.

Une demi-journée a été consacrée à une discussion sur les possibilités offertes par les synchrotrons et les anneaux de stockage d'électrons comme étalons de grandeurs spectroradiométriques. Cinq laboratoires nationaux ont rendu compte de l'expérience qu'ils ont déjà en la matière et deux autres ont des projets dans ce sens. On a reconnu que ces installations peuvent maintenant rivaliser avec les corps noirs à haute température. L'exactitude des résultats qu'elles permettent d'obtenir est du même ordre de grandeur dans le domaine du visible, elle est meilleure au-delà du visible et cela d'autant plus que l'on va plus loin dans l'ultraviolet, jusqu'au domaine des rayons X mous.

Un nouveau groupe de travail a été créé en vue d'améliorer l'uniformité mondiale de la spectroradiométrie dans le domaine de l'ultraviolet dans l'air, en faisant appel aussi bien aux techniques en cours de développement, comme le rayonnement du synchrotron, qu'aux techniques traditionnelles.

Il est convenu de ne pas entreprendre de nouvelles comparaisons internationales en photométrie avant la prochaine session du CCPR, qui en principe se tiendra en 1994. Toutefois, un groupe de travail est chargé d'étudier les récepteurs corrigés pour $V(\lambda)$ susceptibles d'être utilisés pour une comparaison internationale de mesures de rayonnement lumineux.

Le BIPM doit servir de laboratoire central pour une comparaison internationale de mesures de sensibilité spectrale sur des photodiodes au silicium dans les domaines de l'ultraviolet, du visible et du proche infrarouge. Ce sera la première fois que le CCPR utilisera les installations récemment réalisées au BIPM pour la spectroradiométrie.

Le CCPR a reconnu que les radiomètres cryogéniques, étalonnés électriquement, sont les étalons les plus exacts dont on dispose pour mesurer la puissance de rayonnement, et qu'il faudrait faire une comparaison internationale de ces instruments, après 1994, lorsqu'un plus grand nombre de laboratoires nationaux les utiliseront. Il a été demandé au BIPM de déterminer quel serait l'instrument de transfert le mieux approprié pour une telle comparaison.

Certains membres du CCPR ont évoqué la difficulté de se procurer dans les circuits commerciaux des lampes susceptibles d'être utilisées par les laboratoires nationaux pour conserver et comparer leurs unités photométriques et radiométriques. Un groupe de travail a été créé, avec le BIPM comme responsable, pour étudier le problème et faire les recommandations appropriées.

Après avoir pris connaissance des travaux et fait une visite des laboratoires concernés, le CCPR a exprimé sa satisfaction de constater que le BIPM s'est initié rapidement et efficacement au domaine de la spectroradiométrie. Les nouvelles comparaisons et les groupes de travail constitueront pour le BIPM un guide convenable pour conduire ses propres recherches en radiométrie et en photométrie au cours des prochaines années.

Le CCPR a pris connaissance d'un rapport sur les activités qu'il peut avoir en commun avec la Commission internationale de l'éclairage, et un certain nombre de questions connexes. Les représentants des laboratoires nationaux ont brièvement exposé les principaux travaux récents effectués dans leurs laboratoires respectifs en radiométrie et photométrie.

Le CCPR poursuit activement un programme concerté pour améliorer l'uniformité des mesures et réduire les incertitudes en photométrie et radiométrie. De plus en plus l'accent est mis sur la radiométrie et la spectroradiométrie, la photométrie étant considérée comme un secteur important d'application de ces domaines plus fondamentaux. De nouveaux instruments tels que les radiomètres cryogéniques étalonnés électriquement, les photodiodes au silicium d'efficacité quantique calculable et les anneaux de stockage d'électrons permettent aux laboratoires nationaux d'avoir accès à des étalons plus exacts. Toutefois il reste encore difficile

de faire profiter l'industrie de cette exactitude accrue et même d'effectuer des comparaisons entre laboratoires nationaux avec cette même exactitude car on manque de sources et de récepteurs ayant une stabilité et une robustesse suffisantes pour pouvoir être utilisés comme étalons secondaires.

Le CCPR a été très satisfait de constater l'avancement des travaux du BIPM en photométrie et en radiométrie au cours des dernières années. Les nouvelles comparaisons internationales et la participation du BIPM aux différents groupes de travail occuperont le personnel du BIPM dans les années qui viennent. Aucune recommandation n'a été préparée pour être soumise au CIPM. Pour conclure M. Blevin dit que ce fut une très bonne session du CCPR.

5.3. Groupe de travail du CCM sur les étalons de masse

M. Bray, président du CCM, présente le rapport (dont une copie a été distribuée aux membres du CIPM) de la réunion du Groupe de travail du CCM sur les étalons de masse ; cette réunion s'est tenue le 2 et le 3 novembre 1989 au BIPM, à la demande du CIPM, pour étudier les problèmes qui se posent dans le cadre de la troisième vérification des prototypes nationaux du kilogramme.

Les conclusions du groupe de travail du CCM ont été les suivantes :

— à la lumière des expériences récentes faites au BIPM, des précisions complémentaires doivent accompagner la définition du kilogramme donnée en 1889 afin d'éliminer, dans toute la mesure du possible, toute ambiguïté survenant dans la réalisation de cette définition à l'aide du prototype international,

— l'état physique le moins ambigu auquel on puisse se référer pour définir la masse du prototype international, compte tenu de nos connaissances actuelles, est celui dans lequel ce prototype se trouve juste après son nettoyage/lavage selon la méthode utilisée au BIPM,

— cette masse doit être déduite par extrapolation des valeurs observées au cours des semaines qui suivent le nettoyage/lavage,

— les remarques ci-dessus ont conduit le CIPM, lors de sa session de septembre 1989, à décider que, pour les besoins de la troisième vérification des prototypes nationaux du kilogramme, on considérera que la masse du prototype international à laquelle se réfère la définition du kilogramme de 1889 est celle de ce prototype juste après son nettoyage-lavage suivant la méthode du BIPM et que cette masse sera déterminée par extrapolation.

En ce qui concerne les prototypes nationaux envoyés au BIPM pour la troisième vérification, le groupe de travail du CCM a conclu :

— qu'à la lumière des récentes études faites au BIPM, les prototypes nationaux devront être lavés et nettoyés deux fois au BIPM avant leur vérification et que la méthode de nettoyage devra être identique à celle utilisée pour le prototype international,

— que les laboratoires nationaux devront être informés que, immédiatement après le nettoyage-lavage par le BIPM, on peut s'attendre à une augmentation de la masse des prototypes nationaux à un rythme et dans des limites dont l'incertitude a été précisée par ailleurs,

— que si un laboratoire national nettoie et lave son prototype selon la méthode du BIPM, la masse de cet étalon devrait retrouver la valeur de référence donnée par le BIPM; les incertitudes associées à cette valeur de référence pourront être précisées après l'achèvement de la troisième vérification.

Le groupe de travail du CCM, prenant note du rôle important joué par la méthode de nettoyage-lavage du BIPM dans les conclusions ci-dessus a recommandé :

— que le BIPM communique aux laboratoires nationaux les détails spécifiques sur tous les aspects importants de la méthode de nettoyage utilisée au BIPM,

— que les recherches se poursuivent au BIPM et dans les laboratoires nationaux pour tenter d'élucider la nature de la contamination des prototypes en platine iridié et les effets physiques des différentes méthodes de nettoyage,

— que les laboratoires nationaux qui travaillent sur des techniques améliorées de nettoyage des étalons en platine iridié soient encouragés dans leurs recherches. Toutefois, les résultats de ces recherches ne doivent pas être utilisés pour la troisième vérification déjà en cours.

Pour résumer ces conclusions, M. Bray souligne que le groupe de travail est totalement d'accord avec la décision prise par le CIPM en 1989 (*BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 57, 1989, p. 15) au sujet du prototype international et qu'il a recommandé que les prototypes nationaux participant à la troisième vérification périodique soient traités de la même façon.

M. Bray propose ensuite que la prochaine réunion du CCM ait lieu le 30 et le 31 mai 1991. On y discutera des résultats préliminaires de la troisième vérification. Cela est accepté.

M. Bray donne ensuite un bref résumé des travaux des différents groupes de travail sur les pressions :

— Basses pressions : un rapport sur les résultats de la comparaison de jauges à diaphragme et à variation de capacité est en préparation ;

— Moyennes pressions : une comparaison de balances de pression étalons est en cours ;

— Hautes pressions : le groupe de travail est très actif. Les comptes rendus du séminaire qui s'est tenu au Laboratoire national d'essais, le 24 et le 25 mai 1988, sont publiés (*BIPM Monographie* 89/1). La comparaison internationale dans le domaine de 20 MPa à 100 MPa est terminée et le rapport en cours de rédaction.

Une brève discussion se déroule ensuite sur les différentes idées qui sont actuellement explorées en vue d'une nouvelle définition du kilogramme.

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

Les présidents des comités consultatifs doivent présenter un rapport sur l'activité de leur comité à la 19^e Conférence générale. Il est convenu que les projets de rapport devront être envoyés au BIPM avant le commencement du mois d'avril 1991, sauf pour le CCM et le CCEMRI qui doivent se réunir au mois de mai 1991.

5.5. Réunions futures des comités consultatifs

Le président du CIPM rappelle aux présidents des comités consultatifs qu'il convient de fixer la date des prochaines sessions. Le calendrier suivant est retenu :

CCDM	au printemps de 1992.
CCDS	aucune date n'est fixée pour le moment. Un sous-groupe du groupe de travail du GPS pour l'amélioration de la réception et de la normalisation du GPS se réunira en 1991.
CCE	juin 1992.
CCEMRI	21-24 mai 1991.
CCM	30-31 mai 1991.
CCPR	septembre 1994.
CCT	aucune date n'est fixée.
CCU	aucune date n'est fixée.

5.6. Présidence du CCE et du CCEMRI

Le président rappelle aux membres du CIPM que deux comités consultatifs se trouvent sans président : le CCE, dont le président était auparavant M. Ambler, et le CCEMRI dont le président était M. Dean. M. Kind indique que M. Sala a accepté de remplacer M. Dean à la présidence du CCEMRI.

En ce qui concerne le CCE aucune nomination n'est faite pour le moment mais, à la suggestion de M. de Boer, M. Kind accepte d'assumer la présidence du CCE par intérim.

6. Travaux du BIPM : Rapport du directeur

M. Quinn introduit la présentation par le personnel du BIPM des travaux scientifiques effectués depuis la précédente session (*voir* Rapport du directeur, p. 23).

À la fin de la présentation, au nom des membres du CIPM, le président remercie les physiciens pour le compte rendu très intéressant des travaux effectués au cours de l'année écoulée et l'exposé de leurs projets pour l'avenir.

Il retrace ensuite en quelques mots la carrière de M. Guinot, rappelant la longue liste des fonctions nationales (à l'Observatoire de Paris) et internationales qu'il a remplies en liaison avec les services horaires. Il attire en particulier l'attention sur ses activités comme directeur du BIH, membre du CIPM et président du CCDS. Il le remercie pour le rôle qu'il a joué dans l'établissement du TAI et l'intégration de la section du temps atomique du BIH au BIPM, en assurant la continuité des travaux sur le temps ; il le félicite pour son succès dans cette tâche et lui présente ses meilleurs vœux pour l'avenir.

M. Guinot remercie le président pour ses paroles élogieuses, il dit en particulier qu'il a été très satisfait du succès du transfert des services du temps au BIPM, aboutissement d'un projet qui date de 1971. Il ajoute que les six années qu'il vient de passer au BIPM ont été très agréables pour lui.

7. Coordination mondiale des mesures chimiques et physico-chimiques

Il existe un besoin croissant d'uniformité mondiale et de traçabilité pour les mesures chimiques et physico-chimiques. Il semble qu'il y ait un problème pour établir cette uniformité et cette traçabilité par suite de l'absence d'une coordination internationale dans ce domaine à un niveau suffisamment élevé. M. Quinn indique brièvement comment le problème lui a été soumis en sollicitant une action de la part du CIPM.

Identifier les tendances globales de l'état de la biosphère et évaluer les effets des éléments dont on trouve des traces dans l'environnement, cela ne peut être fait que si l'on dispose de données fiables. Ces données sont obtenues à partir d'une combinaison de mesures physiques et chimiques et elles ne sont fiables que dans la mesure où les unités, les étalons et les méthodes employés pour ces mesures sont eux-mêmes exacts et fiables. Une proportion importante de la production industrielle et du commerce international dépend de mesures qui relèvent de la chimie analytique. Le fait de n'être pas certain de la validité de certaines de ces mesures a pour conséquence que nombre d'entre elles sont

refaites, en particulier par les organismes qui contrôlent les produits à l'importation. Cela n'est pas seulement un processus coûteux mais cela entrave aussi le libre écoulement du commerce international.

Pour les mesures physiques l'uniformité internationale et l'exactitude sont assurées grâce à l'action des laboratoires nationaux de métrologie en accord avec le BIPM, dans le cadre de l'autorité qui lui est conférée par la Convention du Mètre. La nécessité d'accroître l'uniformité mondiale et l'exactitude des mesures physiques est reconnue sans contredit comme une condition essentielle du progrès des techniques de pointe. Au niveau international, les besoins d'uniformité et d'exactitude des mesures chimiques et physico-chimiques sont satisfaits d'une façon nettement moins formelle et moins coordonnée. Le SI concerne aussi bien les mesures physiques que les mesures chimiques ; c'est à la demande des milieux intéressés par la chimie, par l'intermédiaire de l'Union internationale de chimie pure et appliquée (UICPA) entre autres, que la mole est devenue l'une des unités de base du SI. L'existence de la mole comme unité de base du SI, en même temps que l'uniformité mondiale des réalisations des autres unités de base, a, dans une grande mesure, répondu aux besoins jusqu'à maintenant. De plus, l'activité de l'UICPA, de ses nombreux groupes d'experts et des autres unions internationales, sous les auspices du CIUS, entretient sur le plan international un réseau étroit de contacts au niveau des utilisateurs.

Les mesures chimiques et physico-chimiques très particulières dont on a maintenant besoin pour les utilisations mentionnées ci-dessus, présentent aujourd'hui des exigences beaucoup plus grandes que dans le passé et il devient évident que l'uniformité internationale n'est pas assurée au niveau d'exactitude dont on a besoin. Parmi les domaines pour lesquels il existe des problèmes, il y a la mesure des traces d'impuretés dans les eaux côtières et océaniques, la détermination des impuretés toxiques dans la nourriture et des polluants tels que les dioxines dans l'atmosphère. Dans la perspective, en particulier, des échéances européennes qui vont se présenter en 1992 mais aussi à une échelle internationale plus large, il va devenir nécessaire que, de part et d'autre des frontières, un large éventail de mesures chimiques et physico-chimiques fassent l'objet d'accords ; cela accentue encore la pression pour l'amélioration de l'uniformité mondiale de ce type de mesures. Il semble que la difficulté principale, à laquelle on se heurte pour prendre les dispositions en vue d'atteindre l'uniformité internationale requise, vient de l'absence d'un forum approprié où pourraient se dérouler les discussions au niveau le plus élevé.

Le président informe le Comité que, après une discussion préliminaire, le bureau considère que le problème demande à être étudié. Il propose au CIPM de créer à cet effet un groupe de travail *ad hoc*, comprenant des experts représentant quelques-uns des grands laboratoires nationaux, afin de le conseiller sur le type d'action qu'il doit avoir, s'il doit en avoir une.

De nombreux membres du Comité estiment que celui-ci doit être très réticent pour s'engager dans ce domaine. Les problèmes sont loin d'être aussi bien définis que dans le domaine des mesures physiques et ils se posent à des niveaux d'activité inférieurs à ceux auxquels le Comité intervient normalement. La grande majorité des mesures chimiques et physico-chimiques se font par rapport à des matériaux de référence étalons et dans ce domaine le CIPM est fort mal préparé pour avoir une action quelconque. Le CIPM doit hésiter à s'engager dans des domaines dans lesquels son autorité n'aurait pas le poids qui lui est accordé habituellement. Néanmoins, l'opinion du Comité est qu'il faut constituer un groupe de travail *ad hoc* chargé de : « conseiller le CIPM sur l'opportunité pour le BIPM de jouer un rôle effectif en vue d'assurer l'uniformité et la traçabilité des mesures chimiques et physico-chimiques ». Ce groupe de travail comprend MM. Iizuka, Kind, Kovalevsky, Lyons (président) et Plebanski ; il est convenu que MM. Clapham et Poustovoit y participeront aussi. Il est demandé à M. Lyons de préparer un rapport pour discussion à la prochaine session du CIPM, en septembre 1991. Il est convenu que les membres ont la possibilité de nommer des remplaçants, experts dans le domaine, pour prendre part aux discussions du groupe.

8. Accords bilatéraux sur l'équivalence d'étalons

La nécessité et le rôle des accords bilatéraux sur l'équivalence d'étalons, accords qui existent maintenant entre un certain nombre d'États membres de la Convention du Mètre, sont mis en discussion. M. Quinn ouvre la discussion en rappelant le contexte dans lequel ces accords ont été signés, le premier en 1983, entre les États-Unis d'Amérique et le Royaume-Uni, et les plus récents en 1990, entre les États-Unis d'Amérique et le Canada et entre le Canada et le Royaume-Uni. Bien qu'il soit évident que la nécessité de ces accords vient de dispositions particulières figurant dans des contrats commerciaux, leur existence risque d'avoir des répercussions sur l'action du BIPM.

Les accords les plus récents concernent les domaines de la masse, du temps, de la longueur et de la température ainsi que de la tension, de la résistance et de la capacité électriques ; ils précisent le niveau auquel l'équivalence des mesures est admise. Dans ces accords, il est implicite que la plupart des comparaisons sur lesquelles reposent les nombres indiqués ont été faites sous les auspices du BIPM, bien qu'il soit aussi fait état de comparaisons bilatérales. En effet, pour certains accords, il a été procédé à des comparaisons bilatérales spécifiques. Dans le paragraphe d'introduction de ces accords la Convention du Mètre est mentionnée.

M. Quinn fait remarquer que ces accords bilatéraux risquent de nuire à l'autorité de la Convention du Mètre et du SI. La prolifération

d'accords de ce type peut être nuisible à la cohérence de la métrologie qu'assure le SI au niveau mondial. Elle peut entraîner les grands laboratoires nationaux de métrologie dans un réseau d'accords, complexe et à ramifications multiples, qu'il deviendra de plus en plus difficile et onéreux de coordonner et de gérer. De plus, certains petits pays risquent de se voir éliminer des comparaisons internationales majeures.

Tout en comprenant que ces accords bilatéraux soient devenus une nécessité, M. Quinn propose que le BIPM mette davantage l'accent sur l'exécution de comparaisons internationales d'étalons représentatifs des unités de base et des unités dérivées les plus importantes, au niveau le plus élevé. Le BIPM pourrait ainsi fournir les données sur lesquelles devraient être fondés ces accords bilatéraux. Au cours de la discussion qui s'ensuit, M. de Boer rappelle que le rôle du BIPM est de satisfaire les besoins de base des laboratoires nationaux au niveau le plus élevé.

M. Blevin précise que l'objet des accords bilatéraux est différent de celui des comparaisons internationales organisées par le BIPM. Des comparaisons bilatérales sont plus rapides à faire et elles sont spécifiquement faites pour des raisons commerciales. Il demande si le BIPM est vraiment en mesure de faire d'autres comparaisons.

M. Quinn répond que la section d'électricité et la section des lasers pourraient en faire davantage dans l'avenir, mais qu'il est évidemment impossible pour le moment de faire plus dans la section des masses tant que la troisième vérification périodique est en cours. De nouvelles comparaisons sont déjà envisagées en spectroradiométrie.

M. Plebanski pense qu'il est important de tenir le BIPM au courant des projets de comparaisons bilatérales et de ne les exécuter que lorsque le BIPM ne peut pas les faire. Passer par le BIPM est la façon la plus efficace pour assurer l'uniformité des mesures.

M. Bray pense aussi qu'il pourrait être utile d'informer et de consulter le BIPM lors de la préparation de tels accords bilatéraux.

Pour résumer la discussion, M. Kind dit que les laboratoires nationaux devraient prendre contact avec le BIPM afin de voir si une comparaison internationale qui s'avère nécessaire doit ou non être organisée par l'intermédiaire du BIPM.

Les membres du CIPM estiment que cette discussion a été utile, mais qu'il n'est pas nécessaire de rédiger une recommandation formelle sur ce sujet. Les accords bilatéraux n'interfèrent en aucune manière avec l'action du BIPM; ils constituent au contraire une contribution positive au travail du BIPM.

9. Révision du règlement des conditions d'étalonnage au BIPM

Un document a été préparé à la demande expresse du CIPM pour informer les utilisateurs (membres ou non de la Convention du Mètre) des conditions dans lesquelles ils peuvent faire appel aux services

d'étalonnage du BIPM. Ce document, accepté sous la forme qui suit, sera mis à jour lorsque cela s'avérera nécessaire.

Il est noté que les pays qui ne sont pas signataires de la Convention du Mètre devront payer le double du coût estimé pour les étalonnages (temps passé, amortissement de l'équipement utilisé, produits consommables), selon un tarif établi par le directeur du BIPM en accord avec les directives approuvées par le CIPM.

VÉRIFICATION DES ÉTALONS ET DES INSTRUMENTS AU BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

Dispositions contractuelles :

1. Généralités

Le Bureau international des poids et mesures offre un service de vérification d'étalons et d'instruments. Les vérifications sont normalement effectuées pour le laboratoire national de l'un ou l'autre des États membres de la Convention du Mètre mais, à la discrétion du directeur, des vérifications peuvent être aussi faites pour les laboratoires des États qui ne sont pas membres de la Convention du Mètre ou, avec l'approbation du laboratoire national désigné, pour des organismes autres que le laboratoire désigné d'un État membre.

2. Domaines concernés

On peut obtenir auprès du BIPM la liste des grandeurs et des domaines pour lesquels peuvent être faites des vérifications. Cette liste peut varier par suite des progrès de la métrologie, des besoins des laboratoires nationaux des États membres et des décisions du Comité international des poids et mesures.

3. Demandes d'étalonnage

Le BIPM accuse réception de toute demande d'étalonnage et indique un délai approximatif. Les étalons ou les instruments ne doivent être envoyés au BIPM qu'après réception par le propriétaire de l'accusé de réception de sa demande. Ils doivent être accompagnés d'une « Demande d'étude ».

Des formulaires de « Demande d'étude » spécifiques à chaque catégorie d'étalons ou d'instruments peuvent être obtenus auprès du directeur du BIPM.

4. Mouvement du matériel

Un reçu est établi pour chaque étalon ou instrument reçu au BIPM pour vérification. Le reçu porte mention de toute marque d'identification et de tout défaut ou dommage extérieur visible.

Après étude le BIPM remet le matériel à une personne dûment autorisée ou, sur demande, l'envoie par poste ou tout autre service de livraison commercial.

Le moyen de transport, tant à l'aller qu'au retour, est choisi par le propriétaire, lequel en conséquence en accepte tous les risques. Sur demande le BIPM donne des conseils sur le moyen de transport approprié pour tout appareil particulier.

5. *Délai d'étude*

Le BIPM procède aux vérifications avec toute la diligence compatible avec le soin et l'attention nécessaires et avec les impératifs de sa charge de travail. Le BIPM donne une indication de délai approximatif pour une demande particulière mais n'est en aucun cas tenu d'achever une étude pour une date donnée.

6. *Manutention du matériel*

Le BIPM s'engage à traiter les étalons et les instruments qui lui sont envoyés pour étude avec tout le soin approprié mais, en cas de dommage survenu au BIPM, la responsabilité financière du Bureau, au cas où une faute pourrait lui être imputée, est limitée au coût de réparation ou de remplacement de l'étalon ou de l'instrument endommagé. Dans le cas d'un instrument ou d'un étalon particulièrement délicat ou coûteux il est conseillé au propriétaire de contracter une assurance spéciale. En cas de contestation résultant de l'application de la présente clause, la décision du Comité international des poids et mesures est définitive. L'acceptation de la présente clause est préalable à toute acceptation par le BIPM de procéder à une étude.

7. *Certificat*

Un certificat d'étalonnage signé par ou pour le directeur est établi après l'achèvement de l'étude de tout étalon ou instrument vérifié au BIPM.

Tout étalon ou tout instrument qui s'avérerait impropre à une vérification est renvoyé accompagné ou non d'une Note d'étude.

8. *Taxes*

Les vérifications faites pour le laboratoire désigné d'un État membre de la Convention du Mètre sont gratuites. Les frais de transport tant à l'aller qu'au retour, les frais d'assurance, de taxes et de formalités douanières sont à la charge du propriétaire.

Tout autre bénéficiaire de vérification se voit appliquer des taxes dont le montant est fixé par le directeur selon les directives approuvées par le Comité international des poids et mesures. Dans certains cas le règlement de ces taxes peut être exigé à l'avance.

10. Affaires administratives et financières

Le président accueille Mlle 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 1989 », ainsi que le rapport de l'expert-comptable pour 1989. Ces rapports sont approuvés à l'unanimité et quitus est donné au directeur et à l'administrateur.

Un projet de budget pour 1991 est présenté. Le montant des contributions des États tient compte de la réduction de 1,75 % de la dotation correspondant à la contribution de la République démocratique allemande, à la suite de la décision de celle-ci de faire partie de la République fédérale d'Allemagne.

BUDGET POUR 1991

RECETTES

francs-or

Recettes budgétaires :

1. Contributions des États	19 449 420
2. Intérêts des fonds	1 000 000
Total	<u>20 449 420</u>

DÉPENSES

A. Dépenses de personnel :

1. Traitements	10 438 000	}	15 058 000
2. Allocations familiales et sociales	1 687 000		
3. Sécurité sociale	1 039 000		
4. Assurance accidents	207 000		
5. Caisse de retraites	1 687 000		

B. Dépenses de fonctionnement :

1. Mobilier	30 000	}	2 923 000
2. Laboratoires et ateliers	966 000		
3. Chauffage, eau, énergie électrique	432 000		
4. Assurances	53 000		
5. Impressions et publications	243 000		
6. Frais de bureau	403 000		
7. Voyages et transports d'appareils	374 000		
8. Entretien courant	362 000		
9. Bureau du Comité	60 000		

C. Dépenses d'investissement :

1. Laboratoires	1 800 000	}	2 063 000
2. Atelier de mécanique	53 000		
3. Bibliothèque	210 000		

D. *Bâtiments* (gros travaux d'entretien et de rénovation). 305 420

E. *Frais divers et imprévus* 100 000

Total 20 449 420

Parmi les dépenses importantes prévues pour 1991 figure le déménagement de l'atelier, qui doit être transféré du Petit Pavillon au bâtiment des rayonnements ionisants.

M. Quinn informe les membres du CIPM qu'il y aura probablement, en 1991, deux chercheurs associés, nommés pour un an, l'un à la section des longueurs et l'autre à la section des rayonnements ionisants.

Pour 1991, le budget de *Metrologia* fera l'objet d'un compte séparé du budget général du BIPM. Il figurera sous forme séparée dans le Rapport annuel.

Le projet de budget pour 1991 est adopté par le CIPM.

11. Questions diverses

11.1. Membres du CIPM

M. Dean a pris sa retraite du NPL à la fin du mois de mars 1990 et M. P. Clapham lui a succédé. Le bureau du CIPM a demandé à M. Dean de rester au CIPM jusqu'à la fin de la présente session. Celui-ci a accepté mais sa démission prend maintenant effet. Le président le remercie pour sa contribution aux travaux du Comité. Le président informe ensuite les membres du Comité qu'il a reçu une lettre de démission de M. Mekhannikov, lequel a quitté le Gosstandart où il a été remplacé en tant que vice-président par M. Poustovoit. Il y a par conséquent deux sièges vacants au CIPM. Des échanges de vue privés ont lieu au sein du Comité sur le nom d'éventuels candidats.

11.2. Membre honoraire du CIPM

Le Comité procède ensuite à l'élection de M. Ambler comme membre honoraire du CIPM, en reconnaissance de son active participation tout au long des années où il a été membre du CIPM et de son dynamisme à la présidence du CCEMRI et du CCE. L'adoption récente de valeurs admises par convention pour les constantes de l'effet Josephson et de l'effet Hall quantique est en grande partie due à son action. La proposition de nomination comme membre honoraire est adoptée à l'unanimité. M. Kind se charge d'informer M. Ambler de cette nomination.

11.3. Promotion de personnel au sein du BIPM

Le départ en retraite de M. Guinot rend nécessaire de nommer Mme C. Thomas chef de la section du temps du BIPM. Le directeur du BIPM propose qu'elle soit élue comme « Physicienne principale » et

comme « adjointe ». Le secrétaire appuie la proposition à laquelle il se dit très favorable compte tenu de la rapidité avec laquelle Mme Thomas s'est intégrée à l'activité du BIPM. Elle a toutes les connaissances scientifiques ainsi que les qualités personnelles pour diriger la section du temps, il convient de lui conférer le grade correspondant. Elle est élue à l'unanimité.

11.4. Prochaine session du CIPM

La prochaine session du CIPM se tiendra le 26 et le 27 septembre 1991.

Le président clôt la 79^e session du CIPM en remerciant tous les participants qui ont contribué au succès de la réunion. Comme la présente session est la dernière avant la 19^e CGPM, il rappelle une fois de plus aux présidents des comités consultatifs qu'il leur incombe de préparer un rapport à présenter à la Conférence. Enfin il remercie encore M. Dean pour sa contribution aux travaux du CIPM et lui présente ses meilleurs vœux pour l'avenir.

RAPPORT DU DIRECTEUR
SUR L'ACTIVITÉ ET LA GESTION
DU BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
(octobre 1989 - septembre 1990)

I. — PERSONNEL

Engagements

David Alexander BLACKBURN, né le 28 juin 1933 à Edimbourg (Royaume-Uni), précédemment Professor of Engineering Science et Director of the Oxford Research Unit à l'Open University d'Oxford (Royaume-Uni) a été engagé comme physicien principal le 1^{er} octobre 1989 ; il assurera notamment la rédaction de la revue *Metrologia* en qualité d'éditeur et aura la responsabilité des publications du BIPM.

Susanne PICARD, née le 23 novembre 1959 à Stockholm (Suède), chercheur associé à la section des longueurs depuis le 1^{er} novembre 1987, a été engagée en qualité de physicienne à compter du 1^{er} novembre 1989.

Gérard PETIT, né le 7 novembre 1957 à Belleville-sur-Saône (Rhône), précédemment à l'Institut géographique national (Paris), a été engagé comme physicien à la section du temps le 1^{er} mars 1990.

Chercheur associé

Richard DAVIS, né le 14 octobre 1945 à Hartford (États-Unis d'Amérique) précédemment physicien au NIST, a été engagé en tant que chercheur associé à la section des masses à compter du 28 mai 1990, pour une période d'un an.

Titularisation

Rosa PRIETO, contractuelle depuis le 1^{er} mai 1984 en qualité de femme de ménage, a été titularisée le 1^{er} janvier 1990 dans le même emploi avec le grade d'agent d'entretien.

Départ

R. P. HUDSON, physicien principal, a pris sa retraite le 31 octobre 1989, après 9 années d'activité en qualité de responsable des publications et d'éditeur de *Metrologia*.

II. — BÂTIMENTS

Observatoire

Poursuite de la réparation de la toiture.

Réfection d'un bureau de la section de radiométrie.

Transformation de la salle 16, précédemment occupée en partie par une bibliothèque, en laboratoire pour la section d'électricité.

Réaménagement d'une petite pièce dans les combles pour installer une horloge à césium.

Grand Pavillon

Réfection des deux halls d'entrée.

Petit Pavillon

Peinture de l'appartement des gardiens.

Peinture de l'appartement des stagiaires.

Remplacement de la chaudière.

Bâtiment des rayonnements ionisants

Réfection de trois bureaux.

Installation d'un petit atelier pour la fabrication des circuits imprimés.

Construction d'un local pour le stockage à court terme de déchets faiblement radioactifs.

Extérieurs et parc

Installation d'un système d'arrosage automatique pour le jardin fleuriste.

Remplacement de canalisations endommagées.

Réparation des dégâts causés par des arbres abattus par une tempête et élagage d'arbres présentant un danger.

III. — TRAVAUX SCIENTIFIQUES

1. Remarques générales

Mon rapport de l'an dernier commençait par quelques remarques sur les premiers résultats de la troisième vérification périodique des prototypes nationaux du kilogramme. Cette fois-ci encore je parlerai en premier lieu du kilogramme mais cette année mon propos aura un ton assez différent.

La perspective de disposer de méthodes indépendantes pour contrôler la stabilité de la masse du prototype international du kilogramme et même de pouvoir remplacer celui-ci comme étalon définissant l'unité de masse, a soulevé un intérêt considérable dans la communauté des métrologistes et n'est pas sans importance pour le BIPM. Compte tenu des récentes informations que l'on a quant au comportement du prototype international et de ses témoins, cette perspective a concentré l'attention sur le domaine de la métrologie des masses comme cela n'avait pas été le cas depuis très longtemps. En effet, à la dernière Conférence on Precision Electromagnetic Measurements qui s'est tenue en juin 1990 à Ottawa, une session était intitulée « Replacing the kilogram ». Étant donné les implications que cela risque d'avoir sur les travaux du BIPM, je commencerai le rapport de cette année par un bref résumé de la situation telle qu'elle se présente actuellement.

Il existe maintenant deux, et éventuellement trois, méthodes qui pourraient permettre de vérifier la stabilité à long terme de l'unité de masse. Aucune d'entre elles jusqu'ici n'a fait ses preuves à un niveau d'exactitude tel que cela vaudrait la peine de l'essayer à l'heure actuelle, mais chacune de ces méthodes laisse entrevoir la possibilité d'atteindre ce niveau dans un avenir assez proche. La première de ces méthodes consiste à comparer une puissance mécanique et une puissance électrique au moyen d'une balance, c'est l'expérience appelée « balance du watt ». Selon une méthode mise au point par B. Kibble au NPL on peut comparer une force gravitationnelle, Mg , agissant sur une masse, et une force électromagnétique dont la valeur est donnée par $U^2/(Ru)$, où U , R et u représentent respectivement une différence de potentiel, une résistance et une vitesse. En principe donc, on peut déterminer la valeur de M à partir des mesures d'une différence de potentiel aux bornes d'une jonction de Josephson, d'une résistance de Hall quantifiée, d'une vitesse et de l'accélération due à la pesanteur g . La méthode a fait ses preuves au niveau de quelques 10^{-7} et l'on pense que d'ici à deux ans elle devrait être améliorée d'un facteur dix environ. Parmi les nouvelles méthodes c'est la plus prometteuse. La seconde méthode est fondée sur la possibilité de fabriquer un échantillon de silicium dont on connaît le nombre d'atomes et la composition isotopique. Dans cette méthode il subsiste de nombreux problèmes à résoudre avant que l'on puisse atteindre une exactitude de 1×10^{-7} et il semble qu'une amélioration d'un facteur dix pour atteindre une exactitude de 1×10^{-8} posera des problèmes insurmontables. C'est seulement tout récemment qu'une troisième méthode a été proposée mais elle doit être soumise à un sérieux examen. Dans cette méthode un faisceau atomique ionisé déposerait la charge et la masse sur le plateau d'une balance. Une mesure de la charge donnerait en principe une mesure du nombre de particules d'où l'on pourrait déduire la masse déposée.

Les observations en cours au BIPM sur la stabilité à court terme du prototype international et de ses témoins (voir Rapport de 1989,

page 39) ne donnent aucune indication indépendante concernant leur stabilité à long terme. Nous avons toutefois montré que l'on peut, semble-t-il, obtenir une incertitude (écart-type) d'environ $2 \mu\text{g}$, soit 2×10^{-9} , sur la conservation de l'unité de masse pendant des durées s'étendant jusqu'à environ un an. Bien que des comparaisons individuelles de masse puissent être faites avec de meilleurs résultats, des variations de $2 \mu\text{g}$ ou de cet ordre surviennent pendant la manipulation ou le déplacement de la masse entre la balance et le lieu de conservation.

Les mesures effectuées au cours des cent ans qui se sont écoulés depuis que le prototype international et ses témoins ont été déposés au BIPM ne constituent pas en elles-mêmes une preuve directe de leur stabilité. On peut toutefois en faire une estimation à partir des variations relatives que l'on constate entre le prototype international et ses témoins. Ces variations s'élèvent à $50 \mu\text{g}$ en tout, soit à $0,5 \mu\text{g}$ par an. Une hypothèse raisonnable, bien que peu étayée, est que la dérive de l'ensemble des étalons en platine iridié du kilogramme ne dépasse pas dix fois la dérive relative qui existe entre eux. Cette hypothèse conduit à une limite de la dérive absolue du prototype international de $5 \mu\text{g}$ par an, soit 5×10^{-9} par an. En conséquence, j'ai proposé que toute expérience conçue pour contrôler la stabilité à long terme du kilogramme devrait elle-même faire preuve d'une stabilité au moins égale à 1×10^{-8} par an.

Dans l'avenir immédiat il est évident que la tâche qui incombe au BIPM est d'obtenir le maximum d'informations sur la stabilité à court terme des étalons en platine iridé et les facteurs qui influencent celle-ci. C'est dans cette optique qu'ont été effectués les travaux décrits dans le présent rapport. À plus long terme, il est vraisemblable qu'il sera souhaitable d'entreprendre au BIPM une recherche expérimentale visant à contrôler la stabilité du kilogramme. Si, comme il est probable, une recherche de ce genre est fondée sur la balance du watt, il faut que soient maintenues au BIPM les installations permettant d'effectuer des mesures exactes de g . Une telle recherche ferait bien évidemment appel à des compétences dans les domaines des mesures électriques et de la conception des balances, deux domaines dans lesquels le BIPM possède déjà une solide expérience.

D'importants développements sont en cours dans le domaine de la spectroscopie des lasers, qui à l'avenir aura une importance particulière pour les travaux faits au BIPM. À court et à moyen termes, toutefois, le rôle du BIPM dans le domaine des lasers se limite à étudier les lasers qui reproduisent les radiations recommandées pour la réalisation pratique du mètre et à effectuer des comparaisons internationales afin d'assurer la coordination demandée par les laboratoires nationaux. Parmi les travaux présentés cette année, il convient de signaler la mise au point d'un laser à He-Ne qui émet une radiation verte asservie sur une transition de l'iode à une longueur d'onde de 543 nm . Cette radiation se présente comme un candidat prometteur pour être ajouté à la liste

des radiations recommandées pour la réalisation du mètre. Il convient de noter particulièrement cette année l'accroissement de la demande des laboratoires nationaux pour des étalonnages de règles à traits de 1 mètre. On a beaucoup utilisé le comparateur photoélectrique et interférentiel et, si les demandes d'étalonnage de ce genre continuent d'affluer, il sera nécessaire de procéder à une importante modernisation de l'électronique de cet appareil. Cette question devra faire l'objet d'une discussion lors de la prochaine session du CCDM.

Pour la première fois, un étalon de fréquence à jet de césium est en fonctionnement continu au BIPM, cela grâce à un prêt généreux fait par l'US Naval Observatory (Washington, D.C.) suite à une demande du CCDS. Le domaine des échelles de temps se développe rapidement et le BIPM joue de plus en plus un rôle clé, non seulement à cause de l'établissement du TAI et de la diffusion de l'UTC, mais aussi à cause des nombreuses autres activités de coordination qui lui sont maintenant demandées. À cet égard l'introduction d'une liaison avec le système GLONASS de l'URSS risque d'entraîner une extension importante. La mise en œuvre d'horloges ayant des exactitudes de deux ordres de grandeur supérieures à celle des étalons actuels à jet de césium ne constitue encore qu'une perspective qui ne devrait voir le jour que dans quelques années. Pourtant, des études sur l'application aux échelles de temps de la théorie de la relativité montrent que toute amélioration significative de l'exactitude des horloges conduira à devoir appliquer des corrections relativistes beaucoup plus difficiles et plus complexes que celles qui sont faites actuellement. Nous poursuivons ces études.

La prochaine comparaison internationale d'étalons de résistance de 1Ω et de $10 \text{ k}\Omega$ marque le changement important survenu dans le domaine de la métrologie en électricité à la suite de la découverte de l'effet Hall quantique. Ce sera la première comparaison à grande échelle d'étalons de résistance fondés sur des installations faisant appel à l'effet Hall quantique ; ce sera aussi la première comparaison internationale entreprise surtout à l'initiative de EUROMET qui en a fait la demande au CCE. À l'évidence, une nouvelle ère est en train de s'ouvrir pour les comparaisons internationales. Celles-ci auront pour but de vérifier que les étalons fondés sur des phénomènes quantiques ont été correctement réalisés. Il est vraisemblable que des comparaisons analogues portant sur des réseaux de jonctions de Josephson utilisés comme étalons de transfert seront effectuées pour vérifier les représentations nationales du volt. Il paraît maintenant évident que de telles comparaisons sont nécessaires, ou plus exactement qu'il est nécessaire de disposer des données qui sont fournies par ces comparaisons. Cela résulte de l'accroissement du commerce international en produits de haute technologie et de la nécessité accrue de la reconnaissance internationale des étalons nationaux avec leurs valeurs respectives. Selon toute vraisemblance il sera de plus en plus demandé au BIPM d'effectuer ou de coordonner de telles comparaisons.

Nous avons continué à nous équiper et à progresser dans le domaine de la spectroradiométrie. De nouvelles études ont été faites sur la technique d'auto-étalonnage et sur les propriétés des photodiodes au silicium, en particulier sur les effets dus à l'adsorption d'eau sur la surface.

L'introduction de l'EIT-90 a conduit à fabriquer un certain nombre de thermomètres à résistance de platine utilisés dans diverses sections du BIPM. Cela a donné l'occasion de rénover et d'améliorer l'équipement destiné à réaliser le point de fusion du gallium. Nous sommes maintenant en mesure de procéder, pour les besoins internes du BIPM, à des étalonnages de grande exactitude dans l'EIT-90 dans le domaine compris entre 0 °C et 30 °C.

En dosimétrie des rayonnements ionisants, nos efforts ont été consacrés à l'étude du nouveau faisceau de ^{60}Co et à la détermination de la dose absorbée dans l'eau pour le ^{60}Co et les rayons γ et X. À l'instigation de la Section III du CCEMRI nous avons mesuré le spectre de neutrons de la source du BIPM. Dans le domaine de l'activité des radionucléides, l'examen des résultats de la comparaison restreinte de ^{75}Se a été achevé. De plus, nous avons suivi la suggestion de la Section II du CCEMRI et nous avons commencé à élargir le domaine du Système international de référence (SIR) pour les radionucléides. Un système à scintillateur liquide est en cours d'installation pour mesurer les émetteurs β et α . Une nouvelle approche de la mesure des coïncidences par une méthode de corrélation laisse entrevoir la possibilité d'effectuer une mesure directe du nombre de vraies coïncidences. Des études sont en cours en vue de construire le circuit de comptage « modulo 2 » qui est nécessaire, c'est-à-dire un circuit qui soit sensible à la parité du nombre de désintégrations enregistrées dans un intervalle de temps donné.

La présentation de ce rapport suit étroitement celle qui a été adoptée l'année dernière. Le rapport des travaux de chaque section constitue un tout et comporte les publications, les voyages, etc., faits par les membres de la section. Afin d'éviter les répétitions, lorsqu'une visite comporte une conférence elle peut figurer soit sous l'en-tête de « Conférences » soit sous celle de « Voyages » selon ce qui constituait le but principal de la visite.

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

1.1.1. Publication extérieure

QUINN, T. J. News from the BIPM. *Metrologia*, 27, 1990, pp. 11-15.

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

T. J. Quinn s'est rendu à :

— Lisbonne (Portugal) du 13 au 16 mars 1990 pour une réunion de l'EUROMET ;

— Berne (Suisse) les 28 et 29 mars 1990 à l'OFMET, où il a donné deux conférences sur « The BIPM, its role today » et « The ITS-90 » ;

— Geel (Belgique) les 10 et 11 mai 1990 pour la célébration du 30^e anniversaire du BCMN du Centre commun de recherche ;

— Ottawa (Canada) du 10 au 17 juin 1990 pour assister à la CPEM, tenir une réunion du groupe de travail « Fundamental Constants » de CODATA et assister à une réunion du NRC Advisory Committee on Standards ;

— La Havane (Cuba) du 12 au 14 février 1990 où il a assisté à la 2^e « International Conference on Metrology » et donné une conférence sur « The BIPM and the Convention du Mètre ».

2. Longueurs (J.-M. Chartier)

2.1. Remarques générales

Cette année, l'activité de la section des longueurs a été partagée entre les lasers, comprenant des comparaisons de lasers du BIPM avec ceux de laboratoires nationaux et l'interférométrie. Nous avons été soumis à un fort accroissement de demandes de mesures de règles de 1 mètre à effectuer à l'aide du comparateur photoélectrique et interférentiel ; notre niveau d'activité dans ce domaine est revenu à celui d'il y a dix ans.

Dans le domaine des lasers asservis à $\lambda = 633$ nm, deux comparaisons avec des laboratoires nationaux ont été effectuées au BIPM. Nous avons aussi apporté une importante contribution à la réalisation du premier étalon de longueur d'onde de quelques-uns des pays de la Convention du Mètre. Concernant les autres longueurs d'onde recommandées utilisées comme étalons de longueur, un important travail a été réalisé à $\lambda = 612$ nm et la technique de spectroscopie hétérodyne a été essayée sur le nouveau laser à argon à $\lambda = 515$ nm.

R. Felder a passé cette année au Joint Institute for Laboratory Astrophysics, Boulder (É.-U. d'Amérique). Aussi, peu de travaux ont été effectués sur les lasers asservis sur le méthane à $\lambda = 3,39$ μm ; en revanche, nous avons commencé à travailler sur les lasers à CO_2 à $\lambda = 10,6$ μm . Comme suite du développement des étalons à $\lambda = 543$ nm, nous avons effectué des mesures préliminaires, à l'interféromètre de Michelson, en vue de déterminer la longueur d'onde de la radiation verte du laser à He-Ne.

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

Un programme inhabituel de mesures de longueur a été réalisé durant l'année. Nous avons commencé par des mesures de vérification sur la règle divisée du BIPM N° 12924, les résultats obtenus concordent à mieux que 10 nm près avec ceux qui ont été obtenus en 1987. Nous

avons aussi déterminé la longueur de règles appartenant au Nigeria et à la Pologne, quatre autres règles à traits et calibres appartenant à l'URSS et à la Rép. pop. dém. de Corée restent à mesurer. Un minimum d'entretien a aussi été effectué sur le comparateur, comprenant notamment la vérification de la fréquence du laser à He-Ne asservi sur le Lamb dip.

Si la reprise de l'activité des mesures de longueurs classiques se confirme, nous aurons à apporter au comparateur photoélectrique et interférentiel de nombreuses modifications, avec certainement l'aide de de la Société genevoise d'instruments de physique qui a construit cet appareil.

Nous tenons à remercier notre ancien collègue M. P. Carré pour l'aide qu'il nous a apportée pour mettre au point une nouvelle version du logiciel permettant de réduire les mesures de longueur et de longueur d'onde.

Le prototype en platine N° 17 C, propriété du Gouvernement français, a été rendu à l'Établissement technique central de l'armement (Arcueil) le 13 décembre 1989.

2.3. Lasers

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

i) Comparaison entre les lasers du BIPM

Les deux lasers voyageurs (N°s 10 et 4) ont été comparés, respectivement, une et quatre fois avec l'un de nos lasers de référence (N° 2). Toutes les différences relatives de fréquence mesurées étaient inférieures à 1×10^{-11} .

La fréquence du laser utilisé sur le gravimètre transportable du BIPM (BIG) a été vérifiée deux fois par rapport à celle des lasers N° 2 et N° 10, avant et après la 3^e comparaison internationale de gravimètres. Nous avons trouvé :

Septembre 1989 :

$$f_{\text{BIG}} - f_2 = + 6,2 \text{ kHz (dans le laboratoire des lasers),}$$

Décembre 1989 :

$$f_{\text{BIG}} - f_{10} = + 6,9 \text{ kHz (dans le laboratoire de gravimétrie).}$$

ii) Comparaisons internationales

Deux comparaisons ont été effectuées au BIPM avec le laboratoire national de Suède (laser SP1) et celui de Yougoslavie (lasers Y1 et Y2). Les résultats bruts obtenus sont respectivement :

$$f_{\text{SP1}} - f_2 = - 8,0 \text{ kHz}$$

$$f_{\text{Y1}} - f_4 = + 29 \text{ kHz}$$

et

$$f_{\text{Y2}} - f_4 = - 16 \text{ kHz.}$$

En plus de la mesure de la fréquence des lasers, nous avons aussi vérifié chaque élément des lasers et leurs asservissements, car nous avons observé des décalages de fréquence lors des mesures initiales.

Les deux cuves à iode utilisées dans les lasers appartenant à la Yougoslavie ont été aussi vérifiées sur un laser du BIPM. Les résultats confirment ceux obtenus ci-dessus.

Deux autres lasers construits par l'ETCA (France), pour la Belgique, et par Sextant Avionique (France), pour la Pologne, ont été aussi vérifiés. Des comparaisons de lasers seront organisées dans quelques mois entre le BIPM et ces deux pays.

Cette année douze cuves à iode ont été remplies et vérifiées.

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

Pendant la dernière année et demie, un effort important a été consacré à la remise en état de nos quatre lasers qui fonctionnent à $\lambda = 612$ nm. Le fonctionnement de ces quatre systèmes est maintenant proche de ce qu'on en attend. Ces lasers sont équipés d'une cuve à iode soit interne soit externe à la cavité. Des études de leurs caractéristiques spectrales, en utilisant la méthode des battements, ont commencé. Elles révèlent, entre ces deux types de systèmes, des différences de comportement caractéristiques.

La figure 1 montre l'enregistrement partiel de deux spectres de lasers à $\lambda = 612$ nm. Celui de gauche provient d'un système utilisant une cuve externe, celui de droite provient d'un système utilisant une cuve interne. Ces études nous permettront d'établir avec plus de sûreté la configuration des systèmes de référence dont le BIPM disposera à l'avenir à cette longueur d'onde.

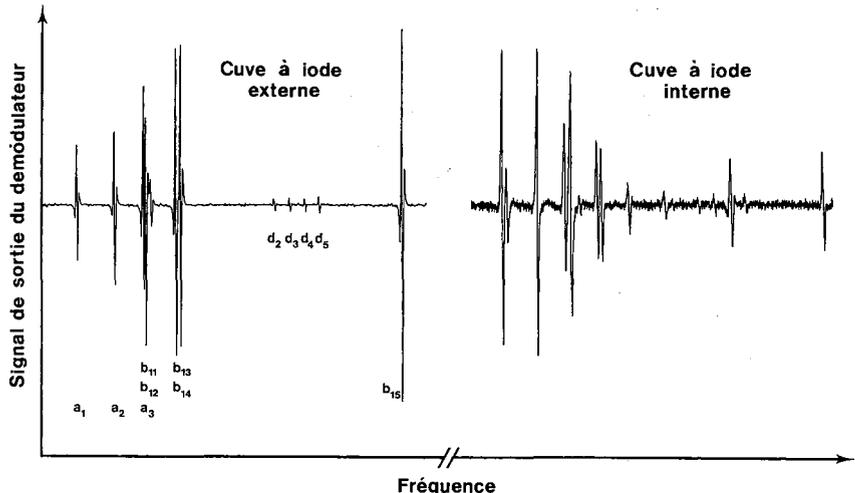


Fig. 1. — Spectres d'absorption saturée (troisième harmonique) de composantes hyperfines des raies P(47) 9-2, P(48) 11-3 et R(48) 15-5 de l'iode 127 à $\lambda = 612$ nm de deux lasers munis de cuves à iode externe (à gauche) et interne (à droite).

2.3.3. Lasers à argon (S. Fredin-Picard, L. Robertsson)

i) Ar⁺ à $\lambda = 502$ nm

Le système expérimental permanent, avec lequel le taux d'impuretés dans les cuves à iode peut être vérifié en utilisant une technique laser de fluorescence induite, a été amélioré. Le faisceau laser est maintenant transmis à l'aide d'une fibre optique et la mesure est commandée à partir d'un ordinateur. Un programme permet le traitement nécessaire du départ de la mesure jusqu'à l'impression finale des résultats. Cette automatisation partielle a été réalisée dans le but de simplifier les mesures pour la comparaison internationale de cuves à iode que nous avons proposée aux laboratoires membres du CCDM.

ii) Ar⁺ à $\lambda = 515$ nm

Pour contrôler et améliorer la stabilité de fréquence de lasers asservis, il est indispensable de posséder au moins deux lasers émettant à la même longueur d'onde. Pour cette raison, nous avons décidé d'acheter un nouveau laser à Ar⁺ et nous avons établi un schéma de principe pour réaliser un deuxième système asservi sur l'iode à $\lambda = 515$ nm, au BIPM. Ce second système comportera les techniques actuelles d'asservissement de la spectroscopie hétérodyne avec un modulateur électro-optique intracavité permettant une réponse très rapide de la contre-réaction. La construction de ce système est en cours et la plus grande partie de l'optique a été montée. La construction de l'électronique d'asservissement est maintenant bien avancée et les premiers signaux de bande latérale provenant d'un interféromètre Perot-Fabry ont été enregistrés.

2.3.4. Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée de l'iode en cuve externe à $\lambda = 543$ nm (J.-M. Chartier, S. Fredin-Picard)

Les décalages de fréquence provenant des effets d'amplitude de modulation et de pression d'iode ont été évalués sur un laser à He-Ne asservi sur l'iode à $\lambda = 543$ nm. Le facteur de modulation et le coefficient de pression d'iode mesurés sont respectivement ($-0,4 \pm 1,8$) kHz/MHz crête à creux et ($-1,3 \pm 4,0$) kHz/Pa. Ces valeurs sont proches de celles obtenues à d'autres longueurs d'onde sur des lasers utilisant aussi une cuve à iode externe.

Un laser asservi, fondé sur le principe de l'égalité de puissance de deux modes à polarisation orthogonale, a été étalonné par rapport à l'un de nos lasers asservis sur l'iode.

La détermination absolue de la longueur d'onde de quelques composantes du spectre de l'iode d'un laser asservi est en cours.

Comme sur le nouveau laser à argon la technique de spectroscopie hétérodyne sera aussi utilisée sur ce laser à He-Ne.

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

Un laser complet à CO₂ comportant le tube laser et le support mécanique a été construit. La plupart des pièces mécaniques ont été réalisées à l'atelier du BIPM, mais le tube laser en pyrex a été fabriqué à l'extérieur. La réalisation de notre premier laser à CO₂ a été effectuée en collaboration étroite avec MM. O. Acef et A. Clairon du LPTF, Paris. Le tube de gain du laser du BIPM diffère très peu du tube prototype du LPTF ; en revanche l'ensemble mécanique a été très sensiblement modifié.

Le laser a une longueur d'environ 1 m et sera ajustable sur plus de 40 raies laser du CO₂. Il sera asservi à l'aide d'une cavité Perot-Fabry contenant du OsO₄. L'objectif initial est de vérifier la stabilité de la puissance et ensuite celle de la fréquence du laser.

2.3.6. Structure hyperfine (S. Fredin-Picard)

Deux programmes ont été écrits en Turbo-Pascal pour les études de structures hyperfines. L'un permet de calculer un spectre hyperfin à partir des constantes hyperfines et avec l'autre, les constantes hyperfines peuvent être calculées à partir des données expérimentales. Le second programme a été utilisé pour calculer ces constantes pour les transitions R(12) 26-0 et R(106) 28-0 dans le système B-X de l'iode.

2.4. Publications, conférences, voyages : section des longueurs

2.4.1. Publications extérieures

- (1) CHARTIER, J.-M., MICHEL, A. et MILLERIOUX, Y. Comparaison des étalons de fréquences à 473 THz entre le BIPM, l'INM et l'ETCA. *Bulletin du BNM*, **21**, 1990, pp. 39-43.
- (2) FREDIN-PICARD, S. et RAZET, A. On the hyperfine structure of ¹²⁷I₂ lines at the 543 nm wavelength of the He-Ne laser. *Optics Communications*, **78**, 1990, pp. 149-152.
- (3) CHARTIER, J.-M., ROBERTSSON, L., SOMMER, M., TSCHIRNICH, J., NAVRATIL, V., GATJA, B., PUCEK, J., BLABLA, J., SMYDKE, J., ZELENY, V., PETRU, F., VESELA, Z., TOMANYICZKA, K., BANRETI, E., ZAKHARENKO, Yu. G. et VITUSHKIN, L. F. Results from an international comparison of iodine-stabilized helium-neon lasers at $\lambda = 633 \text{ nm}$ involving simultaneously seven laboratories. *Metrologia*, **28**, 1991, pp. 19-25.

2.4.2. Rapport BIPM

- (4) FREDIN-PICARD S. On the Hyperfine Structure of Iodine: How to Calculate Hyperfine Transition Energies. *Rapport BIPM-90/5*, mai 1990, 30 pages.

2.4.3. Conférences et exposés

J.-M. Chartier :

— Au BIPM, les 22 et 23 novembre 1989, comme participant au groupe de travail de la 3^e comparaison internationale de gravimètres absolus, il a donné un exposé intitulé : « Results of the frequency determination of the stabilized lasers used in the absolute gravimeters and encountered problems ».

— À la PTB (Braunschweig, Rép. féd. d'Allemagne), les 20 et 21 février 1990, comme invité au groupe de travail de l'EUROMET sur les étalons de longueur d'onde optique, il a donné un exposé intitulé : « International frequency comparisons between I₂ stabilized lasers ».

— Avec L. Robertsson et S. Fredin-Picard, pour la CPEM'90, à Ottawa (Canada) du 11 au 14 juin 1990, ils ont donné un exposé intitulé : « Recent activities at BIPM in the field of stabilized lasers ; radiations recommended for the definition of the metre ».

— À Toulouse du 11 au 14 septembre 1990, il a participé à la 13^e Conférence de la Commission internationale de gravimétrie où il a présenté un exposé intitulé : « Behaviour of stabilized lasers used in absolute gravimeters ».

L. Robertsson :

— À Uppsala (Suède), du 10 au 13 juillet 1990, il a participé à la 22^e conférence EGAS et il a donné un exposé avec J.-M. Chartier intitulé : « Practical results on the frequency stability of iodine stabilized lasers in the visible used as recommended wavelengths ».

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

R. Felder a séjourné au Joint Institute for Laboratory Astrophysics, dans le laboratoire de J. L. Hall (Boulder, É.-U. d'Amérique) d'août 1989 à août 1990.

3. Masse et grandeurs apparentées (G. Girard)

Le travail de la section des masses a porté principalement sur quatre sujets : *a*) la 3^e vérification périodique des prototypes nationaux du kilogramme, *b*) l'étude de la distribution de la température dans la balance à suspensions flexibles, ainsi qu'une courte expérience pour vérifier l'existence d'un curieux effet de variation de masse d'un gyroscope en rotation, *c*) l'étude et la construction d'une enceinte étanche pour la balance Mettler HK 1000 MC et *d*) la 3^e comparaison internationale de gravimètres absolus qui s'est déroulée à la fin de 1989.

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

Dans le cadre de la troisième vérification périodique des prototypes du kilogramme, on a continué à suivre l'évolution relative des masses du prototype international et des prototypes N^{os} 7, 67 et 73, étude entreprise en février 1989 (voir Rapport 1989, p. 39). Les résultats sont indiqués sur la figure 2.

Pendant ces mesures tous les étalons en platine iridié, sauf l'étalon N^o 73, ont été conservés soit dans l'enceinte étanche de la balance, soit sous des cloches en verre. Il n'y a pas lieu de faire de différence entre ces deux méthodes de conservation. Toutefois, on a trouvé, par la suite, que la masse des étalons conservés, non couverts, sous une hotte à flux laminaire dont le filtre ne laisse pas passer de poussières d'un diamètre supérieur à 0,3 μm , augmentait de 3 μg par mois. L'augmentation plus importante de la masse de l'étalon N^o 73, constatée sur la figure 2, pour la période comprise entre le 60^e et le 175^e jour après le nettoyage-lavage, doit être due au fait qu'il est resté sous la hotte, non protégé des fines poussières, durant la moitié environ de cette période. La flèche C sur la figure 2 indique la correction de - 5 μg à apporter à la masse de l'étalon N^o 73 pour tenir compte de l'effet observé. Après cette correction,

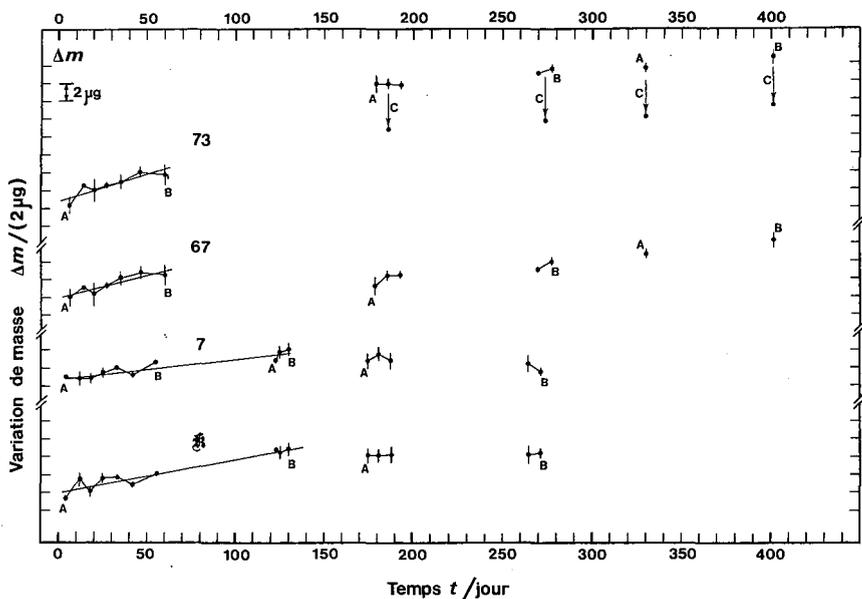


Fig. 2. — Augmentation de masse Δm en fonction du temps t du prototype international et des prototypes N^{os} 7, 67 et 73 après nettoyage et lavage. Les points marqués A et B indiquent le moment où l'étalon a été respectivement placé dans la balance ou retiré de celle-ci ; C est la correction appliquée à la masse du prototype N^o 73 pour tenir compte de l'augmentation supplémentaire de sa masse due au fait qu'il a été conservé, non couvert, sous une hotte à flux laminaire. Les barres verticales représentent l'incertitude de type A sur la valeur de la masse.

l'évolution de la masse de l'étalon N° 73 se rapproche de celle de l'étalon N° 67 tout en restant toujours un peu supérieure. Il faut remarquer que l'étalon N° 67 a été fabriqué en 1982 tandis que l'étalon N° 73 l'a été en 1988 et que nous avons par ailleurs des raisons de penser que la masse des prototypes récemment fabriqués augmente rapidement pendant les deux premières années après leur fabrication.

La vérification des prototypes nationaux proprement dite a débuté avec un premier groupe de dix étalons pris dans l'ordre chronologique de leur arrivée au BIPM. Chaque étalon a d'abord été comparé à deux étalons du BIPM, puis il a été soumis deux fois à un nettoyage et à un lavage suivant la procédure adoptée depuis plus de 40 ans au BIPM. Ces dix étalons nationaux ont été comparés ensuite à deux « témoins » du prototype international. Il va de soi que la date des différentes opérations a été notée de façon à pouvoir calculer ultérieurement la masse des prototypes au jour de leur nettoyage-lavage.

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

La balance Mettler HK 1000 MC, achetée en 1987, a été utilisée pour des déterminations de masse, en particulier celles de deux étalons nationaux en acier inoxydable : N° 23 (Kenya) et N° FN1 (Nigeria). Cette balance a ensuite été échangée par le fabricant contre une autre qui ne devrait plus présenter certains petits défauts. Une enceinte étanche en acier inoxydable dans laquelle on pourra faire le vide a été construite au BIPM pour y placer cette nouvelle balance.

Deux nouveaux prototypes (N°s 75 et 76) ont été réalisés à partir du barreau d'alliage de platine iridié fourni par Johnson Matthey en 1986 et dont on avait déjà tiré le prototype N° 74 (détermination de la masse volumique, fabrication, polissage, ajustage). L'étude de l'évolution de la masse de ces deux nouveaux prototypes a débuté aussitôt après la fin de leur ajustage par des comparaisons avec des étalons de référence avant ou après avoir été soumis à différents modes de nettoyage (aux ultrasons, au mélange alcool-éther et à la vapeur d'eau).

3.3. Balance à suspensions flexibles (T. J. Quinn, A. Picard)

La balance à suspensions flexibles a permis depuis plusieurs années de concentrer nos recherches pour comprendre le mieux possible les facteurs qui limitent la précision des pesées. Des progrès considérables ont été réalisés, grâce aux nombreuses mesures effectuées par C. Speake durant les cinq années et demie qu'il a passées au BIPM.

Depuis octobre 1989, nous avons poursuivi nos efforts afin de réduire les fluctuations de température dans la balance provenant des variations de température dans la salle. Ces modifications de température entraînent des variations de masse dues à l'adsorption et à la désorption largement

dépendantes de la température des couches absorbées sur les surfaces. De pareils changements sont maintenant la principale cause de l'instabilité des pesées. Une cabine isolante a été construite autour de la balance pour tenter de résoudre ce problème ; les premiers résultats ont conduit à une diminution très significative des variations de la température à court terme dans l'enceinte de la balance.

D'autres améliorations ont été réalisées sur la balance :

a) des amortisseurs magnétiques ont remplacé les amortisseurs à air pour supprimer les oscillations des plateaux ;

b) un nouveau fléau a été usiné à l'aide d'une machine à commandes numériques permettant d'obtenir des tolérances très serrées ;

c) de nouvelles suspensions flexibles en cuivre-béryllium ont été fabriquées ;

d) le détecteur optique de position fixé précédemment à l'extrémité du fléau a été remplacé par un détecteur monté verticalement au-dessus du centre du fléau.

La nouvelle position du détecteur a rendu l'asservissement moins sensible aux vibrations du fléau en rotation autour de son axe vertical. Nous croyons que les améliorations apportées concernant la conception actuelle du fléau, les suspensions flexibles, la suspension des plateaux, le détecteur optique et son électronique d'asservissement, sont proches de l'optimum pour réaliser des pesées de très haute précision.

À l'aide de l'expérience acquise sur la balance prototype à suspensions flexibles, des dessins préliminaires ont été réalisés pour concevoir une balance du même genre, entièrement automatique, qui permettrait de comparer huit étalons de masse de 1 kg, dans l'air ou dans le vide.

3.4. Expérience sur le gyroscope (T. J. Quinn, A. Picard)

La balance à suspensions flexibles a été utilisée pour vérifier l'existence d'un prétendu nouvel effet gravitationnel d'après lequel la masse d'un gyroscope en rotation serait décroissante de façon linéaire en fonction de sa vitesse lorsqu'il tourne dans un sens et indépendante de celle-ci lorsqu'il tourne dans l'autre sens. Ce surprenant résultat a été publié dans *Physical Review Letters*, **63**, décembre 1989, pp. 2701-2704.

Tout en étant bien équipés dans le domaine des balances, nous n'avions aucune expérience dans celui des gyroscopes. Notre première réaction à la lecture de l'article de Hayasaka et Takeuchi a été de laisser résoudre ce problème par d'autres mieux placés que nous. Mais le 18 janvier 1990, J. Faller du Joint Institute for Laboratory Astrophysics à Boulder, Colorado (États-Unis d'Amérique) a fait un exposé au BIPM décrivant les pesées d'un gyroscope simple et astucieux ; ses résultats n'ont pas confirmé le comportement anormal cité dans l'article indiqué ci-dessus. Encouragés par cette expérience, nous avons décidé d'effectuer une étude similaire.

Nous avons fait construire un rotor de 330 g en laiton, pouvant tourner, à l'aide de jets d'air, à la vitesse d'environ 1 500 rad/s (14 000 tours par minute) et pouvant être placé sur le plateau de la balance à suspensions flexibles. La masse du gyroscope a été mesurée pendant sa rotation depuis la vitesse maximale jusqu'à l'arrêt. Des changements de masse apparents ont été observés ; ils étaient fonction de la vitesse et du sens de rotation, mais ils étaient seulement de l'ordre de 5 % de ceux avancés par Hayasaka et Takeuchi. Après avoir fait les corrections dues au couple de frottement ralentissant le rotor et aux variations de température, l'effet observé a encore été réduit d'un facteur dix, ce qui le rendait pratiquement non significatif. Le couple de frottement, d'axe vertical, qui ralentit le rotor exerce un couple de torsion sur la suspension du plateau. Celui-ci, à son tour, provoque un petit changement de position du point d'application de la charge à l'extrémité du fléau, ce qui en modifie la longueur effective. Cet effet ne peut être distingué d'un changement de masse de l'objet à peser. Bien que cet effet soit symétrique en fonction du sens de rotation du rotor, l'effet global devient dissymétrique en raison de l'échauffement du gyroscope dû au frottement, échauffement qui agit dans le même sens pour les deux sens de rotation. Notre conclusion est donc que l'effet observé par Hayasaka et Takeuchi n'est pas le résultat d'un nouveau phénomène physique mais est très probablement propre à la balance qu'ils ont utilisée.

3.5. Effets de surface sur les étalons en platine iridié (T.J. Quinn, G. Girard, A. Picard)

Pour commencer notre étude des effets de surface sur les étalons en platine iridié, nous avons fabriqué un étalon spécial de 1 kg ayant une surface double de celle d'un prototype. Cet étalon est constitué de quatre disques séparés les uns des autres par des billes en acier inoxydable logées dans des « V » creusés dans les disques. Ceux-ci ont un diamètre de 39 mm et sont polis à l'outil au diamant ; leur masse est comprise entre 183 et 296 g. Nous espérons que cet étalon composite se comportera de la même manière qu'un prototype normal en tous points, sauf en ce qui concerne les effets de surface pour lesquels il est deux fois plus sensible.

3.6. Lames flexibles en monocristal de silicium (T.J. Quinn, A. Picard, C. Speake *)

Bien que l'anélasticité du cuivre-béryllium ne soit pas jusqu'à présent un facteur limitatif dans la performance de la balance à suspensions

* Cavendish Laboratory, Cambridge (Royaume-Uni).

flexibles, elle demeure une contrainte non négligeable dans la conception d'une balance de haute précision. Nous avons mentionné en 1987 (*voir Rapport 1987*, p. 43) que nous envisagions la possibilité d'utiliser un monocristal de silicium. L'an dernier (*voir Rapport 1989*, p. 44), nous avons signalé que nous possédions un montage permettant de charger une lame flexible en silicium sans la casser. L'élément flexible a 10 μm d'épaisseur, 2 mm de hauteur et 40 mm de largeur ; à cause de ses dimensions il est très cassant mais demeure néanmoins résistant. Pendant son séjour au JILA en 1989, C. Speake a réalisé un pendule vertical fixé sur une lame flexible en silicium. Ce pendule, actuellement au BIPM, est monté dans une enceinte à vide, prêt pour des mesures d'anélasticité.

3.7. Gravimétrie (A. Sakuma)

La troisième comparaison internationale de gravimètres absolus s'est déroulée au BIPM sous les auspices de l'Association internationale de géodésie du 15 novembre au 4 décembre 1989. Les gravimètres absolus venaient d'Autriche, du BIPM, du Canada, des États-Unis d'Amérique, de la Finlande, de l'Italie, du Japon, de la République fédérale d'Allemagne, de la République populaire de Chine et de l'URSS. Les deux périodes durant lesquelles les mesures ont été effectuées ont été séparées par la semaine du 22 au 27 novembre durant laquelle des mesures relatives ont été réalisées entre les différentes stations absolues avec des gravimètres relatifs provenant de sept laboratoires. Une réunion de deux jours sur la gravimétrie a eu lieu aussi pendant la semaine intermédiaire.

Durant les mesures absolues, la fréquence du laser de chaque gravimètre a été mesurée par la section des lasers du BIPM. Un laser asservi sur l'iode appartenant au BIPM a été placé tour à tour près de chaque gravimètre absolu et la fréquence de battement entre les deux lasers a été mesurée. Cette opération a été entreprise parce qu'au cours de la deuxième comparaison internationale de gravimètres absolus, en 1985, des doutes avaient été exprimés sur l'exactitude de la fréquence de certains lasers. Il ressort des mesures de fréquence faites au cours de cette troisième comparaison, que la méthode utilisée pour la stabilisation de la fréquence de certains lasers ne peut garantir une exactitude meilleure que quelques 10^{-8} . Ce n'est pas suffisant si l'on veut exploiter au maximum les possibilités de ces gravimètres.

Les résultats de cette comparaison seront discutés au cours d'une réunion de la Commission gravimétrique internationale qui se tiendra en septembre 1990.

3.8. Publications, conférences, voyages : section des masses

3.8.1. Publications extérieures

- (1) QUINN T. J. et PICARD A. The mass of spinning rotors : no dependence on speed or sense of rotation. *Nature*, **343**, 1990, pp. 732-735.
- (2) SPEAKE C. C. et NEWELL D. B. The design and application of a novel high-frequency tiltmeter. *Rev. Sci. Instrum.*, **61**, 1990, pp. 1500-1503.

3.8.2. Conférences et exposés

T. J. Quinn a participé à la CPEM'90 à Ottawa (Canada) du 11 au 15 juin 1990, où il a présenté un exposé intitulé « The kilogram : the present state of our knowledge ».

4. Temps (B. Guinot)

4.1. Les activités de la section du temps en 1990

Les échelles de temps TAI et UTC ont été régulièrement établies et disséminées par les méthodes habituelles. Mais par delà cet aspect immuable de notre travail, qui requiert la participation de tous les membres de la section, de nombreuses études visant à l'amélioration des résultats ont été entreprises. Ces études sont résumées ci-après.

Une fois de plus, nous devons déplorer le fait que l'exactitude de l'unité d'échelle du TAI repose presque entièrement sur les données d'un seul laboratoire, la PTB, où les étalons primaires sont bien plus exacts qu'ailleurs. On observe que la fréquence du TAI a tendance à décroître par rapport à la fréquence des étalons de la PTB. Cette tendance a donné lieu à des corrections de « pilotage » de 5×10^{-15} (en valeur normée) en deux occasions.

4.2. Algorithmes pour échelles de temps (C. Thomas, P. Tavella *, M. Weiss *)

L'établissement d'algorithmes pour échelles de temps est toujours un problème sans solution générale. La prédiction des marches d'horloges, la pondération, la détection des anomalies de fonctionnement sont des facteurs-clés, mais ces facteurs interviennent différemment selon le retard acceptable pour produire l'échelle de temps, le domaine de stabilité optimale, etc. Il n'y a pas d'algorithme optimal au sens large. Mais il est important de comprendre le mécanisme des divers algorithmes, parfois caché par l'aspect mathématique, afin d'obtenir le meilleur algorithme pour un objectif particulier.

* Stagiaire.

Une comparaison de l'algorithme du NIST, utilisé pour établir l'échelle AT1, et de l'algorithme ALGOS du BIPM a montré que ces deux algorithmes reposent sur les mêmes idées fondamentales, mais qu'ils présentent des différences dans le mode de prédiction de fréquence et dans la pondération, différences exigées par leurs buts spécifiques.

La poursuite de recherches sur le filtre de Kalman a montré qu'il n'est pas possible de concevoir un algorithme fondé seulement sur ce filtre et qui serait optimisé pour l'exactitude. La raison mathématique en est que les erreurs des corrections de temps qui permettent d'accéder à l'échelle de temps sont divergentes.

Une étude des corrélations entre les horloges qui contribuent au TAI a été demandée par le CCDS lors de sa 11^e session. De telles corrélations peuvent avoir des origines évidentes comme le bruit des comparaisons de temps ou le bruit du TAI lui-même, mais la cause principale des corrélations réelles est le changement de l'environnement des horloges, tout particulièrement les variations d'humidité relative [1].

Afin d'étudier le rôle de la limite supérieure des poids dans ALGOS, les lectures de 200 horloges ont été simulées afin de mettre à l'épreuve l'algorithme sur de très longues périodes. Avec des horloges de qualité inégale, la distribution dans les classes de poids faibles est identique, que l'on utilise ou non une limite supérieure des poids. Cependant l'emploi d'une limite supérieure améliore la stabilité. Avec des horloges de qualité égale, il apparaît des anomalies qui peuvent être dues à la corrélation d'horloges individuelles avec l'échelle de temps à laquelle elles participent.

4.3. Liaisons horaires (B. Guinot, W. Lewandowski, C. Thomas, M. Weiss)

Dans le domaine des liaisons horaires, notre activité a été dominée par l'amélioration des comparaisons par le GPS. De plus, nous avons participé à la coordination des comparaisons horaires par aller et retour et nous avons entrepris quelques travaux sur le GLONASS.

4.3.1. Global Positioning System

L'exactitude potentielle des comparaisons horaires par le GPS est telle que les incertitudes devraient être bien inférieures à 1 ns [2], même avec l'accès sélectif (Selective Availability, SA) appliqué aux satellites du bloc II. Mais pour atteindre une telle exactitude, de nombreuses améliorations sont nécessaires. Nous étudions ces problèmes en liaison avec les laboratoires nationaux.

À présent, il y a encore un nombre suffisant de satellites du bloc I qui ne sont pas affectés par l'accès sélectif et qui permettent les comparaisons selon les méthodes traditionnelles. Mais les manœuvres entreprises pour optimiser la constellation des satellites entraînent des difficultés pratiques pour établir les programmes de poursuite.

L'amélioration des coordonnées d'antennes a été poursuivie. Pour 12 laboratoires en Europe, 4 en Amérique du Nord, 1 au Proche-Orient et 6 en Extrême-Orient, nous avons produit une table de corrections permettant d'exprimer les coordonnées dans le repère de référence ITRF88 de l'IERS. À la suite de notre proposition, ces coordonnées ont été adoptées et elles sont utilisées depuis le 12 juin 1990. Ceci devrait améliorer significativement l'exactitude et l'homogénéité des comparaisons horaires.

Des éphémérides précises de la Defense Mapping Agency (États-Unis d'Amérique) sont maintenant reçues régulièrement par le BIPM. Leur utilisation a été essayée [3] et parfois trouvée utile, même sans l'accès sélectif. Cependant, elles ne peuvent pas être employées dans le travail courant parce qu'elles arrivent trop tard et parce que les éphémérides radiodiffusées ne sont pas enregistrées. Le logiciel du récepteur du BIPM est en cours de modification pour surmonter cette dernière difficulté.

Les valeurs mesurées des retards dus à l'ionosphère ont été appliquées à un mois de données du GPS (janvier 1990), pour trois liaisons à grande distance, entre l'Observatoire de Paris, le NIST et le CRL, ces laboratoires étant pourvus de récepteurs à deux fréquences, sans décodage, des types du CRL et du NIST. En apparence, les comparaisons de temps journalières ne sont pas toujours améliorées, mais l'erreur de fermeture autour de la Terre est grandement réduite, ce qui montre que l'exactitude est en réalité meilleure [4]. Depuis novembre 1989, les retards ionosphériques mesurés sont utilisés dans le travail courant pour la liaison OP-TAO.

Nous avons comparé les mesures ionosphériques obtenues avec deux types de récepteurs à double fréquence : type du CRL au BIPM, du NIST à l'OP [14]. Un bon accord a été trouvé, mais avec un écart constant de quelques nanosecondes (avec un écart-type de 2 ns). Cela peut résulter des interférences dues à des trajets multiples qui sont clairement visibles. Nous avons aussi montré que la durée de 15 minutes sur laquelle se fait la moyenne, durée normale de poursuite pour les comparaisons horaires internationales, correspond à la meilleure stabilité pour les deux récepteurs.

Une sensibilité inattendue de certains récepteurs du GPS à la température extérieure a été découverte. Cet effet dépend de la longueur et du type du câble d'antenne. Le constructeur en a été informé.

4.3.2. GLONASS (B. Guinot, W. Lewandowski)

En URSS, le GLONASS est l'équivalent du GPS. Avec l'approbation du VNIIFTRI, nous avons commencé à publier dans la circulaire T du BIPM, en juin 1990, des valeurs de UTC - temps du GLONASS fournies par le Prof. P. Daly de l'Université de Leeds (Royaume-Uni). Des informations supplémentaires sont nécessaires pour relier le temps

du GLONASS à UTC(SU). Des discussions avec le Prof. Daly et les autorités compétentes en URSS sont en cours. D'autre part, nous avons mis au point des logiciels pour établir des programmes de poursuite des satellites du GLONASS.

4.4. Définition du TAI et d'échelles de temps dans l'univers (B. Guinot)

L'Union astronomique internationale (UAI) a établi un groupe de travail sur les systèmes de référence (WGRS), avec quatre sous-groupes, dont un sur le temps (SGT) sous la conduite de B. Guinot.

Après des discussions préliminaires, il est apparu que la tâche la plus importante de ce groupe de travail est de donner des définitions cohérentes des systèmes de coordonnées pour l'espace-temps dans les théories relativistes, avec des constantes numériques associées. Pour des raisons pratiques, il n'est pas possible de couvrir l'univers entier, ou seulement même le système solaire, avec un système unique de coordonnées. En particulier, des systèmes ayant leurs origines au centre des masses de la Terre et du système solaire doivent être établis avec les transformations de coordonnées correspondantes. Il apparaît une tendance, chez les astronomes, à considérer que ces transformations de coordonnées ne devraient pas inclure de transformation d'échelle des unités. Ainsi, le SI pourrait être étendu à tout l'univers. Une conséquence, cependant, serait que les divers temps-coordonnées divergeraient, ce qui serait en contradiction avec des décisions antérieures de l'UAI.

Une autre tendance est de considérer qu'un temps terrestre idéal devrait être défini, sa réalisation pratique étant le TAI. La définition du TAI donnée par le CCDS en 1980 est habituellement jugée satisfaisante parce que, pour des horloges sur le sol, elle est valable jusqu'à une exactitude de fréquence normée d'au moins 10^{-16} . Mais comme le domaine spatial du temps terrestre devrait s'étendre jusqu'à la distance de la Lune, une définition plus rigoureuse risque d'être nécessaire.

Les conclusions du groupe de travail sur les systèmes de référence doivent être connues en août 1991.

4.5. Pulsars (G. Petit, B. Guinot)

Les pulsars à la milliseconde sont des objets galactiques qui présentent une période de rotation très stable, de sorte qu'ils sont parfois considérés comme des rivaux possibles des horloges atomiques. Il apparaît cependant que les pulsars seuls ne peuvent pas engendrer une échelle de temps uniforme car le taux de variation de leur période ne peut s'obtenir qu'avec l'aide d'horloges atomiques. Cependant, des simulations ont montré que les pulsars pourront aider à contrôler les instabilités à très long terme du TAI, quand des données s'étendant sur un plus grand nombre d'années seront disponibles [5].

4.6. Autres activités

4.6.1. Installation d'une horloge à césium (C. Thomas)

Une horloge commerciale à césium, prêtée par l'USNO, a été installée au BIPM en avril 1990. Le récepteur du GPS appartenant au BIPM a été transféré de l'OP au BIPM.

4.6.2. Séminaire De Marchi (C. Thomas)

Un séminaire d'une journée, donné par le Prof. A. De Marchi (Université d'Ancone, Italie) sur le sujet « Techniques pour l'amélioration de la stabilité à long terme des horloges commerciales à césium », a été organisé au BIPM le 6 février 1990. Il a été suivi par 45 participants venant de laboratoires européens.

4.6.3. Interférométrie à très longue base sur pulsars à la milliseconde (G. Petit)

L'interférométrie à très longue base (VLBI) est l'une des applications les plus exigeantes des horloges atomiques. Elle a aussi la possibilité de fournir des comparaisons de temps ultra-exactes, dans le domaine de 10 à 100 ps. Le savoir-faire de la section a été maintenu par la participation de l'un d'entre nous au positionnement de pulsars par VLBI [6], [13].

4.7. Publications, conférences, voyages : section du temps

4.7.1. Publications extérieures

- (1) TAVELLA, P. et THOMAS, C. Study of the correlations among the frequency changes of the contributing clocks to TAI. *Proc. 4th European Freq. and Time Forum*, 1990, pp. 527-541.
- (2) GUINOT, B., LEWANDOWSKI, W. et THOMAS, C. A review of recent advances in GPS time comparisons. *Proc. 4th European Freq. and Time Forum*, 1990, pp. 307-312.
- (3) LEWANDOWSKI, W. et WEISS, M. A. Precise ephemerides for GPS time transfer. *Proc. 21st PTTI meeting*, 1989, pp. 95-106.
- (4) WEISS, M. A., WEISSERT, T., THOMAS, C., IMAE, M. et DAVIES, K. The use of ionospheric data in GPS time transfer. *Proc. 4th European Freq. and Time Forum*, 1990, pp. 327-333.
- (5) GUINOT, B. et PETIT, G. Atomic Time and Pulsar Time. *Proc. Berkeley Workshop on Impact of Pulsar Timing on Relativity and Cosmology*, 7-9 juin, 1990, pp. C1-C11.
- (6) PETIT, G. VLBI observations of millisecond pulsars for milliarcsecond astrometry. *Proc. Berkeley Workshop on Impact of Pulsar Timing on Relativity and Cosmology*, 7-9 juin 1990, pp. W1-W9.

- (7) GUINOT, B. L'origine non-tournante et la définition du Temps universel. Actes des journées 1990 « Systèmes de référence », 1990, pp. 139-144.
- (8) GUINOT, B. Le rôle d'André Danjon dans la mesure du temps. Actes des journées 1990 « Systèmes de référence », 1990, pp. 131-136.
- (9) GUINOT, B. Navigation et mesure du temps. Académie de Marine, *Communications et Mémoires*, 1990, pp. 5-24.
- (10) GUINOT, B. Time transfers by GPS. *Cahiers du Centre europ. de Géodynamique et Séismologie*, **2**, 1990, pp. 325-334.
- (11) GUINOT, B. Le Bureau International de l'Heure, de 1911 à 1964 : le temps astronomique et la naissance du temps atomique. Cérémonie sur le BIH, novembre 1988, *Navigation*, **151**, 1990, pp. 371-383.
- (12) PETIT, G. The use of millisecond pulsars to link celestial reference frames. Actes des journées 1990 « Systèmes de référence », 1990, pp. 293-298.
- (13) PETIT, G., FAYARD, T. et LESTRADE, J.-F. A method to enhance the cross correlation of millisecond-pulsar VLBI data : observations of PSR 1937 + 214. *Astron. Astrophys.*, **231**, 1990, pp. 581-587.

4.7.2. Rapport

- (14) WEISS, M. A. et THOMAS, C. A study of data from two GPS ionospheric calibrators, *BIPM Rapport annuel de la Section du temps*, **2**, 1990, partie D.

4.7.3. Conférences et exposés

C. Thomas a assisté à la 25^e réunion du PTTI du 28 novembre au 1^{er} décembre 1990, où elle a présenté un « poster » intitulé « Improvement of time comparisons results by using GPS dual frequency codeless receivers measuring ionospheric delay ».

W. Lewandowski a participé aux réunions du Civil GPS Service Steering Committee à Tysons Corner (États-Unis d'Amérique), le 5 décembre 1989, le 6 mars 1990 et les 5 et 6 juin 1990. Il a fait des exposés sur l'emploi des éphémérides précises pour les transferts de temps par le GPS, sur le repère de référence terrestre et sur les coordonnées des récepteurs du GPS.

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

B. Guinot s'est rendu :

— à Munich (Rép. féd. d'Allemagne) le 2 novembre 1989, pour participer à une réunion du conseil scientifique du Forum européen temps et fréquence,

— à Strasbourg (France) les 25 et 26 juin 1990, pour participer à une réunion de l'Academia Europaea.

C. Thomas s'est rendue :

— à Redondo Beach (États-Unis d'Amérique) le 27 novembre 1989, pour assister aux Precise Timing Tutorials,

— à Grasse (France) le 17 mai 1990, pour participer à une session LASSO à l'Observatoire de la Côte d'Azur (CERGA).

B. Guinot et W. Lewandowski ont visité l'Université de Leeds, Leeds (Royaume-Uni) le 4 mai 1990, pour des discussions avec le Prof. P. Daly sur le GLONASS.

W. Lewandowski s'est rendu :

— à Redondo Beach (États-Unis d'Amérique) le 30 novembre 1989 et Neuchâtel (Suisse) le 12 mars 1990, pour participer à des réunions du LASSO Operations Coordination Group,

— à Rockville et Washington (États-Unis d'Amérique) le 5 mars 1990, afin d'avoir des discussions avec W. Strange (National Geodetic Survey) et M. Miranian (USNO) sur les coordonnées géodésiques.

5. Électricité (T. J. Witt)

5.1. Travaux de la section d'électricité en 1990

Le 1^{er} janvier 1990 marque le début de la mise en œuvre de nouveaux étalons de potentiel et de résistance électriques fondés sur l'effet Josephson et l'effet Hall quantique [Recommandations 1 (CI-1988) et 2 (CI-1988) du CIPM], et l'utilisation de la nouvelle échelle de température EIT-90 [Recommandation 5 (CI-1989) du CIPM]. Nous confirmons les changements discontinus des étalons de référence du BIPM donnés par les deux équations suivantes :

$$V_{76-BI} = 1 \text{ V} - 8,06 \text{ } \mu\text{V}$$

et, au 1^{er} janvier 1990

$$\Omega_{69-BI} = 1 \text{ } \Omega - 1,90 \text{ } \mu\Omega.$$

Parmi les points marquants des activités de cette année se trouvent les améliorations des mesures de l'effet Josephson et de l'effet Hall quantique et la préparation de la comparaison internationale des étalons de résistance de 1 Ω et 10 k Ω . Des résultats très prometteurs ont été obtenus lors des premiers essais faits sur des échantillons d'un lot obtenu commercialement d'environ 500 échantillons d'arséniure de gallium, préparés spécialement pour une utilisation métrologique, pour obtenir la résistance de Hall quantifiée.

5.2. Potentiel électrique

5.2.1. Effet Josephson (D. Reymann)

Le nouvel étalon de transfert [voir le paragraphe 5.6.3] utilisé maintenant pour les mesures de l'effet Josephson nous permet d'atteindre une incertitude de 0,6 nV sur la détermination de la force électromotrice de nos meilleures piles étalons. Cet étalon est constitué d'une source de courant de 2 mA produisant une différence de potentiel de référence d'environ 1 volt aux bornes d'une résistance de 500 Ω . Stabilisée à l'aide d'une pile au mercure, cette différence de potentiel présente une dérive linéaire constante d'environ 2 nV par minute; le bruit thermique est celui de l'impédance de source, 125 Ω . La figure 3, où la différence de potentiel de référence est comparée à la tension aux bornes du réseau de jonctions, donne une idée de la petitesse de la dérive et du bruit.

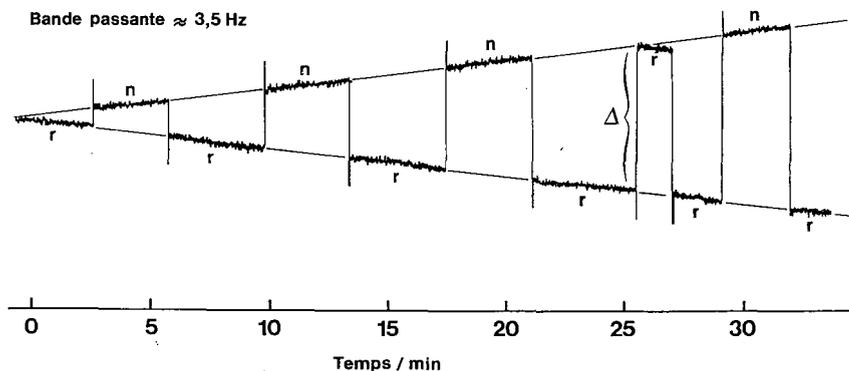


Fig. 3. — Enregistrement des déviations du détecteur mesurant en position normale (n) ou inverse (r) la différence de potentiel entre le réseau de jonctions et l'étalon de transfert. Le signal d'étalonnage Δ correspond au changement de la tension aux bornes du réseau dû à une variation relative de la fréquence des micro-ondes de $1,2 \times 10^{-7}$.

Nous continuons à utiliser un groupe de quatre piles pour maintenir un étalon de référence pendant les périodes séparant les mesures de l'effet Josephson. La facilité et la rapidité des mesures faites avec le réseau et l'étalon de transfert nous permettent maintenant de mesurer couramment chaque pile individuellement et de déterminer la force électromotrice moyenne du groupe avec un écart-type de 0,5 nV; ceci est équivalent à une incertitude de 10 μ K sur la température des piles.

5.2.2. Progrès dans les mesures des étalons électroniques de tension continue de 10 V

Les mesures des étalons de référence de 10 V au moyen du comparateur de tensions de 1,018 V à 10 V (*Rapport BIPM-89/8*) se font maintenant de façon courante. L'étalonnage du comparateur et le procédé de mesure ont été améliorés. L'incertitude relative totale des mesures d'un étalon de 10 V est maintenant inférieure à 3×10^{-8} .

5.3. Résistance électrique

5.3.1. Effet Hall quantique (F. Delahaye)

Un nouveau comparateur cryogénique de courant (CCC), ayant une meilleure stabilité dimensionnelle et des enroulements comportant davantage de spires, a été construit et incorporé dans le pont utilisé pour comparer la résistance de Hall quantifiée (RHQ) à une résistance étalon de $100\ \Omega$. Le détecteur de zéro utilisé dans le pont est le nanovoltmètre à SQUID construit l'année dernière et décrit dans le Rapport du directeur pour 1988-1989. Grâce au nanovoltmètre à SQUID (Fig. 4), nous avons pu observer clairement, probablement pour la première fois, le bruit thermique dans la résistance à deux bornes d'échantillons de Hall en régime quantifié pour la gamme de température de $1,3\ \text{K}$ à $4,2\ \text{K}$ (voir le paragraphe 5.6.3). Avec le nouveau CCC et le nanovoltmètre à SQUID, la mesure du rapport de la RHQ à une résistance de $100\ \Omega$ est réalisée couramment avec un écart-type de 2×10^{-9} en valeur relative, pour une durée d'observation de seulement 15 minutes et pour un courant de $40\ \mu\text{A}$ parcourant l'échantillon de Hall.

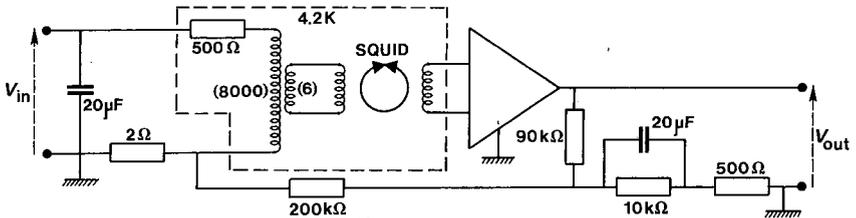


Fig. 4. — Le nanovoltmètre à SQUID. Les composants cryogéniques sont ceux situés à l'intérieur du contour en tireté. Le rapport de la tension de sortie à la tension d'entrée, V_{out}/V_{in} , est égal à 10^6 .

Cette année nous avons fait un effort particulier afin de résoudre le problème de la disponibilité d'un nombre suffisamment grand d'hétérojonctions AlGaAs/GaAs de haute qualité, optimisées pour les mesures de la RHQ. Le BIPM, en collaboration avec le LCIE (Fontenay-aux-Roses), a commandé aux Laboratoires d'Électronique Philips (Limeil-Brévannes) un lot d'hétérojonctions ayant des caractéristiques spécifiées. Le processus de fabrication s'est déroulé de façon satisfaisante et 500 hétérojonctions environ, provenant d'une même plaquette et munies de huit plots de contact, nous ont été livrées en mars 1990. Cinq de ces échantillons ont été montés, en utilisant la soudeuse à ultrasons disponible au LCIE, et essayés au BIPM. Les résultats métrologiques ont été excellents, la seule imperfection détectée étant une paire de contacts défectueuse sur l'un des échantillons. Nous sommes donc raisonnablement optimistes en ce qui concerne la qualité globale de

l'ensemble du lot. Nous nous proposons de mettre prochainement ces échantillons à la disposition des laboratoires intéressés, pour un prix correspondant au coût de fabrication et de montage.

5.3.2. Préparation de la comparaison internationale de 1990 d'étalons de 1 Ω et 10 k Ω

Dix-sept laboratoires nationaux doivent envoyer quelque 90 étalons au BIPM avant le 14 septembre 1990 pour participer à la comparaison internationale d'étalons de 1 Ω et de 10 k Ω de 1990. Un pont de Warshawsky entièrement automatique pour la comparaison d'étalons de résistance de 10 k Ω a été assemblé et essayé. Un micro-calculateur, qui contrôle les commutations et assure l'acquisition, le traitement et l'enregistrement des données, permet la comparaison automatique d'un jeu de douze étalons. La séquence de mesure comprend l'évaluation de la température de chaque résistance. Des mesures comparatives réalisées avec un comparateur potentiométrique de résistance ont montré que l'accord relatif entre les deux dispositifs était meilleur que 1×10^{-8} .

Une enceinte thermorégulée de grande taille, pouvant contenir jusqu'à dix étalons de 10 k Ω a été construite. Elle sera utilisée pour des étalons du type ESI SR 104, qui ne peuvent être utilisés dans un bain d'huile. Un régulateur de température commande des éléments à effet Peltier et permet de maintenir une température de 20 °C à $\pm 0,1$ °C près.

La mesure des étalons de 1 Ω sera réalisée à l'aide d'un pont à CCC, suivant la même méthode que celle utilisée lors de la comparaison de 1987.

5.4. Étude de l'effet Josephson dans $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-8}$

En cherchant à augmenter la tension de sortie des jonctions en constriction de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-8}$, nous avons étudié les caractéristiques courant-tension en continu de circuits à simple et double constriction. Quelques échantillons présentent un comportement que l'on peut interpréter à l'aide d'un modèle où les circuits sont de simples réseaux de plusieurs jonctions Josephson élémentaires. En plus de ces études, nous avons également observé la réponse des marches à tension nulle et d'ordre faible à la puissance des micro-ondes dans la bande de 8 à 18 GHz. Dans le régime où la fréquence appliquée est suffisamment élevée, et à des températures proches de la température critique, nous avons trouvé une méthode particulièrement simple pour déterminer la valeur du courant des micro-ondes [1].

5.5. Comparaisons et étalonnages courants

Deux laboratoires nationaux, le VNIIM et l'IEN, qui ont récemment mis au point les dispositifs pour mesurer la RHQ et qui participeront à la comparaison internationale, ont demandé au BIPM de faire des

comparaisons bilatérales rapides d'étalons de 1Ω afin de vérifier leurs nouveaux équipements. On peut exprimer les résultats comme la différence entre les valeurs attribuées à une résistance de 1Ω . Pour le VNIIM :

$$R_{\text{BI}} - R_{\text{VNIIM}} = 0,08 \mu\Omega \pm 0,05 \mu\Omega$$

où l'incertitude comprend les incertitudes de type A et de type B combinées pour les deux laboratoires. De même, pour l'IEN, on obtient :

$$R_{\text{BI}} - R_{\text{IEN}} = - 0,135 \mu\Omega \pm 0,09 \mu\Omega$$

où une incertitude supplémentaire de $0,065 \mu\Omega$ a été ajoutée en quadrature, pour tenir compte de l'instabilité des étalons voyageurs de l'IEN.

Cette année, les étalonnages courants ont porté sur : des piles en enceinte thermorégulée appartenant à la Norvège, l'Égypte, la Tchécoslovaquie et l'Irak ; des piles nues appartenant à la Bulgarie ; des étalons à diode de Zener de $1,018 \text{ V}$ et 10 V appartenant aux Pays-Bas, à l'Afrique du Sud, la Finlande, la Belgique, l'Irlande et au Portugal ; des résistances de 1Ω appartenant à l'Égypte, la Bulgarie, la République pop. dém. de Corée, la République de Corée et l'Espagne ; des résistances de 10Ω appartenant à la Belgique, la Bulgarie, la République de Corée et l'Espagne.

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

5.6.1. Publications extérieures

- (1) WITT, T. J. RF modulation of current steps in Josephson junctions in YBaCuO constrictions. *Physica B*, **165-166**, 1990, pp. 1611-1612.
- (2) WITT, T. J. The new international standard of electromotive force and resistance based on the Josephson effect and the quantum Hall effect. In Congrès International de Métrologie, Association française pour la qualité, 1989, pp. 148-152.
- (3) WITT, T. J. Background to the changes in the representations of the volt and the ohm implemented on January 1, 1990. *De la Metrologia*, **2**, 1990, pp. 15,1-1 à 15,1-7.

5.6.2. Rapport BIPM

- (4) DELAHAYE, F. Un diviseur résistif pour la mesure de la sortie à 10 V des références de tension électroniques à diodes de Zener. *Rapport BIPM-89/8*, décembre 1989, 10 pages.

5.6.3. Conférences et exposés

T. J. Witt a donné un exposé à « Metrologia » Ixtapa (Mexique), 7-11 mai 1990, intitulé « Background to the changes in representations of the volt and the ohm that came into effect on 1 January 1990 ».

T. J. Witt, D. Reymann et D. Avrons ont présenté un « poster » à la CPEM'90 intitulé « An accurate 10 k Ω resistance standard » (voir *CPEM'90 Digest*, 1990, pp. 129-130).

D. Reymann a présenté un « poster » à la CPEM'90 intitulé « A practical device for 1 nV accuracy measurements with Josephson arrays » (voir *CPEM'90 Digest*, 1990, pp. 131-132).

F. Delahaye a donné un exposé à la CPEM'90 intitulé « Low-noise measurements of the quantized-Hall resistance using an improved cryogenic current-comparator bridge » (voir *CPEM'90 Digest*, 1990, pp. 304-305).

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

T. J. Witt s'est rendu :

— à l'OFMET, Wabern (Suisse), les 27 et 28 novembre 1989, où il a assisté à la réunion des correspondants en électricité d'EUROMET et visité les laboratoires,

— au NIST, Gaithersburg (É.-U. d'Amérique), les 14 et 15 mai 1990,

— au LCIE, Fontenay-aux-Roses, le 25 septembre 1990 (EUROMET).

F. Delahaye a assisté à la réunion des experts sur l'effet Hall quantique d'EUROMET au VSL, Delft (Pays-Bas), les 23 et 24 avril 1990.

F. Delahaye et D. Reymann ont visité le NRC, Ottawa (Canada), à l'occasion de la CPEM'90, le 15 juin 1990.

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

6.1. Radiométrie (R. Köhler)

On a poursuivi l'étude entreprise sur la méthode d'auto-étalonnage des photodiodes. La répétabilité des mesures a été améliorée, en apportant des modifications à l'optique et à l'électronique du dispositif de mesure. La stabilité, au point de mesure, du flux énergétique transporté par le faisceau optique est de l'ordre de 0,01 % pour des périodes de 1 heure ou plus.

Au total, 40 photodiodes au silicium provenant de trois fournisseurs différents ont été étalonnées par auto-étalonnage, puis des comparaisons ont été effectuées avec un récepteur absolu (Quantum Efficiency Detector QED-200). Pour la plupart des photodiodes, ces deux étalonnages sont en accord à mieux que 0,3 % à la longueur d'onde de 476,2 nm. Toutefois, pour plusieurs des photodiodes utilisées régulièrement au BIPM au cours des deux années écoulées, l'accord est moins bon que pour les photodiodes récemment acquises. L'étude de l'effet dû au vieillissement est en cours.

La théorie de l'auto-étalonnage a été reconsidérée et une relation générale a été établie. Un logiciel de modélisation d'un semi-conducteur (PC-1D) a été utilisé pour vérifier cette relation et pour modéliser l'influence de l'oxyde conformément à l'expérience.

Diverses mesures concernant l'emploi des photodiodes comme récepteurs absolus ont été réalisées. L'uniformité de la sensibilité locale de la surface active a été contrôlée pour différentes longueurs d'onde. Le facteur de réflexion diffuse a été étudié par de nouvelles méthodes. Actuellement, une série de mesures est en cours pour évaluer les problèmes de qualité de surface et de nettoyage des surfaces avant étalonnage. On a montré que la surface adsorbe de la vapeur d'eau, ce qui entraîne une modification de la réflectivité et, par suite, de la sensibilité des photodiodes. Ce résultat a été confirmé par modélisation des propriétés de surface.

Finalement, un récepteur « noir » formé de quatre photodiodes a été construit et comparé à un récepteur commercial fonctionnant sur le même principe (QED-200). Les réponses des deux instruments sont en accord à 0,1 % près.

En vue de futures comparaisons de lampes étalons d'éclairement énergétique spectral, le monochromateur a été modifié ; il peut maintenant être complètement piloté par un micro-ordinateur. L'appareil a été étalonné en longueur d'onde à douze radiations différentes allant de l'ultraviolet au proche infrarouge fournies par un laser à krypton et un laser à He-Ne. Une étude est en cours sur un dispositif expérimental utilisant simultanément deux modulations à deux fréquences différentes et deux détecteurs synchrones, avec lequel nous espérons obtenir une très bonne stabilité à long terme lors de l'exploration spectrale des lampes étalons.

6.2. Photométrie

Des discussions sont en cours avec une petite entreprise française susceptible de fabriquer de meilleures lampes photométriques. Le succès de ce projet repose sur la fourniture de lampes de qualité satisfaisante à un prix raisonnable.

6.3. Thermométrie (J. Bonhoure)

L'EIT-90, qui est entrée en vigueur le 1^{er} janvier 1990, comporte un domaine de température très important et simple à réaliser, celui allant de 0 °C à 30 °C. Les températures y sont définies au moyen du thermomètre à résistance de platine étalonné à deux points fixes, le point triple de l'eau et le point de fusion du gallium, en utilisant une formule d'interpolation spécifiée.

L'introduction de l'EIT-90 et le désir de satisfaire les diverses sections du BIPM en étalonnages très exacts de thermomètres à résistance de platine dans l'EIT-90, au voisinage de la température ambiante, nous ont donné l'occasion de remettre en service et d'améliorer les installations thermométriques qui avaient été mises en sommeil en 1986.

6.4. Études courantes

Des lampes étalons d'intensité lumineuse et de flux lumineux ont été étalonnées pour les laboratoires nationaux de Bulgarie, Pologne, URSS et Yougoslavie.

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

6.5.1. Publications extérieures

- (1) KÖHLER, R., LUTHER, J. et GEIST, J. A reflectometer for measurements of scattering from photodiodes and other low scattering surfaces. *Applied Optics*, **29**, 1990, pp. 3130-3134.
- (2) KÖHLER, R., GEIST, J. et BONHOURS, J. Generalized photodiode self-calibration formula. *Applied Optics*, **30**, 1991, pp. 884-886.
- (3) QUINN, T. J. *Temperature*, London, Academic Press, 2^e édition, 1990, 495 pages.

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

J. Bonhours s'est rendu :

— à Budapest (Hongrie) du 3 au 5 octobre 1989, pour participer au congrès Lux Europa et à une courte réunion de la division VII (Aspects généraux de l'éclairage) de la CIE,

— à Berlin (Rép. féd. d'Allemagne) le 7 septembre 1990, pour assister à une réunion de la division II (Mesures physiques de la lumière et des radiations) de la CIE.

R. Köhler s'est rendu :

— à la PTB Braunschweig (Rép. féd. d'Allemagne), avec R. Pello, du 13 au 17 novembre 1989, pour visiter le laboratoire et rencontrer K. Stock,

— à la PTB Berlin (Rép. féd. d'Allemagne) du 13 au 15 juin 1990, pour s'informer et y présenter un exposé intitulé « Radiometrie am BIPM »,

— à Davos (Suisse) du 20 au 22 septembre 1990, pour participer à la réunion New Developments and Applications in Optical Radiometry III et y présenter un exposé « On the cleaning of photodiode surfaces and its effects on the sensitivity of the detectors ».

7. Rayonnements ionisants (J. W. Müller)

La plus grande partie du travail effectué dans le domaine des rayonnements ionisants se rapporte aux comparaisons internationales : organisation des comparaisons, participation aux mesures et analyse des résultats. Ceci permet de maintenir les contacts indispensables que nous entretenons depuis de nombreuses années avec les laboratoires nationaux. Par ailleurs, les programmes de recherche poursuivis en dosimétrie (dose absorbée dans l'eau ou séparation des neutrons et des rayons gamma) et dans les mesures d'activité (mesure de période ou comptage par corrélations) ont pour but d'améliorer nos capacités de mesure, qui sont contrôlées périodiquement à l'occasion de notre participation aux comparaisons internationales dont le BIPM est responsable.

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

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

Tous les travaux décrits ci-dessous concernent les mesures faites dans le rayonnement gamma du ^{60}Co .

i) *Spectre en énergie de la source*

Le spectre de rayonnement de la nouvelle source a été déterminé par le calcul. La fluence énergétique des photons diffusés représente 14 % de celle des photons primaires, au lieu de 18 % dans le cas de l'ancienne source. Le spectre actuel contient une proportion plus grande de photons de faible énergie à cause de la contribution plus importante du rayonnement rétrodiffusé par l'arrière de la nouvelle source, qui est plus mince que la précédente. Ceci explique la différence (de l'ordre de 0,4 %) que l'on a observée entre les deux sources en mesurant la variation de la dose absorbée en fonction de la profondeur dans le fantôme de graphite.

Afin de vérifier si le spectre obtenu par calcul représentait raisonnablement le spectre réel, des mesures de transmission du faisceau par une épaisseur d'eau de 10 cm ont été effectuées et la valeur obtenue a été comparée à celle que l'on a déterminée par le calcul. La différence observée entre ces deux valeurs, de l'ordre de 0,1 %, est compatible avec les incertitudes estimées.

ii) *Dose absorbée dans l'eau*

L'étude des différents facteurs qui entrent dans la détermination expérimentale de la dose absorbée dans l'eau est achevée. Le calcul du facteur de correction de perturbation k_p (eau), applicable à notre étalon ionométrique, a été effectué pour des profondeurs de 3 à 17 cm, en tenant compte du spectre de rayonnement diffusé de la nouvelle source.

Le facteur k_p (eau) varie peu avec la profondeur, sa valeur augmentant seulement de 1,1126 à 1,1139 dans le domaine considéré. Rappelons que la valeur de k_p (graphite) diminue de 0,991 à 0,985 pour les profondeurs correspondantes.

Deux autres corrections ont été déterminées : on a calculé l'influence sur la dose absorbée de la non-équivalence de l'eau et de la paroi avant du fantôme ; on a aussi mesuré l'influence du support en plexiglas de la chambre d'ionisation. Ces corrections sont faibles (environ 0,05 %) et varient peu avec la profondeur dans le fantôme d'eau.

La dose absorbée dans l'eau est obtenue actuellement au BIPM avec une incertitude (σ) de 0,3 à 0,4 %, selon la profondeur. La stabilité des mesures est très bonne, l'écart-type relatif à long terme étant respectivement de $1,4 \times 10^{-4}$ et $3,0 \times 10^{-4}$ pour des profondeurs de 5 et 17 cm. Dans le but de vérifier la cohérence interne de nos mesures et, en particulier, la validité des différents facteurs de correction applicables à notre étalon, nous avons comparé le rapport des doses absorbées mesurées expérimentalement dans l'eau et dans le graphite à celui qui a été déterminé par le calcul. L'écart obtenu est de l'ordre de 0,2 % et reste sensiblement constant quelle que soit la profondeur. Ce résultat permet d'assurer indirectement que la détermination de la dose absorbée dans l'eau effectuée au BIPM est correcte, compte tenu des incertitudes.

Un nouveau fantôme d'eau, plus grand que le précédent, a été construit en vue d'une expérience ultérieure qui permettra une détermination indépendante de la dose absorbée dans l'eau en utilisant la méthode du « scaling theorem » (fondée sur la dépendance linéaire du processus de Compton en fonction de la densité des électrons). On a entrepris l'étude de l'influence de la taille du fantôme sur la dose absorbée et de la correction due à la contribution de l'effet photoélectrique.

iii) Comparaisons et étalonnages

Une comparaison directe entre l'étalon calorimétrique de dose absorbée dans le graphite de l'Institut de radiophysique appliquée (IRA), Lausanne, Suisse, et l'étalon ionométrique du BIPM a été effectuée à différentes profondeurs. Les disques de graphite de l'IRA ont une masse volumique d'environ $1,82 \text{ g/cm}^3$, supérieure à celle des disques du BIPM ($1,74$ à $1,80 \text{ g/cm}^3$). L'influence de cette différence sur les mesures de dose absorbée a été déterminée expérimentalement. Comme on a pu l'observer lors de comparaisons précédentes, la dose absorbée, mesurée à une profondeur donnée, augmente avec la masse volumique des disques de graphite. Cette influence a été prise en compte dans les résultats de la comparaison ; l'accord est satisfaisant, compte tenu des incertitudes.

Des comparaisons indirectes d'étalons de kerma dans l'air d'une part, et d'étalons de dose absorbée dans l'eau d'autre part, ont été effectuées entre le NRC, la PTB et le BIPM à l'aide de plusieurs

chambres d'ionisation de transfert appartenant au NRC et à la PTB. On ne dispose actuellement que de résultats préliminaires, des mesures complémentaires devant être effectuées au NRC.

Une irradiation de dosimètres thermoluminescents a été faite pour l'AIEA dans le fantôme d'eau du BIPM. Les dosimètres ont reçu une dose absorbée égale à 2 Gy. Les résultats des mesures effectuées à l'AIEA ne sont pas encore connus.

Trois chambres d'ionisation utilisées comme étalons secondaires de kerma dans l'air par le National Institute of Radiation Hygiene (NIRH), Brønshøj, Danemark, ont été étalonnées : l'une dans le domaine des rayons X de faible énergie, les deux autres dans le rayonnement gamma du ^{60}Co . Ces chambres sont étalonnées régulièrement au BIPM.

Les résultats, dans leur ensemble, semblent prometteurs et mettent en évidence l'importance des comparaisons internationales et des étalonnages périodiques.

7.1.2. Mesures neutroniques (V. D. Huynh)

i) Étude d'un détecteur à scintillation liquide NE213

Lors de sa réunion de 1988, la Section III du CCEMRI avait demandé au BIPM d'inclure dans son programme de mesures neutroniques la mesure et le calcul des spectres de neutrons de ses sources (d+D) et (d+T). Pour répondre à cette demande, le BIPM a entrepris l'étude d'un détecteur à scintillation liquide type NE213, de 5,08 cm de hauteur et de diamètre, équipé d'un discriminateur de forme pour séparer les neutrons et les rayons gamma dans le faisceau de neutrons de 14,65 MeV. Le dispositif expérimental est complexe et a nécessité des réglages minutieux. Une description détaillée en sera donnée ultérieurement.

D'après les résultats préliminaires, il semble que le système de mesure fonctionne correctement. Le travail a consisté d'abord à obtenir une bonne séparation des impulsions de neutrons et de rayons gamma pour avoir un spectre pur des neutrons. À titre d'exemple, la figure 5 montre la séparation temporelle des impulsions de neutrons et de rayons gamma.

Par ailleurs, on a déterminé les efficacités de détection, ε_{LS} , en utilisant les coïncidences existant entre les neutrons du scintillateur NE213 et les particules associées α provenant du détecteur au silicium. L'efficacité de détection est donnée par $\varepsilon_{LS} = N_c/N_\alpha$, où N_c et N_α sont les taux de comptage respectifs pour les coïncidences n- α et les particules α . Les valeurs obtenues pour ε_{LS} sont 18,1 % et 16,7 %, avec des seuils correspondant respectivement à des énergies d'électron de 100 keV et 240 keV. De plus, les résultats des mesures de fluence obtenus avec le scintillateur NE213 et par la méthode de la particule associée sont en bon accord, dans la limite des incertitudes des mesures de fluence faites avec les deux détecteurs.

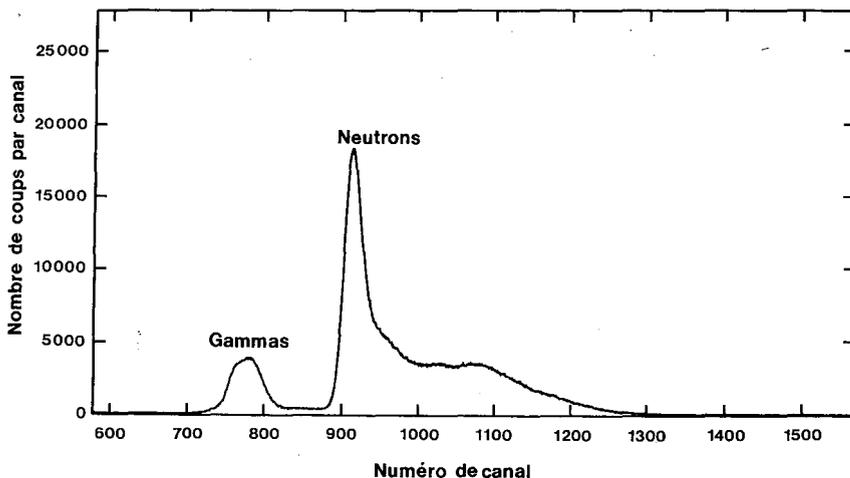


Fig. 5. — Séparation temporelle des impulsions de neutrons et de rayons gamma.

ii) *Étalonnage de détecteurs neutroniques*

À la demande du Groupe étude dosimétrie (GED) du CEN-FAR (Fontenay-aux-Roses) et du CEN-Cadarache, on a étalonné deux scintillateurs liquides NE213, deux compteurs proportionnels sphériques et une chambre à fission dans le faisceau de neutrons de 14,65 MeV du BIPM.

7.2. Radionucléides (J. W. Müller)

7.2.1. Mesures d'activité (G. Ratel et J. W. Müller)

i) *Comparaisons internationales de mesures d'activité*

a) ^{125}I (comparaison internationale). Dans la version finale du rapport sur la comparaison internationale de mesures d'activité d'une solution de ^{125}I on a tenu compte des commentaires envoyés par les participants. Dans un cas on a observé une dispersion d'environ 1,5 %, mais elle pourrait être due à une inhomogénéité de la solution distribuée. L'incertitude à attribuer au résultat final est de 1,1 % (pour un seul laboratoire).

b) ^{75}Se (comparaison restreinte). La comparaison restreinte de ^{75}Se , décidée par la Section II du CCEMRI, a eu lieu pendant le printemps et l'été de 1989. Cinq laboratoires (AECL, BIPM, LMRI, OMH et PTB) y ont participé. Ce radionucléide est difficile à mesurer en raison de l'existence d'un état isomère à période longue. Le BIPM remercie vivement la PTB d'avoir fourni et distribué la solution radioactive nécessaire à la comparaison.

Deux méthodes ont été utilisées. La première consiste à mesurer l'activité par la méthode habituelle des coïncidences, dans laquelle on modifie l'efficacité de détection β , soit en faisant varier la tension appliquée ou la pression à l'intérieur des compteurs proportionnels, soit en déposant successivement plusieurs films absorbants sur la source, soit en changeant le seuil de détection électronique dans la voie β . Tous les laboratoires ont extrapolé le taux de comptage β à l'efficacité 1 au moyen d'un ajustement par moindres carrés, linéaire ou quadratique. Les efficacités expérimentales varient de 26 % à 73 %. Pour obtenir la concentration en activité, on applique une correction qui tient compte des transitions retardées issues de l'état isomérique de 304 keV. Les valeurs choisies pour cette correction, tirées de la littérature, sont comprises entre 5,4 % et 8,7 %. La PTB a obtenu 6 % par une méthode de corrélation.

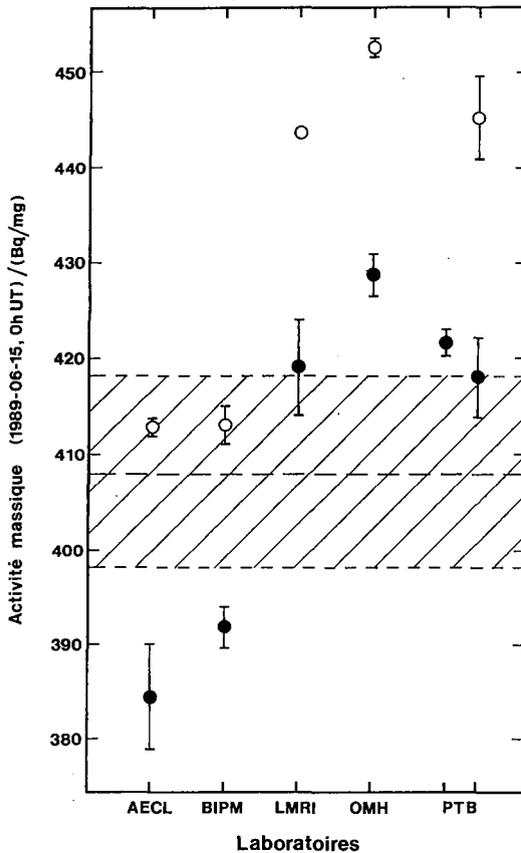


Fig. 6. — Résultats de la comparaison restreinte de ^{75}Se obtenus avant (o) et après (●) correction pour les événements retardés. La zone hachurée donne l'incertitude expérimentale de la valeur moyenne corrigée pour les désintégrations retardées.

Au BIPM on a préparé 24 sources à partir de la solution distribuée par la PTB. Les mesures ont été faites avec un compteur proportionnel dont la pression pouvait varier entre 0,4 et 1,5 MPa. L'efficacité de détection était comprise entre 28 % et 47 %. Après une extrapolation du premier ordre, le résultat a été corrigé pour tenir compte du pourcentage d'événements retardés.

La seconde méthode (PTB) utilise un spectromètre $4\pi\gamma$ à efficacité élevée, ce qui permet d'éviter les problèmes dus à l'extrapolation et à la détermination du nombre d'événements retardés.

La dispersion des six résultats de mesures d'activité est de 15,1 % (Fig. 6) et l'écart-type de la moyenne est de 2,4 %. (Pour un laboratoire donné, l'incertitude est environ 2,4 fois plus grande que cette valeur.) La moyenne non pondérée est $(0,408 \pm 0,010) \text{ MBq g}^{-1}$. Étant donné le petit nombre de participants et la division apparente des résultats en deux groupes, il est possible que l'incertitude donnée ci-dessus ne soit pas fiable *. Il semble que plusieurs laboratoires aient sous-estimé leurs incertitudes.

Il ressort de cette comparaison restreinte que les résultats obtenus par la méthode des coïncidences seront dignes de confiance quand on aura une meilleure connaissance du pourcentage des décroissances impliquant l'état retardé. Pour plus de détails, voir le rapport de la comparaison.

ii) *Mesure de la période du ^{75}As à 304 keV*

Le niveau isomérique du ^{75}As à 304 keV a été mesuré à plusieurs reprises au cours des années passées, mais les résultats publiés par les auteurs sont discordants. Une distorsion des spectres temporels a été prévue et mise en évidence récemment au BIPM. Ceci a permis de clarifier la situation. Les résultats accumulés pendant une période d'environ quatre mois ont été analysés soigneusement et ont donné la valeur $T_{1/2} = (16,75 \pm 0,05) \text{ ms}$.

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

Cette année, six laboratoires (ASMW, LMRI, NIST, OMH, PSPKR et UVVVR) ont envoyé au BIPM 13 ampoules de 9 radionucléides différents (^{51}Cr , ^{85}Kr , ^{95}Nb , ^{131}I , ^{137}Cs , $^{144}(\text{Cr} + \text{Pr})$, ^{153}Gd , $^{166}\text{Ho}^m$ et ^{241}Am). Parmi ceux-ci le $^{166}\text{Ho}^m$ et le ^{85}Kr ont été étalonnés pour la première fois. Dans le cas du ^{85}Kr on a essayé un nouveau type d'ampoule, fabriquée au NIST et permettant de mesurer des échantillons gazeux. Cependant, la réponse de la chambre d'ionisation du BIPM à ce radionucléide est quatre fois plus faible que pour la source de référence la moins active. Des essais sont en cours pour essayer d'améliorer la situation.

* L'AECL nous a informé ultérieurement que la correction de décroissance avait déjà été appliquée à ses résultats. Le rapport final sur la comparaison préliminaire de ^{75}Se (*Rapport BIPM-90/8*) tient compte de cette modification.

Pour répondre à la demande de la Section II, le BIPM va développer le SIR. À la suite d'un séjour de trois semaines de G. Ratel au NIST, on a choisi un système de scintillateur liquide qui permettra de mesurer les émetteurs β et α . Certains détails techniques, dont le choix des meilleurs cocktails, sont encore à l'étude. On envisage aussi de mesurer des radionucléides à période courte, très utilisés en médecine.

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

L'étude détaillée du comptage par corrélations modulo 2 a conduit à un résultat inattendu susceptible d'avoir une influence sur les techniques usuelles de mesure absolue d'activité. Nous allons essayer d'en esquisser l'idée de base, laissant de côté la description des autres travaux accomplis.

Supposons que les sorties des canaux bêta et gamma, qui sont nécessaires dans le cas de la méthode des coïncidences traditionnelle, ne soient pas enregistrées par des échelles, mais dirigées vers des compteurs modulo 2. Après un grand nombre de cycles de mesures, ceux-ci fourniront les probabilités que le nombre k d'événements observés dans un court intervalle de temps t soit pair ou impair (parité de k). Si nous négligeons les distorsions dues aux temps morts, les processus dans les deux canaux sont poissonniens. On peut montrer que pour le canal bêta par exemple, avec un taux de comptage ρ_β ,

$$\Pi_\beta \equiv \text{Prob}(k \text{ impair}) = \frac{1}{2}(1 - e^{-2\rho_\beta t}).$$

Dans la pratique, il est commode d'imposer la durée d'une mesure au moyen d'un retard électronique. La figure 7 donne un schéma simplifié pour la mesure de Π_β . Les impulsions de contrôle périodiques (de fréquence ν) ne peuvent franchir les portes actionnées par les

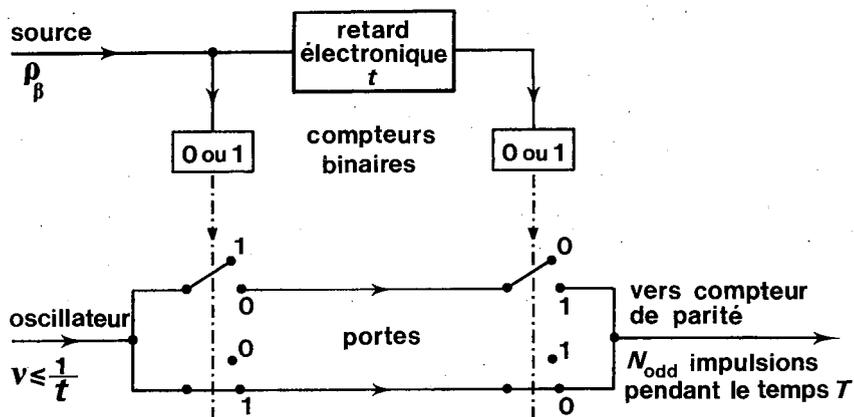


Fig. 7. — Représentation schématique du dispositif utilisé pour les mesures de parité.

compteurs modulo 2 que si k est impair. Après une durée de mesure T suffisamment longue nous avons $\Pi_\beta = N_{\text{odd}}/vT$. On obtient de même Π_γ pour les gammas.

Dans chaque canal on peut subdiviser les impulsions en deux groupes, au moins en principe. Dans le premier groupe se trouvent celles qui ont un « partenaire » dans le canal opposé provenant de la même désintégration (et appelées coïncidences vraies c); dans le second groupe se trouvent les impulsions sans partenaire. Si β et γ désignent le nombre d'événements observés dans les deux canaux pendant le même intervalle de temps t , nous pouvons écrire

$$\beta = b + c$$

et
$$\gamma = g + c,$$

où b et g sont les impulsions « solitaires ». Pour chaque intervalle de temps les parités mesurées nous permettent d'obtenir la parité correspondant à la somme $\beta + \gamma$. Cependant, cette parité $\Pi_{\beta+\gamma}$ n'est pas celle d'un processus de Poisson de valeur moyenne $\beta + \gamma$, mais $b + g$. La raison en est que dans la somme les événements coïncidents c se produisent toujours par paires et que les paires ne peuvent pas être « vues » par un compteur modulo 2. Comme il est facile de mesurer directement les moyennes de β et γ , la soustraction de $b + g$, obtenue par le comptage modulo, donne le nombre c de coïncidences vraies.

Il semble donc que, grâce à cette nouvelle approche, on puisse mesurer directement le nombre de coïncidences vraies, grandeur qui, jusqu'à présent, ne semblait accessible qu'après avoir appliqué les corrections théoriques pour les coïncidences aléatoires. On peut montrer que la présence de temps morts ou d'un état isomère intermédiaire rend l'analyse plus compliquée, mais n'infirme pas l'approche décrite ci-dessus.

La construction par P. Bréonce de l'équipement électronique complexe nécessaire pour mesurer les parités touche à sa fin et les premiers essais décisifs sont attendus avec intérêt.

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

7.3.1. Rapports BIPM

- (1) BOUTILLON, M. Revision of the results of international comparisons of absorbed dose in graphite, in a ^{60}Co beam. *Rapport BIPM-90/4*, mars 1990, 7 pages.
- (2) HUYNH, V. D. et LAFAYE, L. Influence of gas tubes on the current measurements of the Mg/Ar ionization chambers. *Rapport BIPM-90/1*, février 1990, 6 pages.

- (3) MÜLLER, J. W. Measurement of a dead time by correlation techniques. Part I: For an extended dead time. *Rapport BIPM-89/10*, décembre 1989, 13 pages.
- (4) MÜLLER, J. W. ISO/TAG4/WG3, Expression of uncertainties. Deux documents (3 et 7 pages) concernant l'élaboration d'un guide (mars 1990).
- (5) PERROCHE, A.-M. et HARGRAVE, N. J. Comparison of air kerma and exposure standards of ARL and BIPM for X rays (100 to 250 kV) and ^{60}Co gamma radiation. *Rapport BIPM-89/11*, décembre 1989, 21 pages.
- (6) PERROCHE, A.-M. et JAKAB, A. Comparison of the standards of absorbed dose to graphite of the OMH and the BIPM for ^{60}Co γ rays. *Rapport BIPM-90/2*, mars 1990, 13 pages.
- (7) RATEL, G. International comparison of activity measurements of a solution of ^{125}I (mai 1988). *Rapport BIPM-90/4*, 80 pages.
- (8) RATEL, G. Trial comparison of activity measurements of a solution of ^{75}Se (Draft report), 27 pages.
- (9) RATEL, G. Report on a stay at the National Institute of Standards and Technology (NIST) in August 1989, 6 pages.

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

J. W. Müller s'est rendu à :

— l'Institut d'électrochimie et de radiochimie de l'École polytechnique fédérale de Lausanne le 7 février 1990, où il a donné deux conférences intitulées « Comment déterminer le nombre de coïncidences vraies — sans les mesurer » et « Mesure précise de la période d'un état isomère du ^{75}As ».

— Berlin (RFA) du 14 au 16 novembre 1989 et Genève (Suisse) du 27 au 29 mars 1990 : réunion du Comité ISO/TAG4/WG3 « Expression of Uncertainties » qui rédige un « Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement », fondé sur la Recommandation 1 (CI-1981) du CIPM.

— NIST, Gaithersburg (É.-U. d'Amérique) le 18 mai 1990 : « A simple new way of separating true and random coincidences ».

— Ann Arbor, Michigan, (É.-U. d'Amérique), du 21 au 25 mai 1990 : 7th Symposium on Radiation Measurements and Applications, conférence intitulée « Generalized dead times ».

— Klais (RFA), du 10 au 14 septembre 1990 : réunion de la Main Commission ICRU.

C. Colas a suivi un stage technique sur « La radioprotection à l'intention des personnes compétentes » à l'Institut national des sciences et techniques nucléaires, Saclay, du 14 au 23 mars 1990.

8. Publications

8.1. Publications du BIPM

Depuis octobre 1989 ont été publiés :

Procès-Verbaux des séances du Comité international des poids et mesures, 57, (78^e session, octobre 1989), 208 pages.

Rapport annuel de la section du temps du BIPM, Vol. 2, 1989, 130 pages.

Circulaire T (mensuelle), 4 pages.

Techniques for Approximating the International Temperature Scale of 1990, juillet 1990, 205 pages.

Supplementary Information for the International Temperature Scale of 1990, décembre 1990, 177 pages.

8.2. Metrologia (D. A. Blackburn)

Cette année, *Metrologia* a connu d'importants changements. R. P. Hudson a pris sa retraite après neuf ans de service au BIPM, et D. A. Blackburn l'a remplacé comme rédacteur de *Metrologia*. De plus, il a été décidé que *Metrologia* ne serait plus publié par Springer-Verlag comme par le passé.

Le CIPM ayant décidé que le BIPM serait entièrement responsable de la publication de *Metrologia*, le directeur du BIPM a entrepris des négociations avec l'éditeur, Springer-Verlag, dans le but de racheter le titre. Ces discussions ont rapidement abouti à une conclusion satisfaisante et un accord a été signé le 18 juin 1990. Le transfert sera effectif le 1^{er} janvier 1991.

À compter du volume 28, le BIPM sera responsable de la publication de *Metrologia*, et l'imprimerie Durand, à Luisant, près de Chartres (France) en assurera l'impression. Comme Durand imprime les publications du BIPM depuis 1964 et que les relations de travail avec le BIPM sont bien établies, l'ajout d'une publication supplémentaire se fera en douceur. En plus d'une note spéciale du rédacteur publiée dans le dernier numéro de 1990, une lettre a été envoyée aux membres du Comité de rédaction, pour les informer qu'il est ainsi mis fin à 25 ans de collaboration harmonieuse entre le BIPM et Springer-Verlag.

Dans les faits, *Metrologia* diffère peu de ce qu'il était par le passé. En 1989, 31 articles ont été publiés, dont 8 en thermométrie et 5 en électricité. Du 1^{er} au 31 décembre 1989, 34 manuscrits ont été soumis pour publication. Parmi ceux-ci, 21 ont été publiés, 11 ont été rejetés, 1 a été retiré et 1 reste à l'étude. Du 1^{er} janvier au 31 mai 1990, 23 articles ont été soumis pour publication. Au 31 mai 1990, 8 de ces articles ont été acceptés pour publication, 2 ont été refusés, et 13 restent à l'étude.

8.3. Publications extérieures

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

9. Certificats et Notes d'étude

Du 1^{er} octobre 1989 au 30 septembre 1990, 35 certificats et 3 notes d'étude ont été délivrés.

CERTIFICATS

1989

N^{os}

- | | |
|--|--|
| 22. Quatre étalons de force électromotrice, N ^{os} 6652, 6653, 6656, 6670 (addition) . | Polski Komitet Normalizacji Miar I Jakosci, Varsovie, Pologne. |
| 23. Étalon de force électromotrice à diode de Zener, N ^o 3435017 | CSIR, Division of Production Technology, Pretoria, Afrique du Sud. |
| 24. Huit étalons de force électromotrice à diode de Zener, N ^o 260 | Netherlands Measurement Institute, Delft, Pays-Bas. |
| 25. Étalon de force électromotrice à diode de Zener, N ^o 4155007 | Technical Research Centre of Finland, Espoo, Finlande. |
| 26. Cinq étalons secondaires d'intensité lumineuse (2800 K), N ^{os} SB 20490, SB 20491, SB 20492, SB 20493, SB 20494 (addition) | Polski Komitet Normalizacji, Miar I Jakosci, Varsovie, Pologne. |
| 27. Quatre étalons de force électromotrice, N ^{os} 1, 2, 3 et 4 contenus dans l'enceinte thermorégulée, N ^o 38970 | National Measurement Service Norway, Oslo, Norvège. |
| 28. Étalon de force électromotrice à diode de Zener, N ^o 37-95-009 (addition) | Inspection générale de la métrologie, Bruxelles, Belgique. |

1990

- | | |
|---|--|
| 1. Deux étalons secondaires de flux lumineux (2800 K), N ^{os} 12/513 et 13/514 | Comité de la qualité, Sofia, Bulgarie. |
| 2. Deux étalons secondaires de flux lumineux (2800 K), N ^{os} 23/87 et 25/872. | Id. |
| 3. Étalon de résistance de 10 000 Ω , N ^o 718011 (addition) | Inspection générale de la métrologie, Bruxelles, Belgique. |
| 4. Étalon de résistance de 10 000 Ω , N ^o 43024 (addition) | Id. |

- | | |
|--|---|
| 5. Un étalon de masse de 1 kg en acier inoxydable (addition) | Office fédéral de métrologie, Wabern, Suisse. |
| 6. Un étalon de masse de 1 kg en acier inoxydable | Mettler Instrumente AG, Greifensee, Suisse. |
| 7. Trois étalons secondaires d'intensité lumineuse (2800 K), N° 1/1, 1/2, 1/3. | Bureau fédéral des mesures et métaux précieux, Belgrade, Yougoslavie. |
| 8. Étalon de masse de 1 kg, N° 23, en Nicral D | Ministry of Commerce, Weights and Measures, Nairobi, Kenya. |
| 9. Sept étalons secondaires d'intensité lumineuse (2800 K), N° 7HA78, 7HB78, 7HC78, 7HD78, 7GV78, 7GW78, 7GY78 | Bureau fédéral des mesures et métaux précieux, Belgrade, Yougoslavie. |
| 10. Règle de 1 mètre, N° 4795, en acier au nickel (addition) | Polski Komitet Normalizacji, Miar I Jakosci, Varsovie, Pologne. |
| 11. Étalon de résistance de 1 Ω , N° 1890157. | Korea Standards Research Institute, Taedok, Rép. de Corée. |
| 12. Étalon de résistance de 10 000 Ω , N° 1874897. | Id. |
| 13. Étalon de résistance de 1 Ω , N° 142512. | Institut de métrologie D.I. Mendéléev, Leningrad, URSS |
| 14. Étalon de résistance de 1 Ω , N° 190714. | Id. |
| 15. Étalon de résistance de 1 Ω , N° 193661. | Id. |
| 16. Étalon de résistance de 1 Ω , N° 221992. | Id. |
| 17. Étalon de résistance de 1 Ω , N° 079998. | Institut central de qualité et de métrologie, Pyongyang, Rép. pop. dém. de Corée. |
| 18. Étalon de résistance de 1 Ω , N° 142731. | Id. |
| 19. Étalon de résistance de 1 Ω , N° 143134. | Id. |
| 20. Chambre d'ionisation Shonka, N° 1042. | National Institute of Radiation Hygiene, Brønshøj, Danemark. |
| 21. Chambre d'ionisation, NE 2532/3-171057. | Id. |
| 22. Chambre d'ionisation, NE 2561-068 | Id. |
| 23. Étalon de résistance de 1 Ω , N° 1681957. | Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin, Italie. |
| 24. Étalon de résistance de 1 Ω , N° 1527399. | Id. |
| 25. Étalon de résistance de 1 Ω , N° 1527396. | Id. |
| 26. Étalon de résistance de 1 Ω , N° 1679692 (addition) | Institut national des mesures, Le Caire, Égypte. |
| 27. Étalon de résistance de 1 Ω , N° 1681958 (addition) | Id. |
| 28. Étalon de résistance de 1 Ω , N° 1684330 (addition) | Id. |

NOTES D'ÉTUDE

1990

- | | |
|---|--|
| 1. Huit étalons secondaires de flux
lumineux (2353 K), N ^{os} 3/87, 18/87,
25/87, 9022, 8/87, 20/87, 11/527,
13/529 | Comité de la qualité, Sofia, Bulgarie. |
| 2. Étalon de masse, FN1, en acier
inoxydable (addition) | Fédération du Nigeria. |
| 3. Règle de 1 m, N ^o 12202, en acier au
nickel (addition) | Id. |

IV. — ACTIVITÉS ET RELATIONS EXTÉRIEURES

1. Travaux en liaison avec des organismes nationaux et internationaux

T. J. Quinn participe régulièrement au Conseil scientifique de l'IMGC (Turin). Il continue de participer aux travaux du CODATA Task Group on Fundamental Constants, en qualité de président. Il est membre de l'IUPAC Interdivisional Committee on Nomenclature and Standards, de l'Associate Committee on Standards of Physical Measurement du NRC (Ottawa) et du Comité scientifique du Laboratoire de l'horloge atomique (Orsay).

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

B. Guinot participe au travail de l'UAI, de l'UGGI et du CCIR. Il est membre du conseil scientifique du Groupe de recherches de géodésie spatiale (France) et il préside le conseil scientifique français du Bureau central de l'IERS. Il est membre du Bureau des longitudes, correspondant de l'Académie des Sciences de Paris et membre de l'Academia Europaea.

J. W. Müller est membre du comité de rédaction de *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*. Il est aussi président du comité de l'ICRU qui a pour tâche de rédiger un rapport sur « Fundamentals of Particle Counting applied to Radioactivity Measurements ». Il est membre du groupe de travail TAG 4 de l'ISO sur l'expression des incertitudes.

P. Giacomo (directeur honoraire) continue à collaborer au nom du BIPM à la préparation de la 2^e édition du Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie.

D. A. Blackburn est membre du Board of Governors of the International Technological University, UNESCO, Paris.

G. Petit est membre du conseil scientifique du Groupe de recherches de géodésie spatiale (France).

2. Réunions au BIPM

Groupe de travail du CCM sur les « Étalons de masse »,
2-3 novembre 1989

ISO/TC12 Advisory Panel, 9 juillet 1990

CCU, 10-11 juillet 1990

CCPR, 17-19 septembre 1990.

3. Visites et stages au BIPM

3.1. Stagiaires

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

Mme P. Tavella, (IEN, Turin, Italie), a effectué trois stages (octobre-décembre 1989, 5-16 février 1990, 3-13 avril 1990) au cours desquels elle a fait diverses études sur les algorithmes des échelles de temps.

Mlle A. Razet (INM, Paris), est venue plusieurs fois au BIPM en octobre 1989 pour faire avec Mme S. Fredin-Picard une étude théorique et établir des programmes destinés à calculer les constantes de couplage hyperfin des transitions de l'iode.

MM. P. Gardel et R. Porta (Institut de radiophysique appliquée, Lausanne, Suisse), sont venus au BIPM du 21 novembre au 1^{er} décembre 1989. Ils ont comparé l'étalon calorimétrique de dose absorbée dans le graphite appartenant à leur laboratoire à l'étalon ionométrique du BIPM.

M. H. Pirée (Administration du commerce, Inspection générale de la métrologie, Bruxelles, Belgique), est venu du 11 au 15 décembre 1989 contrôler un dispositif de mesure de fréquence de battement destiné à comparer deux lasers stabilisés.

Mme V. Zivkovic et M. V. Vasiljevic (Bureau fédéral des mesures et des métaux précieux, Belgrade, Yougoslavie) et M. A. Alendar (Zrak Company, Belgrade, Yougoslavie), sont venus au BIPM du 22 janvier au 2 février 1990 pour étalonner leurs lasers asservis sur l'iode et pour effectuer une comparaison de fréquence avec le BIPM.

M. F. Piquemal (LCIE, Fontenay-aux-Roses), a travaillé sur l'effet Hall quantique dans la section d'électricité du 23 mars au 13 avril 1990.

M. C. C. Speake (Université de Birmingham, Royaume-Uni) a passé deux semaines au BIPM pendant le mois d'août 1990 pour travailler sur le pendule à suspension flexible en silicium.

M. M. Weiss (Time and Frequency Division, NIST, Boulder, États-Unis d'Amérique), a passé trois mois (mars à mai 1990) dans la section du temps pour étudier la mesure des retards ionosphériques et procéder à diverses analyses statistiques.

M. A. Michel (ETCA, Arcueil, France), est venu au BIPM du 19 au 20 avril 1990 étalonner un laser asservi sur l'iode, que son laboratoire a construit pour le Gouvernement belge, et un laser à He-Ne dans le vert à $\lambda = 543$ nm.

M. Sylvani (Sextant Avionique, Issy-les-Moulineaux, France), est venu du 2 au 18 mai 1990 vérifier et étalonner un laser asservi sur l'iode que sa société a construit pour le Gouvernement polonais.

3.2. Visiteurs

M. L. Liedquist (SP, Borås, Suède), est venu le 27 avril 1989 discuter avec R. Köhler; à cette occasion il a apporté des lampes étalons (radiométrie, photométrie).

M. J. Geist (NIST, Gaithersburg, É.-U. d'Amérique), est venu du 25 juillet 1989 au 8 août 1989 travailler avec R. Köhler sur les problèmes théoriques de l'auto-étalonnage et les mesures de la diffusion des photodiodes (radiométrie, photométrie).

M. R. Anderson (SP, Borås, Suède), est venu le 22 août 1989 voir R. Köhler et reprendre des lampes étalons (radiométrie, photométrie).

Mme M. Sardi (IEN, Turin, Italie), est venue du 3 au 27 octobre 1989 travailler dans la section de radiométrie (radiométrie, photométrie).

M. P. S. Ramanujam (Danish Institute of Fundamental Metrology, Danemark), 13 octobre 1989 (longueurs).

M. John Luck (Orroral Observatory, Canberra, Australie), 16 octobre 1989 (temps).

M. P. Louis (Université des sciences et techniques du Languedoc, Centre géologique et géographique, France), 19 octobre 1989 (longueurs).

Mme J. Houston (NIST, Gaithersburg, É.-U. d'Amérique), du 22 au 24 octobre 1989 (radiométrie, photométrie).

Mmes P. Tavella et M. Sardi (IEN, Italie), 25 octobre 1989 (longueurs).

M. A. F. Clark (NIST, Gaithersburg, É.-U. d'Amérique), 30 octobre 1989 (électricité et masses).

MM. G. Kramer et B. Lippart (PTB, Braunschweig, RFA), 30 octobre 1989 (longueurs).

Mme J. Houston (NIST, Gaithersburg, É.-U. d'Amérique), 7 novembre 1989 (masses).

M. L. R. Pendrill (SP, Borås, Suède), 8 novembre 1989 (longueurs).

Prof. Silvestre Antunes (IPQ, Lisbonne, Portugal), 14 novembre 1989 (temps).

MM. M. Ono et Y. Kimura (Société Mitutoyo, France), 16 novembre 1989 (longueurs).

M. L. Vitushkin (VNIIM, Leningrad, URSS), 22 novembre 1989 (longueurs).

Mme I. Laurenço Iapor et M. S. Da Costa Marques (Institut national de métrologie, Brésil), 24 novembre 1989 (longueurs).

M. G. Peter (National Geodetic Survey, Rockville, É.-U. d'Amérique), 1^{er} décembre 1989 (longueurs).

Mmes F. Posny et D. Cutarella, MM. G. Audoin, C. Itié et J. Pointreau (CEN-FAR), sont venus du 4 au 8 décembre 1989 pour étalonner leurs scintillateurs liquides NE213 et leurs compteurs proportionnels sphériques dans le champ de neutrons à 14,65 MeV du BIPM (rayonnements ionisants).

M. Hayashi (CRL, Tokyo, Japon), 17 janvier 1990 (temps).

M. J. Faller (JILA, Boulder, É.-U. d'Amérique), 18 janvier 1990 (longueurs).

M. G. D. Chapman (NRC, Ottawa, Canada), 2 février 1990 (masses).

M. H. Källgren (SP, Borås, Suède), 2 février 1990 (masses).

Mme Fatima Marques (IPQ, Lisbonne, Portugal), 7 février 1990 (temps).

M. R. Hahnwald (ASMW, Berlin, RDA), 22 février 1990 (masses).

M. P. Connes (Service d'aéronomie, Verrières-le-Buisson), 7 mars et 24 avril 1990 (longueurs).

M. P. Vukanid (Yougoslavie) est venu du 19 au 23 mars 1990 pour des discussions et pour l'étalonnage de lampes (radiométrie, photométrie).

MM. De Marchi, J. Dutitre et P. Gain (Sextant Avionique, Issy-les-Moulineaux), 22 mars 1990 (longueurs).

MM. G. Riccioni et M. Murgo (Commission métrique, Rome, Italie), 22 mars 1990 (masses).

MM. A. Trubnikov, L. Vlasov et V. Sapritsky (VNIIOFI, Moscou, URSS), sont venus du 2 au 6 avril 1990 pour des discussions et l'étalonnage de lampes étalons (radiométrie, photométrie).

Le Prof. B. Ney (Institut de géodésie et de cartographie, Pologne), 6 avril 1990 (longueurs).

M. I. Ishikawa (NRLM, Tsukuba, Japon), 9 avril 1990 (longueurs).

M. F. Prieto (Centre espagnol de métrologie, Madrid, Espagne), 11 avril 1990 (longueurs).

M. O. Cramer (CSIR, Pretoria, Afrique du Sud), 11 avril 1990 (longueurs).

M. K. Ennow (National Institute of Radiation Hygiene, Brønshøj, Danemark) est venu les 18, 19 avril 1990 et le 26 juillet 1990 pour discuter de l'étalonnage des chambres d'ionisation appartenant à son laboratoire et de problèmes particuliers concernant le SIR (rayonnements ionisants).

Mme J. M. Calhoun (NIST, Gaithersburg, É.-U. d'Amérique), est venue du 30 avril 1990 au 2 mai 1990 pour discuter de l'extension du SIR, de la participation aux comparaisons internationales, de certains problèmes liés aux statistiques de comptage et pour voir les installations du groupe des rayons X et γ (rayonnements ionisants).

M. V. A. Ramos (Division de métrologie, Lisbonne, Portugal), 16 mai 1990 (masses).

M. Hong Lin Taik (Institut central de qualité et de métrologie, Pyongyang, Rép. pop. dém. de Corée), 18 mai 1990 (longueurs).

Mme F. Posny et M. C. Itié (CEN-FAR), MM. J. C. Colonges et J. Kurkdjian (CEN, Cadarache), ont visité le laboratoire de mesures neutroniques le 20 et le 21 juin 1990. Ils ont étalonné leur chambre à fission dans le faisceau de neutrons à 14,65 MeV du BIPM (rayonnements ionisants).

4. Exposés au BIPM

Les exposés suivants ont été présentés au BIPM par des visiteurs et par des membres du Bureau dans le cadre général de l'information du personnel :

T. J. Quinn : The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90), 20 novembre 1989.

G. Girard : Sur la comparaison du prototype international du kilogramme et ses témoins, 12 décembre 1989.

A. Brillet (Laboratoire de l'horloge atomique, Orsay) : Détection interférentielle des ondes gravitationnelles : le projet VIRGO, 17 janvier 1990.

T. J. Quinn : The mass of spinning rotors, 18 février 1990.

C. Thomas : Application aux transferts de temps des mesures de retards ionosphériques des signaux GPS, 27 mars 1990.

J.-M. Chartier et S. Fredin-Picard : Laser vert à $\lambda = 543$ nm, 25 avril 1990.

M. Weiss (stagiaire du NIST) : A new time scale algorithm : AT1 plus variance, 15 mai 1990.

V. — 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 1989.

Compte I. — Fonds ordinaires *

RECETTES

	francs-or
ACTIF AU 1 ^{er} JANVIER 1989	11 685 088,87
Recettes budgétaires	18 140 399,65
Taxes sur les achats remboursées	834 946,79
Total	<u>30 660 435,31</u>

DÉPENSES

	francs-or
Dépenses budgétaires	18 380 616,08
Taxes sur les achats remboursables	770 587,32
Différences de change	18 797,79
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1989	566 262,17
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1989	10 924 171,95
Total	<u>30 660 435,31</u>

DÉTAIL DES RECETTES BUDGÉTAIRES

	francs-or
Versements de contributions :	
au titre de l'exercice 1989	15 631 460
au titre de l'exercice 1988	1 132 296
au titre de l'exercice 1987	274 824
au titre de l'exercice 1986 et antérieurs	90 364
au titre de l'exercice 1990	1 084
Intérêts des fonds	779 801,80
Recettes diverses { cession de prototypes Pt-Ir ... 223 006,63	230 569,85
{ divers	7 563,22
Total	<u>18 140 399,65</u>

* Dans ce compte, comme dans les suivants, on utilise le franc-or défini par l'équivalence 1 franc-or = 1,81452 franc français.

DÉTAIL DES DÉPENSES BUDGÉTAIRES

Chapitres	Dépenses de l'exercice	Budget voté	Économies	Dépassements
<i>A. Dépenses de personnel :</i>				
1. Traitements	8 595 649,40	8 300 000	—	295 649,40
2. Allocations familiales et sociales	1 523 740,79	1 446 000	—	77 740,79
3. Sécurité sociale	909 745,04	920 000	10 254,96	—
4. Assurance-accidents du travail	90 690,65	92 000	1 309,35	—
5. Caisse de retraites (a)	1 400 000,00	1 400 000	—	—
<i>B. Dépenses de fonctionnement :</i>				
1. Mobilier	286 080,52	100 000	—	186 080,52
2. Laboratoires et ateliers	978 269,06	1 300 000	321 730,94	—
3. Chauffage, eau, énergie électrique	363 875,50	450 000	86 124,50	—
4. Assurances	41 279,79	50 000	8 720,21	—
5. Impressions et publications	170 989,73	240 000	69 010,27	—
6. Frais de bureau	347 819,86	340 000	—	7 819,86
7. Voyages et transports d'appareils	383 420,37	340 000	—	43 420,37
8. Entretien courant	279 264,43	300 000	20 735,57	—
9. Bureau du Comité	60 000,00	60 000	—	—
<i>C. Dépenses d'investissement :</i>				
1. Laboratoires	1 451 626,56	1 967 000	515 373,44	—
2. Atelier de mécanique	24 905,76	85 000	60 094,24	—
3. Atelier d'électronique	—	10 000	10 000,00	—
4. Bibliothèque	165 705,94	200 000	34 294,06	—
<i>D. Dépenses de bâtiments (gros travaux d'entretien et de rénovation) (b)</i>				
	1 154 826,49	1 400 000	245 173,51	—
<i>E. Frais divers (c)</i>				
	152 726,19	200 000	47 273,81	—
Totaux	18 380 616,08	19 200 000	1 430 094,86	610 710,94

(a) Virement au compte II (Caisse de retraites).
 (b) Comprenant un virement de 758 585,20 francs-or au compte V (Réserve pour les bâtiments).
 (c) Comprenant un virement de 10 255,10 francs-or au compte IV (Caisse de prêts sociaux).

Compte II. — Caisse de retraites

RECETTES

	francs-or
ACTIF AU 1 ^{er} JANVIER 1989	14 369 021,18
Retenues sur les traitements	426 302,59
Virement du Compte I	1 400 000,00
Intérêts des fonds	903 319,66
Total	17 098 643,43

DÉPENSES

	francs-or
Pensions servies	2 555 044,93
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1989	540 863,05
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1989	14 002 735,45
Total	17 098 643,43

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

RECETTES

	francs-or
ACTIF AU 1 ^{er} JANVIER 1989	78 764,20
Total	78 764,20

DÉPENSES

	francs-or
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1989	2 929,16
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1989	75 835,04
Total	78 764,20

Compte IV. — Caisse de prêts sociaux

RECETTES

	francs-or
ACTIF AU 1 ^{er} JANVIER 1989	140 635,41
Créances au 1 ^{er} janvier 1989	120 171,23
Créances nouvelles en cours d'année	186 275,16
Amortissements partiels des prêts :	
Capital	139 427,20
Intérêts	3 870,93
Virement du Compte I	10 255,10
Intérêts des fonds	8 612,69
Total	<u>609 247,72</u>

DÉPENSES

	francs-or
Prêts consentis en cours d'année	186 275,16
Créances amorties en cours d'année	139 427,20
Créances au 31 décembre 1989	167 019,19
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1989	116 526,17
Total	<u>609 247,72</u>

Compte V. — Réserve pour les bâtiments

RECETTES

	francs-or
ACTIF AU 1 ^{er} JANVIER 1989	83 232,12
Alimentation par le Compte I	758 585,20
Total	<u>841 817,32</u>

DÉPENSES

	francs-or
Dépenses Nouveau Pavillon	841 817,32
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1989	0,00
Total	<u>841 817,32</u>

Bilan au 31 décembre 1989

	francs-or
Compte I « Fonds ordinaires »	10 924 171,95
Compte II « Caisse de retraites »	14 002 735,45
Compte III « Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique »	75 835,04
Compte IV « Caisse de prêts sociaux »	283 545,36
Compte V « Réserve pour les bâtiments »	0,00
ACTIF NET	<u>25 286 287,80</u>

Cet actif se décompose comme suit :

a. Fonds déposés en banque :

	francs-or
1° En monnaie française (1 FRF=0,551 109 935 FO)	1 013 257,61
2° En monnaie U.S.A. (1 USD=5,788 FRF=3,189 824 306 FO)	49 436,32
3° En monnaie suisse (1 CHF=3,746 FRF=2,064 457 818 FO)	1 372 977,62
4° En monnaie britannique (1 GBP=9,316 FRF=5,134 140 158 FO).	542 738,74
5° En monnaie allemande (1 DEM=3,419 FRF=1,884 244 869 FO).	3 817 810,64
6° En monnaie japonaise (100 JPY=4,021 FRF=2,216 013 050 FO).	3 385 248,35
7° En monnaie hongroise (1 HUF=0,098 FRF=0,054 008 774 FO).	4 273,61
8° En monnaie polonaise (100 PLZ=0,165 FRF=0,090 933 139 FO).	701,15
9° En monnaie néerlandaise (1 NLG=3,0275 FRF=1,668 485 329 FO).	7 816 808,74
10° En ECU (1 XEU=6,886 FRF=3,794 943 015 FO)	7 111 498,52

b. Espèces en caisse

4 517,31

ACTIF BRUT

25 119 268,61

c. Créances de la Caisse de prêts sociaux

167 019,19

ACTIF NET

25 286 287,80

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

REPORT OF THE MEETING

Note on the use of the English text

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

Note sur l'utilisation du texte anglais

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

THE BIPM AND THE CONVENTION DU MÈTRE

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

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

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

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

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

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

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

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

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

* As of 31 December 1990 forty-six States were members of this Convention: Argentina (Rep. of), Australia, Austria, Belgium, Brazil, Bulgaria, Cameroon, Canada, Chile, China (People's Rep. of), Czechoslovakia, Denmark, Dominican Republic, Egypt, Finland, France, Germany, Hungary, India, Indonesia, Iran, Ireland, Israel, Italy, Japan, Korea (Dem. People's Rep.), Korea (Rep. of), Mexico, Netherlands, Norway, Pakistan, Poland, Portugal, Romania, Spain, South Africa, Sweden, Switzerland, Thailand, Turkey, U.S.S.R., United Kingdom, U.S.A., Uruguay, Venezuela, Yugoslavia.

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

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

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

1. The *Comité Consultatif d'Électricité (CCE)*, set up in 1927.
2. The *Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie (CCPR)*, new name given in 1971 to the *Comité Consultatif de Photométrie* set up in 1933 (between 1930 and 1933 the preceding committee (CCE) dealt with matters concerning Photometry).
3. The *Comité Consultatif de Thermométrie (CCT)*, set up in 1937.
4. The *Comité Consultatif pour la Définition du Mètre (CCDM)*, set up in 1952.
5. The *Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde (CCDS)*, set up in 1956.
6. The *Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CCEMRI)*, set up in 1958. In 1969 this committee established four sections: Section I (Measurement of X and γ rays, electrons); Section II (Measurement of radionuclides); Section III (Neutron measurements); Section IV (α -energy standards). In 1975 this last section was dissolved and Section II made responsible for its field of activity.
7. The *Comité Consultatif des Unités (CCU)*, set up in 1964 (this committee replaced the « Commission for the System of Units » set up by the CIPM in 1954).
8. The *Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées (CCM)*, set up in 1980.

The proceedings of the *Conférence Générale*, the *Comité International*, the *Comités Consultatifs*, and the *Bureau International* are published under the auspices of the latter in the following series:

- *Comptes rendus des séances de la Conférence Générale des Poids et Mesures*;
- *Procès-Verbaux des séances du Comité International des Poids et Mesures*;
- *Sessions des Comités Consultatifs*;
- *Recueil de Travaux du Bureau International des Poids et Mesures* (this collection for private distribution brings together articles published in scientific and technical journals and books, as well as certain work published in the form of duplicated reports).

The *Bureau International* also publishes monographs on special metrological subjects and, under the title « *Le Système International d'Unités (SI)* », a booklet, periodically up-dated, in which all the decisions and recommendations concerning units are collected.

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

Since 1965 the international journal *Metrologia*, edited under the auspices of CIPM, has published articles on the more important work on scientific metrology carried out throughout the world, on the improvement in measuring methods and standards, on units, etc., as well as reports concerning the activities, decisions, and recommendations of the various bodies created under the *Convention du Mètre*.

MEMBERS
OF THE
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
on 25 September 1990

President

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

Secretary

2. J. KOVALEVSKY, Astronomer, Centre d'Études et de Recherches en Géodynamique et Astrométrie, avenue N. Copernic, 06130 Grasse, France.

Members

3. W. R. BLEVIN, Associate Director, Division of Applied Physics, CSIRO, P.O. Box 218, Bradfield Road, Lindfield NSW 2070, Australia.
4. J. DE BOER, Institute of Physics, University of Amsterdam, Valckenierstraat 65, Amsterdam-C, Netherlands.
5. A. BRAY, Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Strada delle Cacce 73, 10135 Turin, Italy.
6. P. DEAN, 6 Maples, Banstead, Surrey SM7 3QZ, United Kingdom.
7. K. IZUKA, Special Adviser, Agency of Industrial Science and Technology, 3-1 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100, Japan.
8. H. H. JENSEN, Professor, H. C. Oersted Institutet, Universitetets Fysiske Laboratorium, Universitetsparken 5, 2100 København ϕ , Denmark. *Associate-Secretary*.
9. S. K. JOSHI, Director, National Physical Laboratory of India, Dr K. S. Krishnan Road, New Delhi 110012, India.

10. J. W. LYONS, Director, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899, USA.
11. T. PLEBANSKI, Director, Centre for Research and Development of Reference Materials «WZORMAT», Ul. Elektoralna 2, 00139 Warsaw, Poland.
12. H. PRESTON-THOMAS, Institute for National Measurement Standards, National Research Council of Canada, Ottawa K1A 0S1, Canada. *Vice-President.*
13. O. SALA, Professor, Department of Nuclear Physics, Universitaria Armando Salles de Oliveria, Caixa Postal 20516, 01498 São Paulo, Brazil.
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, Czechoslovakia. *Vice-President.*
16. R. STEINBERG, Head, Department of Physics and Metrology, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, 1101 Buenos Aires, Argentina.
17. WANG DAHENG, Professor, Director of the Division of Technical Sciences, Academia Sinica, Member of the State Council for Metrology, BP 2112, Beijing, Popular Republic of China.
18. ...

Honorary members

1. E. AMBLER, The Belvedere (No. 626), 1600 N. Oak Street, Arlington, VA 22209.
2. L. BRANSCOMB, Box 309, Concord, Massachusetts 01742.
3. J. V. DUNWORTH, The Warbuck, Kirk Michael, Isle of Man.
4. L. E. HOWLETT, 1702-71 Somerset Street W, Ottawa, Ontario K2P 2G2.
5. M. KERSTEN, Am Hohen Tore 4A, 3300 Braunschweig.
6. F. J. LEHANY, 5 Gladstone Avenue, Hunters Hill, NSW 2110.
7. J. STULLA-GÖTZ, Gentzgasse 3, A-1180 Vienna *.

* The BIPM has heard with regret of the death on the 23 December 1990 of J. Stulla-Götz.

PERSONNEL
OF THE
BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
on 1st January 1991

Director : Dr T.J. Quinn

Length : Mr J.-M. Chartier

Mr R. Felder, Dr S. Picard, Dr L. Robertsson
Mrs A. Chartier, Mr J. Labot

Mass and related quantities : Mr G. Girard, Mr A. Sakuma

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

Times scales : Dr C. Thomas

Mr J. Azoubib, Dr W. Lewandowski, Mr G. Petit; Dr B. Guinot
(part time)
Miss H. Konaté, Mrs M. Thomas

Electricity : Dr T.J. Witt

Mr F. Delahaye, Dr D. Reymann
Mr D. Avrons, Mr D. Bournaud
Mr P. Benoit

Radiometry and photometry : Mr J. Bonhoure

Dr R. Köhler, Mr R. Goebel
Mr C. Garreau, Mr F. Lesueur, Mr R. Pello, Mr F. Perez
Mr J. Dias

Ionizing radiations : Dr J.W. Müller

Mrs M. Boutillon, Mr P. Bréonce, Dr V.D. Huynh, Dr G. Ratel
Mr D. Carnet, Mr C. Colas, Mr L. Lafaye, Mr C. Veyradier

Secretariat : Miss J. Monprofit

Mrs D. Le Coz, Mrs D. Müller ⁽²⁾
Mrs L. Delfour, Mrs M. Petit

Metrologia : Dr D.A. Blackburn

⁽¹⁾ Research Fellow.

⁽²⁾ On attachment to the Ionizing Radiation Section.

Finance, administration : Miss B. Perent

Mrs M.-J. Martin

Caretakers : Mr and Mrs Dominguez, Mr and Mrs Neves

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

Gardeners : Mr C. Angot, Mr C. Dias-Nunes

Workshop : Mr J. Sanjaime

Mr B. Bodson, Mr M. de Carvalho, Mr J.-B. Caucheteux,
Mr J.-P. Dewa, Mr A. Gama, Mr J. Leroux, Mr A. Montbrun,
Mr D. Rotrou,
Mr E. Dominguez ⁽³⁾, Mr C. Neves ⁽³⁾

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

Principal Metrologist Emeritus : Mr G. Leclerc

Metrologist Emeritus : Mr H. Moreau

⁽³⁾ Also caretakers

AGENDA

1. Opening of the meeting by the President, quorum, approval of the agenda.
 2. Report of the Secretary.
 3. Report of the activity of the bureau of the Comité (October 1989-September 1990).
 4. 19th CGPM, discussion on draft Convocation.
 5. Consultative Committees :
 - Report of the CCU
 - Report of the CCPR
 - Report of the CCM (meeting of CCM Working Group on Mass Standards held in November 1989)
 - Future meetings
 - Reports of Presidents of CC's to the CGPM
 - Presidencies of CCE and CCEMRI.
 6. Work of the BIPM, Director's Report.
 7. Worldwide coordination of chemical and physico-chemical measurements, discussion on a proposal for a CIPM initiative.
 8. Bilateral agreements on equivalence of standards, discussion on the role of the BIPM and the Convention du Mètre.
 9. Metrologia.
 10. Revision of the regulations for calibrations at the BIPM.
 11. Financial and administrative affairs
 - « Rapport aux Gouvernements » for 1989
 - Quitus for 1989
 - Progress report on the 1990 exercise.
 12. Other business.
-

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

79th Meeting (September 1990)

PROCEEDINGS OF THE SESSIONS HELD AT SÈVRES

D. Kind, President

The Comité International des Poids et Mesures (CIPM) held its 79th meeting at the Bureau International des Poids et Mesures at Sèvres on Tuesday 25th, Wednesday 26th and Thursday 27th of September 1990. It held five sessions in all.

Present: Messrs. BLEVIN, BRAY, DE BOER, DEAN, IZUKA, JENSEN, JOSHI, KIND, KOVALEVSKY, LYONS, PLEBANSKI, PRESTON-THOMAS, SALA, SKÁKALA, WANG, QUINN (Director of the BIPM).

Also attending the meeting: Messrs. CLAPHAM (on the 26th and 27th September), POUSTOVOIT, GIACOMO (Directeur honoraire of the BIPM); Mr OBOUKHOV (interpreter); Miss MONPROFIT, Mrs LE COZ (Secretariat).

Apologies for absence were received from: Messrs. SIEGBAHN, STEINBERG.

1. Opening of the meeting ; quorum ; agenda

The President opened the 79th meeting of the Comité International des Poids et Mesures and welcomed the members present, in particular the two new members Dr Joshi and Dr Lyons, and Dr Poustovoit present as a guest. He noted that Dr Clapham, absent on 25th September, would be present as a guest on the 26th and 27th. Apologies for absence had been received from Prof. Siegbahn and Dr Steinberg. He thanked the Director of the BIPM for the preparation of this committee,

and for the preparation of the draft Convocation to the 19th Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM), to be discussed and finalized at this meeting.

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

The agenda was adopted without change.

Having fixed a time schedule for the meeting, the President invited the Secretary of the CIPM to present his report.

2. Report of the Secretary of the CIPM (October 1989 - September 1990)

Prof. Kovalevsky, the new Secretary of the CIPM, presented his report.

Member States of the Convention du Mètre

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

Membership

The composition of the Comité International has changed since October 1989 through the resignations of Dr Mitra, Dr Ambler and Dr Mekhannikov and the elections of Dr Lyons (Director of the NIST Gaithersburg) and Dr Joshi (Director of the NPL New Delhi). There thus remains one vacant seat on the Comité.

In speaking of membership of the CIPM the Secretary remarked that we should avoid, if possible, having a vacancy at the time of the next Conférence Générale.

Meetings of Consultative Committees and Working Groups

— The CCM Working Group « Mass standards » held a meeting on the 2nd and 3rd of November 1989 to discuss questions related to the cleaning of national prototypes of the kilogram participating in the third periodic verification.

— The CCU held its 10th meeting on the 10th and 11th of July 1990 under the Presidency of Professor J. de Boer.

— The CCPR held its 12th meeting on the 17th, 18th and 19th of September 1990 under the Presidency of Dr W. R. Blevin.

All meetings took place at the Pavillon de Breteuil.

Financial report

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

Accounts	1987	1988	1989	1990
I. - Ordinary funds	15 550 507,07	13 743 538,35	11 685 088,87	10 924 171,95
II. - Pension fund	11 843 142,42	13 160 434,56	14 369 021,18	14 002 735,45
III. - Special fund for the improvement of scientific equipment	523 857,79	214 847,73	78 764,20	75 835,04
IV. - Staff loan fund	204 771,34	230 719,45	260 806,64	283 545,36
V. - Building reserve fund.	1 816 600,45	1 359 042,99	83 232,12	0,00
Totals	29 938 879,07	28 708 583,08	26 476 913,01	25 286 287,80

The discussion of financial matters was postponed until later in the meeting.

3. Report on the activity of the bureau of the CIPM
(October 1989 - September 1990)

The Secretary then went on to present his report on the activity of the bureau of the CIPM. The bureau of the Comité had met three times since the last meeting of the CIPM, twice at the Pavillon de Breteuil and once in Grasse. Much time had been devoted to discussions on the draft convocation to the Conférence Générale and to financial matters in the context of the critical situation in the Gulf and the imminent reunification of Germany. The latter implies either a reduction of 1,75 % in the dotation of the BIPM (the Federal Republic of Germany being already at the maximum contribution level) or a redistribution among those countries neither at the maximum nor at the minimum contribution levels.

Among other items discussed by the bureau had been : the purchase of *Metrologia*, the implications for the BIPM and the Convention du Mètre of the proliferation of bilateral agreements on the equivalence of standards and the possible need for the CIPM to take some action to improve worldwide uniformity of physico-chemical measurements. In addition some personnel and other BIPM matters had been considered, in particular the situation of BIPM pensioners following last year's decisions of CIPM concerning salary increases and pension contribution increases. As usual, various matters had also been dealt with by telephone and correspondence.

As a transitional arrangement Prof. de Boer had kindly agreed to attend meetings of the bureau this year.

Convocation to the 19th CGPM

The draft Convocation to the 19th CGPM distributed to members for consideration at this meeting of CIPM is the result of detailed discussion by the bureau of the Comité. In financial terms it represents a compromise between what is desirable for the proper development of the BIPM and what is the maximum acceptable to member nations. As a consequence of the recent decision of the DDR to join the FRG, the annual dotation for 1991 and 1992 will, unless redistribution takes place, decrease by 1,75 %. The bureau proposed that this decrease should not, as might be argued, be made up by redistributing the amount (some 300 000 gold francs) among those countries paying neither at the maximum nor at the minimum, but instead it should be accepted and the decrease used as an additional argument for an increase of the level of contributions at the 1991 CGPM. This proposal met with the unanimous approval of the Comité.

The Secretary reminded members that following a request made at the 18th CGPM, documents for the 19th CGPM including the Convocation, are being prepared in English as well as French, although only the French version is the official one.

Metrologia

In June of 1990 final agreement was reached for the purchase of *Metrologia* from Springer-Verlag. The transfer will take place on 1st January 1991 with volume 28 of the journal.

The Director reported to the bureau that the attitude of Springer-Verlag throughout the discussions was positive and most helpful and he had expressed his thanks for this on behalf of the Comité to the Directors of Springer-Verlag.

It is clearly very much to our advantage to make every effort to increase the number of subscribers to *Metrologia*. One of the remarks made by Springer-Verlag during the negotiations was that a journal appearing six times per year is likely to be more successful than one appearing (like *Metrologia*) four times per year. With this in mind two additional issues are being arranged for 1991. One will be the proceedings of a Conference on Absolute Radiometry due to be held in Davos (Switzerland) in September 1990 and the other is a special issue to contain commissioned articles on the theme of « Nanometrology ». The cost of the first of these will be heavily subsidized by the Conference fee but the costs of the second will be borne by the BIPM.

Now that *Metrologia* is to become wholly the property of the BIPM the bureau urges all members of CIPM to take every opportunity of publicizing it.

Dr Joshi suggested that a small brochure be prepared describing the journal, and that complimentary copies be sent to eventual subscribers.

Bilateral agreements on equivalence of national standards

A number of bilateral agreements have now been signed on the equivalence of national standards between member nations of the Convention du Mètre. The bureau discussed implications that the proliferation of such agreements might have not only for the BIPM and the Convention, but also for national laboratories. The bureau decided that a discussion should take place on this subject at the CIPM meeting and had prepared a draft Resolution to the CGPM, making allusion to these agreements, as a basis for the discussion of the Comité. (The draft Resolution was not adopted by the Comité; see Section 8 below).

Worldwide uniformity in chemical and physico-chemical measurements

Worldwide uniformity and traceability of physical measurements is ensured by the Convention du Mètre and the BIPM acting in close liaison with the national metrological laboratories. There appears to be a problem in ensuring similar uniformity and traceability in chemical and physico-chemical measurements at the highest level of accuracy.

The bureau proposed that the CIPM establishes an *ad-hoc* Working Group, made up of representatives from the major national laboratories, to examine the problem and make a recommendation on whether or not the CIPM should take further action.

BIPM pensions

At last year's meeting the CIPM decided to increase the staff contributions to the pension fund from 5 % to 9 % of salary and at the same time to increase salaries by 4,5 %.

The Comité also decided not to adjust the then existing BIPM pensions by an equivalent increase of 4,5 %. Strong representations were subsequently made by the staff Salaries and Statutes Commissions to have this decision reviewed.

After careful consideration and discussions with representatives of the staff, the bureau recommends to the Comité the following: that BIPM pensions be increased by 2,25 % from 1st January 1990 then by a further 2,25 % on 1st January 1991 and that the budgetary contribution to the pension fund be increased accordingly. After some discussion the proposal was accepted by the Comité.

4. Draft Convocation to the 19th Conférence Générale

The Secretary presented to the Comité for discussion the draft Convocation to the 19th CGPM.

He reminded members that this was the only occasion they would have to modify the proposed text. This document must be sent to the

printers before the end of October 1990, to be distributed to member nations in December 1990.

A detailed discussion then took place on the text.

Some minor changes were introduced in the wording of different points of the Agenda, and the draft resolutions were discussed and approved in their final version. Draft Resolution A on « Time standards and time comparisons » was approved: it is a condensation into a single resolution of the various recommendations of the CCDS. Draft Resolution B on « The Josephson and quantum-Hall effects » was approved, with slight changes in the wording. Draft Resolution C on « The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90) and future work in thermometry » was approved. A short draft Resolution D « SI prefixes zetta, zepto, yotta and yocto » was added to Item 14 of the Agenda (The International System of Units) and approved.

The Secretary presented the draft of Section 16, the Annual dotation of the Bureau International des Poids et Mesures for the period 1993 to 1996. It was agreed that the starting point for the dotation for the period 1993 to 1996 should be the dotation voted by the 18th CGPM for the year 1992 reduced by 1,75 % (the contribution of the German Democratic Republic) but that an extra 625 000 gold francs for the purchase of clocks and equipment for the Time Section should then be added. The amount thus obtained should be taken as the base for the calculation of the dotations for the years 1993 to 1996. Starting from this base, it was agreed that an annual increase of 7 % should be requested.

5. Consultative Committees

Since the last CIPM meeting, the Comité Consultatif des Unités (CCU) had held its 10th meeting, on 10th and 11th July 1990, the Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie its 12th meeting from 17th to 19th of September 1990 and the Working Group on Mass Standards of the Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées had held a meeting at the BIPM on 2nd and 3rd November 1989.

5.1. Comité Consultatif des Unités

Prof. de Boer, President of the CCU, presented the report of his committee.

A 6th edition of the SI brochure is in preparation, the principal changes are in Appendix II « Practical realization of the definitions of some important units », resulting from the adoption of the ITS-90 and the changes in the representations of the volt and the ohm.

After some discussion on a proposal by Dr Quinn the Comité agreed not to include in the SI brochure any mention of the changes recently observed in the mass of the international prototype of the kilogram as this is a purely scientific matter and a possible source of misunderstanding by the wider public to which the brochure is addressed.

A discussion took place on the choice between the symbol «l» or «L» for the litre, and it was decided to make no recommendation. New symbols for prefixes were proposed (zetta 10^{21} , zepto 10^{-21} , yotta 10^{24} and yocto 10^{-24}) and members of the CIPM prepared and approved a draft Resolution D to be submitted to the 19th CGPM. The question of a symbol for quantities of dimension 1 was discussed, but it was decided to leave this to ISO. A proposal that the definition of the ampere should be modified to make it clearer that the current should flow in both wires was not accepted. It was considered that the definition was already sufficiently clear.

5.2. Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie

Dr Blevin, President of the CCPR, presented a short report of the 12th meeting. He said that it was the first meeting to have taken place since BIPM started to develop a capability in the field of spectroradiometry.

The CCPR considered the outcome of the recommendations made at the 11th meeting in 1986: as recommended, the values ascribed to the BIPM standards of luminous intensity and luminous flux have been adjusted as from 1st January 1987 so as to agree with the mean results of the 1985 international comparisons. They now comply as closely as is practicable with the present definitions of the candela and the lumen.

Similarly national laboratories had adjusted the values of their standards to comply with the present definitions. The magnitudes of these adjustments, and of any residual differences from the BIPM scales, have been published in *Metrologia*.

The NIST reported adjusting its photometric standards by $-0,4\%$ as from 1st July 1990, thus bringing them closer to the 1985 international means.

An attempt by a Working Group to explain why certain differences between national laboratories in the 1985 luminous intensity comparison were non-random had been largely unsuccessful.

In an international comparison of spectral irradiance measurements over the wavelength range 200-2 400 nm, involving 13 national laboratories, there was agreement to within about $\pm 1\%$ in the visible region, but much larger divergences were found in the ultraviolet and infrared.

In a pilot comparison of spectral responsivity measurements at the three infrared wavelengths used in optical communications (850, 1 300 and 1 550 nm), the four national laboratories involved had mean results

which agreed to within about 0,3 %. This indicates that the much larger differences being encountered in optical power measurements in the communications industry arise from some cause other than the basic national standards. An extension of the comparison to include 13 national laboratories is due for completion in 1991.

A half-day was devoted to a discussion of the potential of synchrotrons and electron storage rings as standards for spectroradiometric quantities. Five national laboratories already had relevant experience to report and two others were planning to become involved. It was agreed that these devices now yield comparable accuracy to high-temperature blackbodies in the visible region, while becoming increasingly superior as one moves through the ultraviolet to the soft X-ray region.

A new Working Group was established to improve the worldwide uniformity of spectroradiometry in the air-ultraviolet region, taking into account both traditional techniques and developing techniques such as synchrotron radiation.

It was agreed not to conduct new photometric international comparisons until after the next CCPR meeting, tentatively scheduled for 1994. In preparation, however, a Working Group was established to assess the availability of $V(\lambda)$ corrected detectors suitable for a comparison of illuminance measurements.

The BIPM is to serve as the central laboratory in an international comparison of spectral responsivity measurements on silicon photodiodes in the ultraviolet, visible and near-infrared regions. This will be the first use by CCPR of the BIPM's recently established capability in spectroradiometry.

It was agreed that cryogenic, electrically-calibrated radiometers are the most accurate standards available for measuring radiant power, and that there should be an international comparison of these after 1994 when more national laboratories will be using them. The BIPM was requested to prepare a recommendation on the most appropriate artefact for use in such a comparison.

There was concern about the uncertain availability from commercial sources of lamps suitable for use by national laboratories in maintaining and comparing their photometric and radiometric units. A Working Group was established, with the BIPM as convener, to assess the situation and make appropriate recommendations.

After a short address on this work and a visit to the laboratories, the CCPR expressed its pleasure with the BIPM's rapid and successful entry into the field of spectroradiometry. It was agreed that the new comparisons and Working Groups give the BIPM adequate guidance for its own work in radiometry and photometry over the next few years.

The meeting considered a report on relevant activities in the International Commission on Illumination, and a diverse range of other matters. Representatives of the national laboratories made short statements of their main new developments in radiometry and photometry.

The CCPR continues to pursue vigorously a collaborative programme to promote greater uniformity of measurement, and reduced uncertainties, in photometry and radiometry. More and more the emphasis is moving to radiometry and spectroradiometry, with photometry being regarded as an important application of these more basic fields. New devices such as cryogenic electrically-calibrated radiometers, silicon photodiodes of calculable quantum efficiency and electron storage rings are providing national laboratories with access to more accurate standards. The transfer of this increased accuracy to industry, and even to comparisons between national laboratories, continues to be impeded, however, by a lack of sources and detectors of adequate stability and robustness for use as secondary standards.

The CCPR was very impressed by the progress of the work made at the BIPM in photometry and radiometry over the past few years. New international comparisons and the participation of the BIPM in the Working Groups will occupy the staff of the BIPM for the next few years. No recommendations were prepared for the CIPM. Dr Blevin ended by saying that it had been a very good meeting of the CCPR.

5.3. Working Group « Mass Standards » of the Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées

Prof. Bray, President of the CCM, presented the report (previously distributed to members of the CIPM) of the meeting of the Working Group « Mass Standards » of the CCM, held on 2nd and 3rd of November 1989 at the BIPM, at the request of the CIPM to consider questions arising in relation to the third verification of national prototypes of the kilogram.

The conclusions of the CCM Working Group were the following :

— in the light of recent experiments conducted at the BIPM, additional specifications must accompany the 1889 definition of the kilogram in order to eliminate, to the extent now possible, ambiguities in its realization via the international prototype,

— the least ambiguous physical condition to which the mass of the international prototype can, at present, be referred is that immediately after cleaning and washing by the BIPM method,

— this mass should be inferred by extrapolation from values observed during the weeks following cleaning and washing,

— the above considerations are embodied in the wording adopted by the CIPM at its meeting in September 1989, that for the purposes of the third verification of national prototypes of the kilogram, the mass of the international prototype referred to in the 1889 definition of the kilogram, is taken to be the mass immediately after cleaning and washing using the BIPM procedure and that this mass be deduced by extrapolation.

The CCM Working Group, with respect to national prototypes sent to BIPM for the third verification, concluded that :

— in light of recent research conducted by the BIPM, national prototypes should be cleaned and washed twice at the BIPM prior to their verification ; the method of cleaning should be the same as is used for the international prototype,

— national laboratories should be advised that, immediately after cleaning and washing by the BIPM, national prototypes may be expected to gain mass at rates and within uncertainties which have been documented,

— if a national laboratory cleans and washes its prototype according to the BIPM method, the mass of that copy may be expected to return essentially to the reference value given by the BIPM ; uncertainties associated with this reference value can best be quantified after completion of the third verification.

The CCM Working Group, taking note of the important role played by the BIPM method of cleaning and washing in the preceding conclusions, recommended :

— that the BIPM provide national laboratories with specific details concerning all important aspects of the BIPM method of cleaning,

— that research proceed at the BIPM and at national laboratories with the aim of elucidating the nature of the contamination of platinum-iridium prototypes and the physical effects of various cleaning methods,

— that national laboratories wishing to find improved cleaning techniques for platinum-iridium copies be encouraged to pursue this goal. The possible fruits of such research should not, however, be applied to the third verification, which is already well under way.

Professor Bray summarized these conclusions by saying that the earlier decision of the CIPM (*BIPM Proc.-Verb. Com. Int. Poids et Mesures*, 57, 1989, p. 104) concerning the international prototype had been supported and it was recommended that national prototypes participating in the third periodic verification should be treated in the same way.

Prof. Bray then proposed that the next meeting of the CCM should take place on 30th and 31st May 1991 at which preliminary results of the third verification will be discussed. This was agreed.

Prof. Bray then briefly summarized the work of the Working Groups on pressure :

— Low pressures : report on the results of the comparison of capacitance diaphragm gauges is in preparation ;

— Medium pressures : comparison with pressure balance standards is under way ;

— High pressures : the Working Group was very active. The proceedings of the seminar held at the LNE on 24th and 25th May

1988 have been published (*BIPM Monographie 89/1*) and are obtainable from the BIPM. The international comparison from 20 MPa to 100 MPa was concluded and the results are being prepared.

A brief discussion then took place on the various ideas now being examined for a new definition of the kilogram.

5.4. Reports of the Presidents of the Consultative Committees to the Conférence Générale des Poids et Mesures

The presidents of the Consultative Committees will have to prepare reports on the activities of their committees for the 19th Conférence Générale and it was agreed that drafts should be sent to BIPM before the beginning of April 1991. Exceptions were made for the CCM and CCEMRI which are due to meet in May.

5.5. Future meetings of the Consultative Committees

The President reminded the Presidents of the Consultative Committees that dates should be agreed for future meetings. The following were agreed :

CCDM	Spring 1992.
CCDS	No date for the moment.
	A meeting of a Working party of the GPS Working Group for the improvement in the reception and standardization of the GPS will be held in 1991.
CCE	June 1992.
CCEMRI	21-24 May 1991.
CCM	30-31 May 1991.
CCPR	September 1994.
CCT	no date for the moment.
CCU	no date for the moment.

5.6. Presidencies of the Comité Consultatif d'Électricité and of the Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants

The President reminded the members of the CIPM that two Consultative Committees will soon be without Presidents: the CCE, whose President was previously Dr Ambler, and the CCEMRI whose President was Dr Dean. The President reported that Dr Sala had agreed to replace Dr Dean as President of the CCEMRI.

As regards the Presidency of the CCE no nomination was at present being made but, at the suggestion of Prof. de Boer, Prof. Kind agreed to become President of CCE *ad interim*.

6. Work of the BIPM: Report of the Director

Dr Quinn introduced the presentation by the staff of the BIPM of the scientific work carried out since the previous meeting (*see* Director's report p. 107 of this volume).

At the end of the presentation, the President, in the name of the CIPM, thanked the physicists for their very interesting accounts of the work of past year and prospects for the future.

He then said a few words on the career of Prof. Guinot, mentioning his long list of national (at the Observatoire de Paris) and international functions in relation to time services. He drew particular attention to his functions as Director of the BIH, member of the CIPM and President of the CCDS. He thanked him for his role in the establishment of the TAI and the integration of the Time section of the BIH at the BIPM, guaranteeing the continuity of the work on time. He congratulated him for his success in this work and presented best wishes for the future.

Prof. Guinot thanked the President for his compliments, saying that he was very pleased with the success of the transfer of the time services at BIPM, something which had been planned since 1971. The six years he had spent at BIPM had been very pleasant ones.

7. Worldwide coordination of chemical and physico-chemical measurements

Worldwide uniformity and traceability is increasingly being demanded in chemical and physico-chemical measurements. There seems to be a problem in establishing such uniformity and traceability owing to the absence of international coordination in this field at a high enough level. Dr Quinn gave a brief outline of how the problem had been presented to him with the request that the CIPM take some action.

The identification of global trends in the state of the biosphere and the evaluation of the effects of trace elements in the environment are only possible on the basis of reliable data. Such data are obtained by a combination of physical and chemical measurements and they are reliable only to the extent that the units, standards and methods used for these measurements are themselves accurate and reliable. A significant proportion of industrial production and international trade is dependent on analytical measurement. The uncertainty in the validity of many of these measurements means that a considerable number of repeat measurements is made particularly by regulatory agencies on imported products. Not only is this a costly process but it also impedes the free flow of international trade.

In physical measurement, international uniformity and accuracy are ensured through the national standards laboratories working with the BIPM under the authority given to it through the Convention du Mètre. The need for increasing worldwide uniformity and accuracy in physical measurement is accepted without question as being essential for the progress of advanced technology. The requirement for international uniformity and accuracy in chemical and physico-chemical measurement has been met in a much less formal and less coordinated way. The SI applies equally to physical and chemical measurements and it was at the request of the chemical community expressed through the International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), among others, that the mole was made one of the base units of the SI. The existence of the mole as a base unit of the SI, together with the worldwide uniformity in the realizations of the other base units, has to a large extent satisfied the needs up to now. In addition, the activities of IUPAC, with its many expert working groups, and of other international unions, under the auspices of ICSU, maintain a close international network of contacts at the working level.

The very special chemical and physico-chemical measurements now required for the purposes mentioned above, are much more demanding than was the case in the past and it is becoming clear that international uniformity does not exist at the required level of accuracy. Problem areas include the measurement of trace impurities in coastal and oceanic sea water, the determination of toxic impurities in food and contaminants such as dioxins in the atmosphere. The prospect of the need for cross-border acceptance of a wide range of chemical and physico-chemical measurements, in part due to the 1992 European agreements but also on a wider international scale, is a further driving force for improved international uniformity in these types of measurement. The difficulty that seems to exist in taking the steps to achieve the required international uniformity is that there does not exist, at the highest level, an appropriate forum within which discussions can take place.

The President then informed the Comité that the bureau of the Comité, after a preliminary discussion, had come to the view that the problem requires further study and proposes that the CIPM establish for this purpose an *ad-hoc* Working Group consisting of expert representatives from some of the major national laboratories to advise the CIPM on what action, if any, should be taken.

Many members of the Comité expressed the view that the Comité should be very cautious about becoming involved in this field. The problems are by no means as clear-cut as in physical measurements and arise at levels of activity below those at which the Comité normally intervenes. The great majority of chemical and physico-chemical measurements are made in terms of standard reference materials and in this field the CIPM is ill-equipped to take any action. The CIPM should hesitate to become involved in fields in which its authority

would not carry the weight customarily accorded to it. Nevertheless, the opinion of the Comité was that an *ad-hoc* Working Group of the Comité should be established with the following terms of reference : «to advise the CIPM on whether or not the BIPM should have a significant role in addressing the problem of providing uniformity and traceability in chemical and physico-chemical measurements». The members chosen for the Working Group were Messrs. Iizuka, Kind, Kovalevsky, Lyons (Chairman) and Plebanski, and it was agreed that Messrs. Clapham and Poustovoit would also participate. Dr Lyons was asked to prepare a report for discussion at the next meeting of CIPM, in September 1991. It was understood that members would be free to nominate substitutes, expert in the field, to take part in the Working Group's discussions.

8. Bilateral agreements on equivalence of standards

A discussion took place on the need for, and role of, the bilateral agreements on equivalence of standards that now exist between a number of the member nations of the Convention du Mètre. Dr Quinn opened the discussion with a review of the background to these agreements the first of which had been signed between the USA and the UK in 1983 and the most recent between Canada and the USA, and Canada and the UK, in 1990. Although it is clear that the need for these agreements stems from particular contractual requirements in trade, they could have an influence on the activities of the BIPM.

The most recent agreements concern the fields of mass, time, length, voltage, resistance, capacitance and temperature and state the quantitative level at which agreement is said to exist. It is implied in these agreements that most of the comparisons upon which these quantitative statements are based were carried out under the auspices of the BIPM although bilateral comparisons are also mentioned. For some agreements, special bilateral comparisons of standards were in fact carried out. In the opening paragraph of these agreements the Convention du Mètre is cited.

Dr Quinn then pointed out that there is an aspect of these bilateral agreements that may not be good for the Convention du Mètre and the SI. The proliferation of such agreements may be deleterious to the worldwide metrological coherence of the SI, because they could lead the major national standards laboratories into a many-sided and complex web of agreements that will become increasingly difficult to coordinate and expensive to maintain, and would tend towards the exclusion of smaller countries from important, international comparisons.

While accepting that these bilateral agreements had become necessary, Dr Quinn proposed that more emphasis be placed by the BIPM on

the carrying out of international comparisons, at the highest level, of the base and most important derived units. In this way the BIPM could provide the data upon which these bilateral agreements would be based. In the discussion that followed, Prof. de Boer said that the role of the BIPM was to help the basic needs of national laboratories at the highest level.

Dr Blevin remarked that the scope of the bilateral agreements was different from that of the international comparisons organized by the BIPM. Bilateral comparisons are quicker to conduct and are specifically made for reasons of trade. He asked what is the capacity of the BIPM for further comparisons.

Dr Quinn replied that the Electricity and Laser Sections could do more in the future, but that it was obviously impossible for the moment to do more in the Mass section as the third periodic verification was under way, and that plans already exist for new comparisons in spectroradiometry.

Dr Plebanski said that it was important to inform the BIPM of bilateral comparisons, and to conduct them only when the BIPM was not able to do so. Using the BIPM is the most efficient way to ensure uniformity of measurements.

Prof. Bray remarked it might be useful to inform and consult the BIPM when such bilateral agreements were being prepared.

The President summarized the discussion saying that national laboratories should contact the BIPM to see whether or not comparisons that appear necessary should be organized through the BIPM.

The members of the CIPM agreed that this had been a useful discussion, but that there was no need to make any formal recommendation on bilateral agreements. These do not in any way interfere with the activities of the BIPM, instead they offer a positive contribution to the BIPM work. The draft Resolution proposed by the bureau of the Comité was not, therefore, adopted.

9. Revision of the regulations for calibrations at the BIPM

A document has been prepared at the formal request of the CIPM to inform users (members and non-members of the Convention du Mètre) on the principles and procedure of the calibration services of the BIPM. This document, accepted in the following form, will be updated when necessary.

It was noted that non-member nations would have to pay twice the estimated cost of the calibrations (staff time, equipment, consumable), a tariff set by the Director of the BIPM in accordance with the policy approved by the CIPM.

THE CALIBRATION OF STANDARDS AND INSTRUMENTS
AT THE BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

Contractual provisions

1. *General*

The Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) offers a service for the calibration of standards and instruments. Calibrations are normally carried out for the designated national laboratories of Member States of the Convention du Mètre but, at the discretion of the Director, calibrations may also be done for laboratories of States which are not Members of the Convention du Mètre or, with the approval of the designated laboratories, for organizations from Member States which are not the designated laboratories of these States.

2. *Range of facilities*

A list of the quantities and ranges within which calibration may be undertaken is available from the BIPM. This list is subject to change consequent upon advances in metrology, the requirements of the national laboratories of the Member States and decisions of the Comité International des Poids et Mesures.

3. *Requests for calibration*

The BIPM will acknowledge all requests for calibration and indicate a likely schedule. Standards or instruments should be sent to the BIPM only after such acknowledgement has been received and should then be accompanied by a « Request for calibration » form.

Forms covering each category of standard or instrument are available on request from the Director.

4. *Movement of equipment*

A receipt will be issued for any standard or instrument received for calibration at the BIPM. The receipt will note distinguishing marks and any visible evidence of defects or damage.

Following calibration the BIPM will either hand over equipment to a duly authorized person or, if requested, send it by post or by a commercial delivery service.

The means of transport to and from the BIPM, in all cases, will follow the choice of the owner who must also accept the risks of transport. On request the BIPM will give advice on the appropriate means of transport for any particular piece of equipment.

5. *Schedule for calibration*

The BIPM will carry out calibrations with all due speed consistent with the care and attention required and with demands for other work at the time. The BIPM will provide an indication of the probable schedule for any particular task but will not be bound to complete a calibration by any set date.

6. *Handling of equipment*

The BIPM undertakes to treat standards and instruments sent for calibration with all reasonable care but, in the event that damage does occur at the BIPM, the Bureau's financial responsibility where any fault might be imputed to the BIPM will be limited to the cost of repair or replacement of the said standard or instrument. In the case of any particularly delicate or expensive instrument or standard the owner is advised to take out a special insurance. In any dispute arising from the application of this clause the decision of the Comité International des Poids et Mesures will be final. This provision is a condition of the acceptance of equipment for calibration.

7. *Certification*

A Calibration Certificate signed by or on behalf of the Director will be issued on completion of work on any standard or instrument calibrated at the BIPM.

Standards or instruments found on examination to be unsuitable for calibration will be returned either with or without a Study Note.

8. *Charges*

No charge is made for calibrations carried out for the designated laboratories of Member States of the Convention du Mètre. The costs of transport to and from the BIPM, insurance and any customs duties and formalities are the responsibility of the owner.

A charge is made for other calibrations following a tariff set by the Director in accordance with a policy approved by the Comité International des Poids et Mesures. In certain cases pre-payment of the charge may be required.

10. Financial and administrative affairs

The President welcomed Miss Perent, the administrator of the BIPM, and presented the « Rapport annuel aux Gouvernements des hautes parties contractantes sur la situation administrative et financière du Bureau International des Poids et Mesures en 1989 », and the report of the auditors for 1989. The reports were approved unanimously and the required formal discharge was given to the Director of the BIPM.

A draft budget for 1991 was presented. The amount of the contributions from Member States takes into account the reduction of 1,75 % in the dotation corresponding to the contribution of the German Democratic Republic, as a consequence of the decision of the German Democratic Republic to become part of the Federal Republic of Germany.

Among major expenses foreseen for 1991 is the removal of the workshop from its present site in the Petit Pavillon to the ionizing radiation building.

Dr Quinn informed the members of the CIPM that there will probably be two one-year research fellows in 1991 : one for the Length Section, the other for the Ionizing Radiation Section.

For 1991, the budget for *Metrologia* will be in a separate account from the BIPM budget. It will appear separately in the Rapport annuel. The provisional budget for 1991 was approved.

BUDGET FOR 1991

INCOME

gold francs

Budgetary income :

1. Contributions from Member States	19 449 420
2. Interest on capital	1 000 000
Total	<u>20 449 420</u>

EXPENDITURE

A. Staff expenses :

1. Salaries	10 438 000	} 15 058 000
2. Family and social allowances	1 687 000	
3. Social Security	1 039 000	
4. Industrial injuries insurance	207 000	
5. Pension fund	1 687 000	

B. Operating expenses :

1. Furniture	30 000	} 2 923 000
2. Laboratories and workshops	966 000	
3. Heating, water, electrical energy	432 000	
4. Insurance	53 000	
5. Printing and publications	243 000	
6. Office expenses	403 000	
7. Travel expenses and freight charges ...	374 000	
8. General maintenance	362 000	
9. Bureau du Comité	60 000	

C. Capital expenditure :

1. Laboratories	1 800 000	} 2 063 000
2. Mechanical workshop	53 000	
3. Library	210 000	

D. *Buildings* (major maintenance and renovation) 305 420

E. *Miscellaneous and unforeseen expenses* 100 000

Total **20 449 420**

11. Other business

11.1. Changes in membership of the CIPM

Dr Dean retired from NPL at the end of March 1990 and had been succeeded by Dr P. Clapham. The bureau of the CIPM had asked him to remain a member of the CIPM until the end of this meeting. Dr Dean had acceded to this request but his resignation now takes effect. The President thanked Dr Dean for his contribution to the work of the Comité. The President then informed the members that he had received a letter of resignation from Dr Mekhannikov who has left the Gosstandart and been replaced as Vice-President by Dr Poustovoit. There will thus be two vacant seats on the CIPM. The Comité then proceeded to private discussions on possible candidates.

11.2. Honorary member of the CIPM

The Comité then proceeded to the election of Dr Ambler as «Honorary member» of the CIPM, to thank him for his many contributions during his long membership of the CIPM and for his dynamism as President of the CCEMRI and CCE. The recent adoption of the conventional values for the Josephson and quantum Hall effect constants owes much to his efforts. Members of the CIPM voted unanimously in favour of this proposal. The President undertook to inform Dr Ambler.

11.3. Promotions of grade of BIPM staff

The departure of Dr Guinot requires the appointment of a new head of the Time Section of the BIPM and the person chosen is Dr C. Thomas. The Director of the BIPM proposed her for election as «Physicien principal (adjoint)». The Secretary supported this proposal and said he was very much in favour in view of how she had quickly integrated into the work of the BIPM. As head of the Time Section, she has all the technical and personal qualities required, but she should also have the corresponding rank. She was elected unanimously.

11.4. Next CIPM meeting

The CIPM decided that the dates of the next CIPM meeting will be as follows :

September 26th to September 27th, 1991.

The President of the CIPM closed the 79th meeting of the CIPM thanking everyone present for having contributed to a successful meeting. As it was the last meeting before the 19th CGPM, he once more reminded chairmen of consultative committees of their duty to prepare reports for the CGPM. Before closing he once again thanked Dr Dean for the contributions he had made to the work of the CIPM and wished him all the best for the future.

DIRECTOR'S REPORT
ON THE ACTIVITY AND MANAGEMENT
OF THE BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
(October 1989 - September 1990)

I. — STAFF

Appointments

David Alexander BLACKBURN, born 28 June 1933 in Edinburgh (United Kingdom), previously Professor of Engineering Science and Director of the Oxford Research Unit in the Open University (United Kingdom), was appointed « physicien principal » from the 1 October 1989 ; he will more particularly be Editor of *Metrologia* and in charge of the BIPM publications.

Susanne PICARD, born 23 November 1959 in Stockholm (Sweden), previously Research Fellow in the Length section since 1 November 1987, was appointed « physicien » from 1 November 1989.

Gérard PETIT, born 7 November 1957 in Belleville-sur-Saône (Rhône), previously at the Institut Géographique National (Paris), was appointed « physicien » in the Time section from 1 March 1990.

Research fellow

Richard DAVIS, born 14 October 1945 in Hartford (United States of America), previously a physicist at NIST, was appointed as a Research Fellow in the Mass section from 28 May 1990 for a period of one year.

Transfer to a permanent post

Rosa PRIETO, contractual employee since 1 May 1984 as a cleaner, was confirmed on 1 January 1990, in the same employment with the grade of « agent d'entretien ».

Departure

R. P. HUDSON, « physicien principal », retired on 31 October 1989 after nine years of service as Editor of *Metrologia*.

II. — BUILDINGS

Observatoire

Continuation of the repairs to the roof.

Redecoration of an office for the Radiometry section.

Refurbishment of Room 16, previously partly used as a library, as a laboratory for the Electricity section.

Refurbishment of a small room in the roof space for the installation of a caesium clock.

Grand Pavillon

Redecoration of the two entrance halls.

Petit Pavillon

Redecoration of the caretakers' apartment.

Redecoration of the visitors' apartments.

Replacement of the central-heating boiler.

Ionizing radiation buildings

Redecoration of three offices.

Installation of a small workshop for engraving printed-circuits.

Erection of a small outbuilding for the short-term storage of low-level radioactive waste.

Outbuildings and park

Installation of an automatic watering system in the formal garden.

Replacement of damaged drains.

Repairs of storm damage resulting from fallen trees, and lopping of some dangerously situated trees.

III. — SCIENTIFIC WORK

1. General introduction

I began last year's Report with some remarks on the first results of the third periodic verification of national prototypes of the kilogram. Once again, I begin with the kilogram but this year the emphasis is rather different.

The prospect of independent methods of monitoring the stability of the international prototype of the kilogram and of even replacing it as the definition of the unit of mass, has aroused considerable interest in the metrology community and is not without significance for the BIPM. Taken together with the new information we have on the behaviour of the international prototype and its copies, this prospect has focused attention on the field of mass metrology in a way not seen for a very long time. Indeed, at the recent Conference on Precision Electromagnetic Measurements in Ottawa, a session was entitled « Replacing the kilogram ». In view of the possible implications for the work at the BIPM, I begin my Report this year with a brief summary of the present situation.

There now exist two, or possibly three, ways in which the long-term stability of the unit of mass might be tested. None have so far been proven at a level of accuracy such as would make the test at present worthwhile, but each shows promise of reaching such a level in the not too distant future. The first of these methods is through an experiment that allows a comparison of mechanical and electrical energies by means of a beam balance, the so-called « watt » experiment. Using a method devised by Kibble at the NPL a gravitational force, Mg , acting on a mass can be compared with an electromagnetic force whose value is given by $U^2/(Ru)$ where U , R and u represent a potential difference, a resistance and a velocity respectively. Thus, in principle, M can be measured in terms of a Josephson junction potential difference, a quantum-Hall resistance, a measured velocity and a measured value of the acceleration due to gravity g . The method has been demonstrated at the level of a few parts in 10^7 and is expected within two years to be improved by nearly a factor of ten. This is the most promising of the new methods. The second method is based upon the possibility of making an artifact of silicon having a known number of atoms and a known isotopic composition. There remain many problems yet to be solved in this method before an accuracy of 1 part in 10^7 can be reached and an improvement by another factor of ten to reach 1 part in 10^8 seems to pose insuperable problems. Only recently a third method has been proposed but it has yet to undergo serious examination. In this an ionized atomic beam will deposit both charge and mass on the pan of a balance. A measurement of the charge gives, in principle, a measure of the number of particles and hence the mass deposited.

Observations now being made at the BIPM on the short-term stability of the international prototype and its copies — some of which were reported in last year's Report (p. 128) — give no independent information on their long-term stability. We have, however, shown that a one-standard-deviation uncertainty of about $2\ \mu\text{g}$, or 2 parts in 10^9 , can apparently be achieved over periods of up to about one year in the maintenance of the unit of mass. Although individual mass comparisons are better than this, changes of $2\ \mu\text{g}$ or so do take place

during manipulation and movement of the mass between the balance and the place of storage.

The measurements made over the one hundred years since the international prototype and its copies were deposited at the BIPM do not by themselves give direct evidence for its stability. However, an estimate can be made on the basis of the relative changes that have taken place between the international prototype and its copies. These changes amount to $50\ \mu\text{g}$ in total, or $0,5\ \mu\text{g}$ per year. A reasonable, although largely unsupported hypothesis, is that the drift of the ensemble of Pt-Ir kilogram standards does not exceed ten times the relative drift between them. This hypothesis leads to a limit on the absolute drift of the international prototype of $5\ \mu\text{g}$ per year or 5 parts in 10^9 per year. On this basis, I have proposed that any experiment designed to monitor the long-term stability of the kilogram should itself have a proven stability not worse than 1 part in 10^8 per year.

The task of the BIPM in the immediate future is clearly to find out as much as possible about the short-term stability of Pt-Ir standards and the factors that influence it. The work described in this Report has been carried out with this in view. In the longer term the setting up at the BIPM of an experiment to monitor the stability of the kilogram is likely to become desirable. If, as seems probable, such an experiment would be one based upon the « watt » experiment, the capability of making accurate measurements of « g » at the BIPM must be maintained. An experiment of this sort would, of course, call upon expertise in both electrical measurements and balance design, both of which already exist at the BIPM.

Important developments are also taking place in the field of laser spectroscopy which in the future will strongly influence the work at the BIPM. In the short and medium term, however, the role of the BIPM in the laser field remains that of establishing lasers to reproduce the radiations recommended for the practical realization of the metre and to carry out international comparisons to provide the coordination required by national laboratories. Work described this year includes among other things, the development of a He-Ne laser stabilized on an iodine transition at a wavelength in the green of 543 nm. This radiation shows promise as a candidate for an additional radiation to be recommended for the realization of the metre. Of particular note this year has been the increase in demand, on the part of national laboratories, for calibrations of 1 metre line scales. The interferometric comparator has been heavily used and if this demand continues major refurbishments to the electronics will be required. This is a subject that must be discussed at the next meeting of the CCDM.

For the first time, a caesium-beam frequency standard is now in continuous operation at the BIPM. This is thanks to a generous loan by the US Naval Observatory (Washington, D.C.) made following a request by the CCDS. The domain of time scales is a rapidly developing

one and the BIPM plays an increasingly key role not only because of the establishment of TAI and diffusion of UTC, but also because of the many other coordination activities now demanded of it. A potentially important development in this respect is the introduction of a link with the GLONASS system of the USSR. The practical realization of clocks having accuracies two orders of magnitude better than the existing caesium-beam standards, although in prospect, is still some years in the future. Nevertheless, studies on the application of the theory of relativity to time scales show that any significant improvement in the accuracy of clocks will call for much more difficult and complex relativistic corrections than are made at present. We are engaged in these studies.

The forthcoming international comparison of 1 Ω and 10 k Ω resistance standards marks the significant change in electrical metrology that has taken place due to the discovery of the quantum-Hall effect. It will be the first full-scale comparison of resistance standards derived from quantum-Hall systems and it will also be the first international comparison begun largely at the initiative of EUROMET which made a request for such a comparison to the CCE. It is clear that a new era of international comparisons is beginning. These will be designed to verify that standards based upon a quantum phenomenon have been correctly realized. It is likely that such comparisons using Josephson junction arrays as transfer standards will be carried out to verify national representations of the volt. The need for such comparisons, or more particularly the need for the quantitative data included in the results of such comparisons, is now evident. It comes from the growth in international trade in high-technology products and the increasing requirement for international recognition of national standards in quantitative terms. The demands on the BIPM to carry out or coordinate such comparisons are likely to increase.

We have continued to build up our expertise in the field of spectral radiometry. Further studies have been made of the self-calibration technique and of the properties of silicon photodiodes, in particular the effects of water adsorption on the surface.

The introduction of the ITS-90 has required the realization of a number of platinum-resistance thermometers used in various sections of the BIPM. This has provided the occasion for renewing and improving the equipment for the realization of the melting point of gallium. We are now able to provide high-accuracy calibration on the ITS-90, for internal use, in the range from 0 °C to 30 °C.

In the dosimetry part of our work on ionizing radiations, our efforts have been devoted to the characterization of the new ^{60}Co beam and the determination of the absorbed dose to water for ^{60}Co . At the suggestion of Section III of the CCEMRI we have measured the spectrum of neutrons from the BIPM source. In the field of activity of radionuclides, the examination of the results of the trial comparison of

^{75}Se has been completed. In addition we have followed the suggestion of Section II of the CCEMRI and started work to extend the range of the International Reference System (SIR) for radionuclides. A liquid-scintillation system is being set up to allow the measurement of β and α emitters. A new approach to coincidence measurement through correlation counting seems to open the possibility of making a direct measurement of the number of true coincidences. Work is in progress to construct the necessary « modulo-2 » counting circuit, i.e. one that is sensitive to the parity of the pulses registered in a given time interval.

The arrangement of this Report closely resembles that of last year's. The report of each section's work is self contained and includes publication, travel, etc. To avoid duplication, when a visit includes a lecture it may appear either under the heading of « Lectures » or « Travel » depending upon the main purpose of the visit.

1.1. Publications, lectures, travel not directly related to individual sections

1.1.1. External publication

QUINN, T. J. News from the BIPM. *Metrologia*, **27**, 1990, pp. 11-15.

1.1.2. Travel (committees, visits to laboratories and institutions)

T. J. Quinn visited :

— Lisbon (Portugal) from 13-16 March 1990 for a meeting of EUROMET ;

— Bern (Switzerland) on 28 and 29 March 1990 where he gave two lectures at OFMET on « The BIPM, its role today » and « The ITS-90 » ;

— Geel (Belgium) on 10 and 11 May 1990 for the 30th anniversary celebration of the CBNM of the European Joint Research Centre ;

— Ottawa (Canada) from 10-17 June 1990 to attend CPEM'90, to hold a meeting of his CODATA Task Group on Fundamental Constants and to take part in a meeting of the NRC Advisory Committee on Standards ;

— Habana (Cuba) from 12-14 February where he attended the 2nd International Conference on Metrology and gave a lecture « The BIPM and the Convention du Mètre ».

2. Length (J.-M. Chartier)

2.1. General remarks

The work of the length section this year has been divided between lasers, including comparisons of BIPM lasers with those of national laboratories, and interferometry. We have been subject to a much increased demand for measurements of 1 m line scales using the photoelectric and interferometric comparator and our level of activity in this field has increased to the level it had ten years ago.

In the field of stabilized lasers, two comparisons with national laboratories have been carried out at the BIPM with lasers operating at a wavelength of 633 nm. We have also made a major contribution to the realization of the first wavelength standards of some countries of the Convention du Mètre. Concerning the other wavelengths recommended for use as length standards, a major piece of work has been completed at $\lambda = 612$ nm and the heterodyne spectroscopy technique has been tried on the new argon laser at $\lambda = 515$ nm.

R. Felder has spent this year at the Joint Institute for Laboratory Astrophysics, Boulder (USA) and hence little work has been carried out at the BIPM this year on methane-stabilized lasers at $\lambda = 3,39$ μm but we have begun work on CO₂ lasers working at $\lambda = 10,6$ μm . As a continuation of the development of a standard at $\lambda = 543$ nm we have made some preliminary measurements using the Michelson interferometer in order to determine the wavelength of the green He-Ne radiation.

2.2. Classical length measurement (L. Robertsson, J.-M. Chartier)

An unusually heavy programme of length measurements has been completed during the year. Work started with reference measurements on the BIPM line scale No. 12924, and gave results which agreed to better than 10 nm with those obtained in 1987. Length determinations of national scales from Nigeria and Poland have been made, and four other lines scales and gauges from USSR and Dem. People's Rep. of Korea remain to be measured. Minor maintenance has also been carried out together with a calibration measurement of the frequency of the Lamb-dip stabilized He-Ne laser used in the line-scale comparator.

If the revival of work on classical length measurements continues, we will have to make numerous modifications to the photoelectric and interferometric comparator, almost certainly with the help of the Société Genevoise d'Instruments de Physique which originally constructed the apparatus. We thank our former colleague Mr P. Carré for a new version of the control and evaluation software for the length and wavelength measurements.

The platinum prototype No. 17 C, property of the French government, was returned to the Établissement Technique Central de l'Armement (Arcueil) on 13 December 1989.

2.3. Lasers

2.3.1. Iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda = 633$ nm using internal cells (J.-M. Chartier)

i) Comparisons between the BIPM lasers

The two travelling lasers (Nos. 10 and 4) have been compared, respectively, once and four times with one of our stationary lasers (No. 2). All the frequency differences were within ± 1 part in 10^{11} .

The laser used in the BIPM transportable gravimeter (BIG) has been checked twice against lasers Nos. 2 and 10, before and after the third international comparison of gravimeters. We found :

September 1989 $f_{\text{BIG}} - f_2 = +6,2$ kHz (in the laser laboratory),

December 1989 $f_{\text{BIG}} - f_{10} = +6,9$ kHz (in the gravimetry laboratory).

ii) International comparisons

Two comparisons have been carried out at the BIPM with the national laboratory of Sweden (one laser) and that of Yugoslavia (two lasers). Preliminary results give, respectively :

$$f_{\text{SP1}} - f_2 = - 8,0 \text{ kHz}$$

$$f_{\text{Y1}} - f_4 = + 29 \text{ kHz}$$

and

$$f_{\text{Y2}} - f_4 = - 16 \text{ kHz}.$$

We have not only measured the frequencies of the lasers but have also checked each part of the laser and its servo, as we observed frequency off-sets during the preliminary measurements.

The two iodine cells used in the laser from Yugoslavia were also checked in a BIPM laser. The results agree with those given above.

Two other lasers built, by ETCA (France), for Belgium and, by Sextant Avionique (France) for Poland have also been checked. Laser comparisons will be organized between the BIPM and these countries in the next few months.

This year twelve iodine cells were filled and checked.

2.3.2. Iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda = 612$ nm using internal or external cells (L. Robertsson)

A major effort, during the last one and a half years, has been put into the reconditioning of the lasers operating at 612 nm currently in use at the BIPM. The four systems now function at close to their expected performance. These systems are equipped with either internal or external iodine cells. Studies of their spectral features using beat frequency spectroscopic equipment have begun. They reveal characteristic differences in the behaviour of these two types of system.

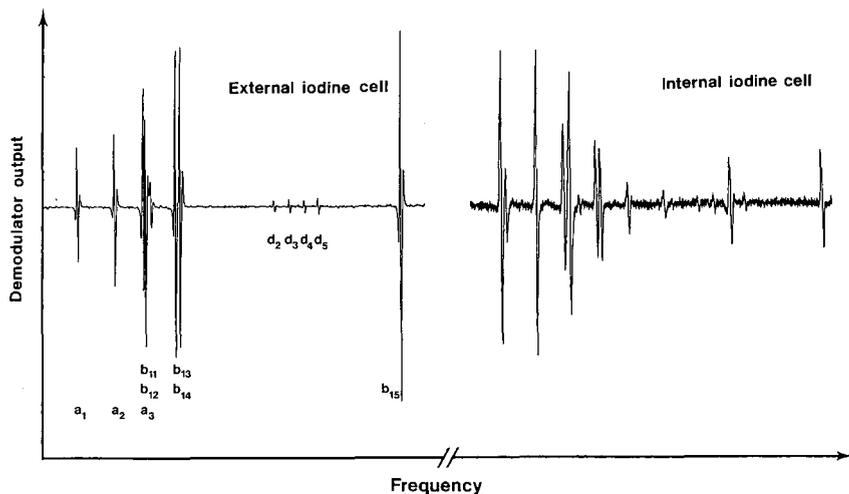


Fig. 1. — Saturated absorption spectra (third harmonic) of the hyperfine components of the lines P(47) 9-2, P(48) 11-3 and R(48) 15-5 of $^{127}\text{I}_2$ at $\lambda = 612$ nm of two lasers using external (left) and internal (right) iodine cells.

Figure 1 shows parts of two spectra recorded with $\lambda = 612$ nm lasers. The left hand trace is from a system with an external iodine cell, the right hand one is from a system with an internal iodine cell. Based on such studies the choice of configuration for future $\lambda = 612$ nm reference systems at the BIPM will be more firmly grounded.

2.3.3. Argon lasers (S. Fredin-Picard, L. Robertsson)

i) Ar^+ at $\lambda = 502$ nm

The permanent experimental arrangement, with which the relative impurity concentration in iodine cells can be tested using a laser induced fluorescence technique, has been improved. The laser light is now transmitted through an optical fibre, and the measurement is controlled from a computer. The computer programme covers all data treatment needed from the start of the measurement to the printing of a data sheet containing the final results. This partial automation has been made with the aim of simplifying the proposed international comparison of iodine cells involving the member laboratories of CCDM.

ii) Ar^+ at $\lambda = 515$ nm

To monitor and improve the frequency stability of stabilized lasers it is necessary to have at least two lasers working at the same wavelength. For this reason the decision was made to purchase a new Ar^+ laser and plans were drawn up for the design of a second iodine stabilized system, at $\lambda = 515$ nm, at the BIPM. As a development of the standard techniques normally used for stabilization, this second

system will use the FM sideband spectroscopy technique together with an intracavity electro-optic modulator for the fast response feedback. Construction of this system is now in progress and the greater part of the optical system has been set-up. The construction of the electronic instrumentation is well advanced and the first sideband signals, from a Fabry-Perot interferometer, have already been recorded.

2.3.4. Iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda = 543$ nm using external cells (J.-M. Chartier, S. Fredin-Picard)

Frequency shifts arising from modulation and iodine pressure effects have been evaluated in an iodine-stabilized He-Ne laser at a wavelength of 543 nm. The modulation factor and the iodine pressure coefficient were found, respectively, to be $(-0,4 \pm 1,8)$ kHz/MHz peak to peak and $(-1,3 \pm 4,0)$ kHz/Pa. These values are close to those obtained at other wavelengths also using external iodine cells.

A stabilized laser using the « two orthogonal polarization » principle has been calibrated against one of our iodine stabilized lasers.

The determination of the absolute wavelength of some components of the spectrum of iodine using an iodine-stabilized laser is in progress.

As with the argon laser, the FM sideband spectroscopy technique is being used.

2.3.5. CO₂ laser at $\lambda = 10,6$ μ m (S. Fredin-Picard)

A CO₂ laser complete with laser tube and mechanical support has been constructed. Most of the mechanical parts were made by the BIPM workshop but the glass laser tube was made elsewhere. The realization of the first CO₂ laser at the BIPM has been carried out in close cooperation with Dr O. Acef and Dr A. Clairon of the LPTF, Paris, who designed the original laser tube. The BIPM tube differs only slightly from the prototype: the mechanical parts, however, have been considerably modified.

The laser is about 1 metre long and will be tunable over more than 40 different CO₂ laser lines. It will be stabilized using a Fabry-Perot cavity containing OsO₄. The initial aim is to test the power and frequency stability of the laser.

2.3.6. Hyperfine structure (S. Fredin-Picard)

Two computer programmes have been written in Turbo-Pascal for studies on hyperfine structure. With one a hyperfine spectrum can be calculated using already known hyperfine constants and with the other, hyperfine constants can be calculated from experimental data. The latter has been used to calculate hyperfine coupling constants for the R(12) 26-0 and R(106) 28-0 transitions in the B-X system in iodine using experimental data.

2.4. Publications, lectures, travel : Length section

2.4.1. External publications

- (1) CHARTIER, J.-M., MICHEL, A. and MILLERIOUX, Y. Comparaison des étalons de fréquences à 473 THz entre le BIPM, l'INM et l'ETCA. *Bulletin du BNM*, **21**, 1990, pp. 39-43.
- (2) FREDIN-PICARD, S. and RAZET, A. On the hyperfine structure of $^{127}\text{I}_2$ lines at the 543 nm wavelength of the He-Ne laser. *Optics Communications*, **78**, 1990, pp. 149-152.
- (3) CHARTIER, J.-M., ROBERTSSON, L., SOMMER, M., TSCHIRNICH, J., NAVRATIL, V., GATJA, B., PUCEK, J., BLABLA, J., SMYDKE, J., ZELENY, V., PETRU, F., VESELA, Z., TOMANYICZKA, K., BANRETI, E., ZAKHARENKO, Yu.G. and VITUSHKIN, L.F. Results from an international comparison of iodine-stabilized helium-neon lasers at $\lambda = 633$ nm involving simultaneously seven laboratories. *Metrologia*, **28**, 1991, pp. 19-25.

2.4.2. BIPM Report

- (6) FREDIN-PICARD S. On the Hyperfine Structure of Iodine: How to Calculate Hyperfine Transition Energies. *Rapport BIPM-90/5*, May 1990, 30 pages.

2.4.3 Lectures and presentations

J.-M. Chartier :

— At BIPM, 22-23 November 1989, as participant at the working group of the third international comparison of absolute gravimeters, he gave a presentation entitled « Results of the frequency determination of the stabilized lasers used in the absolute gravimeters and encountered problems ».

— At PTB (Braunschweig, FRG), 20-21 February 1990, as guest at the EUROMET workshop on optical frequency wavelength standards, he gave a presentation entitled « International frequency comparisons between I_2 stabilized lasers ».

— With L. Robertsson and S. Fredin-Picard, for the CPEM'90, at Ottawa (Canada) from 11-14 June 1990 where they gave a joint presentation entitled « Recent activities at BIPM in the field of stabilized lasers ; radiations recommended for the definition of the metre ».

— At Toulouse, 11-14 September 1990, he participated in the 13th meeting of the International Gravity Commission where he gave a presentation entitled « Behaviour of stabilized lasers used in absolute gravimeters ».

L. Robertsson :

— At Uppsala (Sweden), 10-13 July 1990, he participated in the 22nd EGAS Conference and gave a joint presentation with J.-M. Chartier entitled « Practical results on the frequency stability of iodine stabilized lasers in the visible used as recommended wavelengths ».

2.4.4. Travel (committees, visits to laboratories and institutions)

R. Felder has been at the Joint Institute for Laboratory Astrophysics, in the laboratory of J. L. Hall (Boulder, USA) since August 1989 and returned at the end of August 1990.

3. Mass and related quantities (G. Girard)

The work in the mass section has centred on four main topics :
a) the third periodic verification of national prototypes of the kilogram,
b) studies of the temperature distribution in the flexure-strip balance including a short experiment to look for a strange effect in the weight of spinning gyroscopes, *c)* the design and construction of a sealed case for the Mettler HK 1000 MC balance and *d)* the third international comparison of absolute gravimeters held towards the end of 1989.

3.1. Third periodic verification of national prototypes of the kilogram (G. Girard)

In the context of the third periodic verification of national prototypes of the kilogram, we have continued to follow the evolution in the masses of the international prototype and prototypes Nos. 7, 67 and 73 begun in February 1989 (*see* Rapport 1989, p. 128). The results to date are shown in Fig. 2.

In carrying out these measurements all the Pt-Ir standards except No. 73 were stored between measurements either in the sealed case of the balance or under a glass bell-jar. It does not appear to make any difference which of these methods is used. It was subsequently found, however, that standards stored, uncovered, in a laminar-flow dust-free chamber having a filter of pore size $0,3\ \mu\text{m}$, increase in mass at a rate of some $3\ \mu\text{g}$ per month. The apparently larger increase in the mass of No. 73 shown in Fig. 2 for the period between 60 and 175 days after cleaning and washing is considered to be due to its having been stored, uncovered, during half of this period in the laminar-flow chamber. The arrows C in Fig. 2 show the correction to be made to the mass of No. 73 for the additional increase of $5\ \mu\text{g}$ which would have resulted from this. Taking this correction into account the apparent evolution of No. 73 is reduced and it comes close to, although still a little greater than, that of No. 67. It should be noted that No. 67 was made in 1982

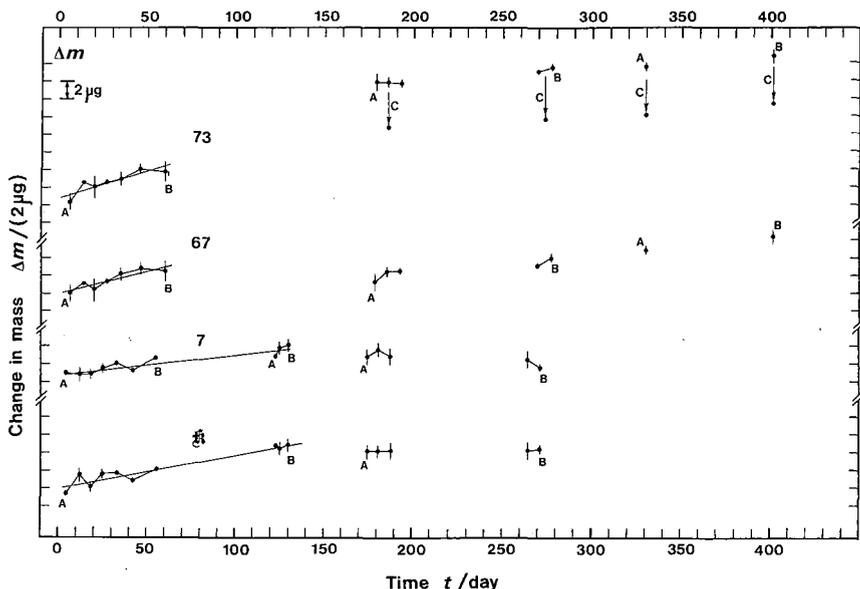


Fig. 2. — Increase in mass observed after cleaning and washing of the international prototype and Nos. 7, 67 and 73. Points denoted A and B indicate the times at which the mass is, respectively, placed in and removed from the balance; C is the correction applied to the mass of No. 73 to account for the additional mass due to its having been kept uncovered, in the laminar flow chamber. The vertical bars on each data point represent the type A uncertainty of the weighing.

whereas No. 73 was made in 1988 and we have other evidence to suggest that newly-made Pt-Ir prototypes increase in mass at a greater rate than normal during the first one or two years after manufacture.

The verification of national prototypes proper has now begun with a first group of ten standards (taken in the order in which they arrived at the BIPM). All were first compared with two BIPM standards and then they were twice cleaned and washed using the procedure that has been followed at the BIPM for more than 40 years. These ten national standards were then compared with two of the official copies « témoins » of the international prototype. In all such measurements the dates upon which the various operations are carried out are carefully noted so that in due course the extrapolations needed to establish their reference masses just after cleaning and washing can be carried out.

3.2. The Mettler balance and fabrication of new prototypes (G. Girard)

The Mettler HK 1000 MC balance, purchased in 1987, has been used for various mass calibrations, in particular for two national standards made of stainless steel: for Kenya, No. 23 and Nigeria, No. FN1. This balance has now been exchanged, by the supplier, for

a new one as it was not found possible to resolve anomalies we had encountered in its operation. A stainless steel case suitable for vacuum operation has been made at the BIPM for this new balance.

Two new Pt-Ir prototypes (Nos. 75 and 76) have been made, including density measurements, diamond machining and adjusting from the ingot supplied by Johnson Matthey in 1986 and from which No. 74 has already been made. A study of the evolution of the mass of these two new prototypes began shortly after final adjustment by comparisons with reference standards before and after being submitted to different modes of cleaning (using ultrasonics, a mixture of alcohol-ether and water vapour).

3.3. The flexure-strip balance (T. J. Quinn, A. Picard)

The flexure-strip balance has, over a number of years, provided the focus for our work aimed at reaching a deeper understanding of the factors that limit the accuracy of weighing. Considerable progress has been made, thanks in no small measure to the work carried out by C. Speake during his five and a half years at the BIPM.

Since October 1989 we have continued our efforts to reduce the temperature fluctuations in the balance stemming from fluctuations in the temperature of the room. These temperature changes lead directly to changes in mass since sorption and desorption of adsorbed films on surfaces are highly temperature dependent. Such changes are now the principal cause of instability in weighings. A thermally-insulated cabin has been built around the balance in an attempt to overcome this problem and preliminary indications are that it has led to a very significant improvement in short term variations in temperature inside the balance case.

Further improvements made to the balance since October 1989 have been the installation of magnetic dampers to replace the air dampers used to suppress pan swing, the construction of a new beam, made to closer dimensional tolerances using the numerically controlled milling machine, new Cu-Be flexures and the replacement of the optical position detectors at each end of the beam by a single one mounted vertically above the centre of the beam. The re-positioning of the position detector has made the servo-system less sensitive to torsional vibration of the beam about a vertical axis. We believe that the present design of the beam, flexure-strips, pan-suspensions, optical detection and servo system are close to the optimum for very precise weighing.

Based upon the experience gained with the prototype flexure-strip balance, preliminary designs have been made for a fully automated flexure-strip balance which will have the capability of comparing up to eight 1 kg mass standards, in air or in high vacuum.

3.4. The gyroscope experiment (T. J. Quinn, A. Picard)

The flexure-strip balance was used to look for a supposed new gravitational effect in which the mass of a spinning gyroscope appears to decrease as a linear function of its speed of rotation when it spins in one direction but is independent of speed when spinning in the other. This surprising result was announced in *Physical Review Letters*, **63**, December 1989, pp. 2701-2704.

Although well equipped with balances, we had no experience in gyroscopes and thus our initial reaction on reading the article by Hayasaka and Takeuchi was to leave the problem for others, better placed than ourselves, to solve. But on 18 January 1990, J. Faller from the Joint Institute for Laboratory Astrophysics in Boulder, Colorado, gave a talk at the BIPM in which he described weighings of an elegant and simple gyroscope. His results did not show the anomalous behaviour reported, and encouraged by this experiment we decided to carry out a similar project.

We made a 330 g rotor from brass which could be spun up by means of air jets to speeds of some 1 500 rad/s (14 000 r/min) and then placed on the pan of the flexure-strip balance. Its weight was then measured as it freely spun down and stopped. Some changes in apparent mass were observed which were a function of both speed and sense of rotation but they amounted to only about 5 % of what would be required for consistency with the results of Hayasaka and Takeuchi. After making corrections for the friction couple slowing down the rotor and changes in temperature the observed effect was reduced by a factor of ten and we considered it no longer significant. The friction couple slowing down the rotor, acts about a vertical axis and leads to a torsion couple being applied to the pan suspension. This, in turn, leads to a small change in the position of the effective point of application of the weight at the end of the beam and thus a change in effective arm length of the balance which cannot be distinguished from a change in mass of the object being weighed. Although this effect is symmetrical with the sense of rotation of the rotor, the overall effect is made unsymmetrical by the effects of friction heating of the gyroscope which act in the same sense for both directions of rotation. Our conclusion, therefore, is that the effect observed by Hayasaka and Takeuchi is not the result of new physics but was, most probably, an artifact of their balance.

3.5. Surface effects on Pt-Ir mass standards (T. J. Quinn, G. Girard, A. Picard)

To begin our study of surface effects on Pt-Ir mass standards, we have made a special 1 kg mass of Pt-Ir having a surface area twice that of a normal 1 kg prototype of Pt-Ir. It is made in the form of a

pile of four disks separated from one another by stainless-steel balls fitting in « V » grooves cut in the surface of the disks. The disks are 39 mm in diameter and the surfaces are finished by diamond machining. Each disk weighs between 183 and 296 g. We expect that this composite 1 kg mass will behave in the same way as a normal Pt-Ir prototype in all respects except that its potential response to surface effects is twice as large.

3.6. Single-crystal silicon flexures (T. J. Quinn, A. Picard, C. Speake *)

The anelasticity of Cu-Be, although not at present one of the limiting factors in the performance of the flexure-strip balance, remains a significant constraint in the design of any high precision balance. We mentioned in 1987 (*see* Rapport 1987, p. 43) that we were investigating the possibility of using a flexure made from single crystal silicon. Last year (*see* Rapport 1989, p. 133) we reported that we had at last devised a technique for applying a load to the silicon flexure without breaking it. The flexure element is 10 μm thick, 2 mm long and 40 mm wide: it is strong but very brittle. During his stay at JILA in 1989, C. Speake made a vertical pendulum supported on the silicon flexure. This pendulum, now at the BIPM, has been mounted in a vacuum chamber ready for measurements to be made of its anelasticity.

3.7. Gravimetry (A. Sakuma)

The Third International Comparison of Absolute Gravimeters (ICAG-3), held at the BIPM under the auspices of the International Association of Geodesy, took place from 15 November to 4 December 1989. Absolute gravimeters came from the BIPM, Austria, Canada, China, Federal Republic of Germany, Finland, Italy, Japan, USA and the USSR. Measurements were made in two groups. They were separated by the week from 22 to 27 November, during which relative measurements were made between the various absolute stations and a two-day workshop was held on gravimetry. Relative gravimeters from seven institutes participated in the relative measurements.

During the absolute measurements, the frequency of the laser in each gravimeter was measured by the BIPM Length section. A BIPM iodine-stabilized laser was brought alongside each absolute gravimeter in turn and the beat frequency between the two lasers was measured. This operation was carried out because at the time of the Second Comparison of Absolute Gravimeters in 1985, doubts were expressed as to the accuracy of the frequency of the lasers of certain of the gravimeters. The conclusion of the present frequency measurements was

* Cavendish Laboratory, Cambridge (UK).

that the method used for the stabilization of the frequency of some of the lasers cannot guarantee the accuracy to better than a few parts in 10^8 . This is not good enough if the full potential of the gravimeters is to be realized.

The final results of this comparison will be discussed at a meeting of the International Gravimetric Commission to be held in September 1990.

3.8. Publications, lectures, travel : Mass section

3.8.1. External publications

- (1) QUINN T. J. and PICARD A. The mass of spinning rotors : no dependence on speed or sense of rotation. *Nature*, **343**, 1990, pp. 732-735.
- (2) SPEAKE C. C. and NEWELL D. B. The design and application of a novel high-frequency tiltmeter. *Rev. Sci. Instrum.*, **61**, 1990, pp. 1500-1503.

3.8.2. Lectures and presentations

T. J. Quinn attended the CPEM'90 Ottawa (Canada), 11-15 June 1990, and gave a lecture entitled « The kilogram : the present state of our knowledge ».

4. Time (B. Guinot)

4.1. The work of the Time section in 1990

The time scales TAI and UTC have been regularly established and made available by the usual means. Behind this invariable aspect of our work, in which all members of the section participate, many studies aimed at the improvement of the quality of the results have been undertaken. These are summarized below.

Once again we must deplore the fact that the accuracy of the scale unit of TAI rests almost entirely on the data of a single laboratory, the PTB, where the primary standards are much more accurate than those elsewhere. A tendency of the TAI frequency to decrease with respect to the PTB standards was compensated by frequency « steering » corrections of 5×10^{-15} (in normalized value) on two occasions.

4.2. Algorithms for time scales (C. Thomas, P. Tavella *, M. Weiss *)

The establishment of time scale algorithms is still a problem having no general solution. Prediction of clock rates, weighting, detection of

* Guest worker.

abnormal behaviour are the key factors, but they intervene differently, depending on the acceptable delay for the availability of the time scale, the domain of optimum stability, etc. There is no optimum algorithm in a broad sense. But it is important to understand the mechanisms of the various algorithms, sometimes hidden under the mathematics, in order to obtain the best algorithm for a specific purpose.

A comparison of the NIST algorithm for estimation of the time scale AT1 and the BIPM algorithm ALGOS has shown that the two algorithms rest on the same basic ideas but have differences in the mode of frequency prediction and weighting required for their different purposes.

Further investigations on the use of a Kalman filter have shown that it is not possible to design a time scale algorithm optimized for accuracy, based only on this filter. The mathematical reason is that the errors in time corrections, which provide access to the time scale, are divergent.

A study of the correlations among the clocks contributing to TAI was called for by the 11th meeting of the CCDS. Such correlations may have trivial origins such as the noise of the time comparisons or the noise of TAI itself, but the main cause of real correlations is change in the environment of the clocks, especially the variation of relative humidity [1].

In order to study the role of the upper limit of the weights in ALGOS, 200 clocks have been simulated, allowing very long runs of the algorithm. With clocks of unequal performance, the distribution in the low weight class is identical with or without an upper limit. However, the stability of the time scale is improved when an upper limit of weight is used. With clocks of equal quality, some anomalies appear which may be due to the correlation of individual clocks with the time scales in which they participate.

4.3. Time links (B. Guinot, W. Lewandowski, C. Thomas, M. Weiss)

In the domain of time links, our research activity has been dominated by the improvement of GPS time comparisons. In addition, we participated in the coordination of two-way time transfers and started some work on GLONASS.

4.3.1. Global Positioning System

The potential accuracy of GPS time comparisons should be well below 1 ns [2], even with the « Selective Availability » (SA) applied to satellites of Block II, but to achieve such an accuracy will require many improvements. We are studying this problem, often in cooperation with national laboratories.

At present, there is still a sufficient number of satellites of Block I, without SA, to allow the traditional GPS time comparisons, but manoeuvres to optimize their constellation generate practical difficulties in establishing observation schedules.

Improvement of antenna coordinates has been pursued. Coordinate corrections have been issued which express the coordinates in the reference frame ITRF88 of the IERS, for 12 laboratories in Europe, 4 in North America, 1 in the Middle East and 6 in Far East. Following our proposal, these corrected coordinates have been adopted and came into operation on 12 June 1990. They should significantly improve the accuracy and consistency of time comparisons.

Precise ephemerides from the Defense Mapping Agency (USA) are now regularly received at the BIPM. Their use has been tested [3] and sometimes found useful, even without SA. However they cannot be employed in current work because they reach us too late and because the broadcast ephemerides are not recorded. The software of the BIPM time receiver is being modified to overcome this latter difficulty.

Measured ionospheric delays have been applied to GPS data covering a one month period, January 1990, for three long-distance links between the Paris Observatory, the NIST and the CRL, these laboratories being equipped with codeless dual-frequency receivers of CRL and NIST types. Apparently the daily time comparisons are not always improved, but their closure error around the world is much reduced, which shows that the accuracy of time transfer is indeed better [4]. Since November 1989, measured ionospheric delays have been used operationally for the link OP-TAO.

A comparative study of the ionospheric measurements obtained from the dual frequency receivers of CRL type at the BIPM and of NIST type at the OP, has been performed [14]. Good agreement was observed, but with a constant bias of a few nanoseconds (with a standard deviation of 2 ns). This may be due to multipath interferences which are clearly seen. It has also been shown that an averaging time of about 15 minutes, as usually scheduled for international time comparisons, corresponds to the best stability of the two receivers.

An unexpected sensitivity of some GPS receivers to the external temperature has been found. This effect is also a function of the length and type of the antenna cable. A report has been sent to the maker.

4.3.2. GLONASS (B. Guinot, W. Lewandowski)

In the USSR, GLONASS is the equivalent of GPS. With the approval of VNIIFTRI, BIPM Circular T began to publish in June 1990 values of UTC – GLONASS time provided by Prof. P. Daly of the University of Leeds. Further information is needed to link GLONASS time to UTC(SU). Discussions with Prof. Daly and authorities in the USSR are in progress. Software has also been developed to produce tracking schedules of GLONASS satellites.

4.4. Definition of TAI and Time Scales in the Universe (B. Guinot)

The International Astronomical Union (IAU) has established a Working Group on Reference Systems (WGRS), with four Sub-Groups, including a Sub-Group on Time (SGT) under the leadership of B. Guinot.

After preliminary discussions, it appears that the most important task of the WGRS is to give coherent definitions of coordinate systems for space-time in relativistic theories, with associated numerical constants. For practical reasons, it is not possible to cover the whole universe, or even the solar system, with a single coordinate system. In particular, systems with origins at the center of masses of the Earth and of the Solar System must be established with the corresponding coordinate transformations. It appears to be a trend, among astronomers, to consider that transformation between coordinate systems should not involve re-scalings of the units. The SI would thus be extended to the whole universe. A consequence however would be secular divergence between the various coordinate times, in contradiction with previous IAU recommendations.

Another trend is to consider that an ideal terrestrial time should be defined, the practical realization of this being TAI. The TAI definition given by the CCDS in 1980 is usually found satisfactory because, for clocks on the ground, it is valid to a relative frequency accuracy of at least 10^{-16} . But, as the spatial domain of the ideal terrestrial time should extend to the distance of the Moon, a more refined definition may be required.

The conclusions of the WGRS are due in August 1991.

4.5. Pulsars (G. Petit, B. Guinot)

Millisecond pulsars are galactic objects that exhibit a very stable period of rotation, so they are regarded by some as possible rivals to atomic clocks. It appears that pulsars alone cannot generate a uniform time scale because the variation rate of their period cannot be determined without the help of atomic clocks. Simulations however have shown that pulsars may help to monitor the long-term instabilities of TAI when more years of pulsar data become available [5].

4.6. Other activities

4.6.1. Installation of a caesium clock (C. Thomas)

A commercial caesium clock, on loan from the USNO, was installed at the BIPM in April 1990. The BIPM receiver for GPS time comparisons has been moved from the OP to the BIPM.

4.6.2. De Marchi's seminar (C. Thomas)

A one-day seminar, given by Prof. A. De Marchi (University of Ancona, Italy) on the subject « Techniques for improving the long-term stability of commercial caesium clocks » was organized at the BIPM on 6 February 1990, and was attended by 45 participants from European laboratories.

4.6.3. VLBI on millisecond pulsars (G. Petit)

Very long baseline interferometry (VLBI) is one of the most demanding applications of atomic clocks. It also has the potential to provide ultra-accurate time comparisons, in the region 10 to 100 ps. Expertise within the section was maintained by individual participation in pulsar positioning using VLBI [6], [13].

4.7. Publications, lectures, travel : Time section

4.7.1. External publications

- (1) TAVELLA, P. and THOMAS, C. Study of the correlations among the frequency changes of the contributing clocks to TAI. *Proc. 4th European Freq. and Time Forum*, 1990, pp. 527-541.
- (2) GUINOT, B., LEWANDOWSKI, W. and THOMAS, C. A review of recent advances in GPS time comparisons. *Proc. 4th European Freq. and Time Forum*, 1990, pp. 307-312.
- (3) LEWANDOWSKI, W. and WEISS, M. A. Precise ephemerides for GPS time transfer. *Proc. 21st PTTI meeting*, 1989, pp. 95-106.
- (4) WEISS M. A., WEISSERT, T., THOMAS, C., IMAE, M. and DAVIES, K. The use of ionospheric data in GPS time transfer. *Proc. 4th European Freq. and Time Forum*, 1990, pp. 327-333.
- (5) GUINOT, B. and PETIT, G. Atomic Time and Pulsar Time. Berkeley Workshop on Impact of Pulsar Timing on Relativity and Cosmology, 7-9 June, 1990, pp. C1-C11.
- (6) PETIT, G. VLBI observations of millisecond pulsars for milliarcsecond astrometry. *Proc. Berkeley Workshop on Impact of Pulsar Timing on Relativity and Cosmology*, June 7-9, 1990, pp. W1-W9.
- (7) GUINOT, B. L'origine non tournante et la définition du Temps universel. Actes des journées 1990 « Systèmes de référence », 1990, pp. 139-144.
- (8) GUINOT, B. Le rôle d'André Danjon dans la mesure du temps. Actes des journées 1990 « Systèmes de référence », 1990, pp. 131-136.
- (9) GUINOT, B. Navigation et mesure du temps. Académie de Marine, *Communications et Mémoires*, 1990, pp. 5-24.

- (10) GUINOT, B. Time transfers by GPS. *Cahiers du Centre europ. de Géodynamique et Séismologie*, **2**, 1990, pp. 325-334.
- (11) GUINOT, B. Le Bureau International de l'Heure, de 1911 à 1964 : le temps astronomique et la naissance du temps atomique. Cérémonie sur le BIH, novembre 1988 *Navigation*. **151**, 1990, pp. 371-383.
- (12) PETIT, G. The use of millisecond pulsars to link celestial reference frames. Actes des journées 1990 « Systèmes de référence », 1990, pp. 293-298.
- (13) PETIT, G., FAYARD, T. and LESTRADE, J.-F. A method to enhance the cross correlation of millisecond-pulsar VLBI data : observations of PSR 1937 + 214. *Astron. Astrophys.*, **231**, 1990, pp. 581-587.

4.7.2. Report

- (14) WEISS, M. A. and THOMAS, C. A study of data from two GPS ionospheric calibrators. *BIPM Annual Report of the Time Section*, **2**, 1990, part D.

4.7.3. Lectures and presentations

C. Thomas attended the 25th PTTI meeting from 28 November to 1 December 1990, where she presented a poster on the « Improvement of time comparisons results by using GPS dual frequency codeless receivers measuring ionospheric delay ».

W. Lewandowski attended the meetings of the Civil GPS Service Steering Committee in Tysons Corner (USA), on 5 December 1989, 6 March 1990 and 5-6 June 1990. He gave presentations on the use of precise ephemerides for GPS time transfer, on the Terrestrial Reference Frame, and on the coordinates of GPS receivers.

4.7.4. Travel (committees, visits to laboratories and institutions)

B. Guinot visited :

- München (FRG) 2 November 1989, to attend a meeting of the scientific council of the European Time and Frequency Forum ;
- Strasbourg (France) 25-26 June 1990, to attend a meeting of the Academia Europaea.

C. Thomas visited :

- Redondo Beach (USA) 27 November 1989, to attend the Precise Timing Tutorials ;
- Grasse (France) 17 May 1990, to participate in a LASSO session at the Observatoire de la Côte d'Azur (CERGA).

B. Guinot and W. Lewandowski visited the University of Leeds, Leeds (UK) on 4 May 1990, for discussions with Prof. P. Daly on GLONASS.

W. Lewandowski visited :

— Redondo Beach (USA) on 30 November 1989 and Neuchâtel (Switzerland) on 12 March 1990, to attend meetings on the LASSO Operations Coordination Group Meeting ;

— Rockville and Washington (USA) on 5 March 1990, to have discussions with W. Strange (National Geodetic Survey) and M. Miranian (USNO) on geodetic coordinates.

5. Electricity (T. J. Witt)

5.1. The work of the Electricity section in 1990

January 1, 1990 marks the application of new reference standards of electrical potential and resistance based on the Josephson and the quantum Hall effects, CIPM Recommendations 1 (CI-1988) and 2 (CI-1988), and the use of the ITS-90 as the new temperature scale, CIPM Recommendation 5 (CI-1989). We confirm the discontinuous changes in the BIPM reference standards given by the two equations

$$V_{76-BI} = 1 \text{ V} - 8,06 \mu\text{V}$$

and, on 1 January 1990,

$$\Omega_{69-BI} = 1 \Omega - 1,90 \mu\Omega.$$

Highlights of the year's activities include significant improvements in the Josephson effect and the quantum Hall effect measurements and preparations for the international comparison of 1 Ω and 10 k Ω resistance standards. Very promising results have been obtained in the first tests of samples from a purchased lot of nearly 500 GaAs quantized Hall resistance samples specially prepared for use in metrology.

5.2. Electrical potential

5.2.1. Josephson effect (D. Reymann)

The new transfer standard [see Section 5.6.3] now being used for Josephson array measurements enables us to achieve an uncertainty of 0,6 nV in the determination of the electromotive force of our best standard cells. It consists of a 2 mA current source that produces a reference potential difference of about 1 volt across a 500 Ω resistor. When stabilized by a mercury battery this potential difference drifts linearly at a constant rate of about 2 nV per minute. Its thermal noise is that of the source impedance, 125 Ω . This low drift and noise can be estimated from Fig. 3, where the potential reference is compared with the output of the array.

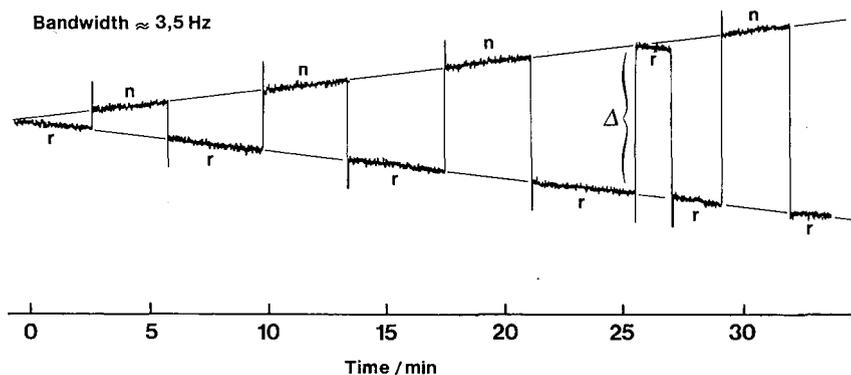


Fig. 3. — Record of the deflections of the detector connected in normal (n) or reverse (r) position to the potential difference between the output of the transfer standard and that of the array. The calibration offset Δ is the change in potential across the array for a fractional change in the microwave frequency of 1,2 parts in 10^7 .

We continue to use a group of four cells to maintain a reference standard in the periods between Josephson effect measurements. The ease and rapidity of the measurements with the array and transfer standard now allow us routinely to measure each cell individually, leading to a standard deviation of the mean for the average value of the group of 0,5 nV. This is equivalent to an uncertainty of 10 μ K in the temperature of the cells.

5.2.2. Progress in measurements of 10 V d.c. electronic standards

We now routinely carry out calibrations of 10 V reference standards by means of a 1,018 V to 10 V comparator (*Rapport BIPM-89/8*). The calibration of the comparator itself, as well as the measurement procedure, has been improved. The total relative uncertainty in the calibration of a 10 V standard is now less than 3 parts in 10^8 .

5.3. Electrical resistance

5.3.1. Quantum Hall effect (F. Delahaye)

A new cryogenic current comparator (CCC) with an improved mechanical design and with a greater number of turns in the windings was built and incorporated into the bridge used to compare the quantized Hall resistance (QHR) with a 100 Ω standard resistor. The null detector associated with this bridge is the SQUID-based nanovoltmeter built last year and described in the Director's Report for 1988-1989. Using the SQUID nanovoltmeter, Fig. 4, we observed clearly, and probably for the first time, the thermal noise in the two-terminal resistance of Hall samples in the quantized regime for the temperature range 1,3 K to 4,2 K (*see* Section 5.6.3). With the new CCC and the SQUID-based

nanovoltmeter, the measurement of the ratio of the QHR to a 100 Ω resistor is routinely carried out with a standard deviation of 2 parts in 10^9 for an observation time of only 15 minutes, and with a current of 40 μA through the Hall sample.

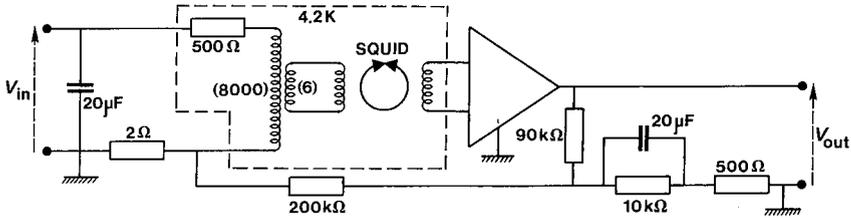


Fig. 4. — The SQUID-based nanovoltmeter. The cryogenic components are those inside the dashed area. The ratio of the output voltage to the input voltage, $V_{\text{out}}/V_{\text{in}}$, is equal to 10^6 .

This year we have made a particular effort to solve the problem of making available a sufficiently large number of high-quality AlGaAs/GaAs-based heterostructures optimized for measurements of the QHR. The BIPM, in collaboration with the LCIE (Fontenay-aux-Roses), placed a joint order with the Laboratoires d'Électronique Philips (Limeil-Brévannes) for the fabrication of a lot of heterostructures with defined specifications. The fabrication process was successful and some 500 heterostructures, diced from one wafer and provided with eight contact pads, were delivered to us in March 1990. Five samples have been mounted, using the bonding facilities available at the LCIE, and tested at the BIPM. With the exception that on one of the samples a pair of contacts was defective, the metrological results were excellent. Consequently we are reasonably optimistic concerning the overall quality of the lot. We shall soon be prepared to make these samples available to interested laboratories at a price based on the cost of fabrication and mounting.

5.3.2. Preparations for the 1990 international comparison of 1 Ω and 10 k Ω standards

Seventeen national laboratories will send some 90 resistors to the BIPM no later than 14 September 1990 in order to participate in the 1990 international comparison of 1 Ω and 10 k Ω standards. A fully automated Warshawsky bridge for the measurement of the 10 k Ω standard resistors has been assembled and tested. A set of twelve standards can be sequentially measured using a micro-computer that controls switching and acquires, processes and stores data. The sequence includes temperature measurements for each resistor. Comparison of measurements carried out with a potentiometric resistance comparator and with the new bridge shows relative agreement between the two systems of the order of 1 part in 10^8 .

A large thermoregulated enclosure able to lodge up to ten 10 k Ω resistors has been assembled. It will be used for resistors of such types as the ESI SR 104, which is not designed for use in an oil bath. A temperature regulator drives Peltier-effect elements to maintain a temperature of 20 °C to within 0,1 °C.

Measurements of the 1 Ω standards will be carried out in the same way as in 1987 comparison using the CCC bridge.

5.4. Study of the Josephson effect in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$

In order to find ways to increase the voltage output of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ constriction junctions, investigations of the d.c. current-voltage characteristics of single and double-constriction devices were carried out. Some samples show behaviour that can be interpreted by a model in which it is supposed that the devices are simple networks of several elementary Josephson junctions. In addition to these studies, we have also observed the response of the zero-voltage and low-order steps to microwave power in the 8 to 18 GHz range. In the regime where the applied frequency is sufficiently high, and at temperatures near the critical temperature, a particularly simple method was found to determine the value of the microwave current [1].

5.5. Comparisons and routine calibrations

Two national laboratories, VNIIM and IEN, which recently developed facilities for QHR measurements and will participate in the international comparison, have asked the BIPM to carry out expeditious bilateral comparisons of 1 Ω resistance standards in order to check their new equipment. The results may be expressed as the difference between values assigned to a 1 Ω resistor. For the VNIIM :

$$R_{\text{BI}} - R_{\text{VNIIM}} = 0,08 \mu\Omega \pm 0,05 \mu\Omega$$

where the uncertainty is the combined type A and type B uncertainty from both laboratories. Similarly, for the IEN, the result is :

$$R_{\text{BI}} - R_{\text{IEN}} = - 0,135 \mu\Omega \pm 0,09 \mu\Omega$$

where an additional uncertainty of 0,065 $\mu\Omega$, due to instability of IEN's travelling standards, has been added in quadrature.

This year, the following routine calibrations were carried out : thermoregulated enclosures for Norway, Egypt, Czechoslovakia and Iraq ; bare cells for Bulgaria ; Zener diode standards at 1,018 V and 10 V for the Netherlands, South Africa, Finland, Belgium, Portugal and Ireland ; 1 Ω resistors for Egypt, Bulgaria, the Dem. People's Republic of Korea, the Republic of Korea and Spain ; 10 k Ω resistors for Belgium, Bulgaria, the Republic of Korea and Spain.

5.6. Publications, lectures, travel : Electricity section

5.6.1. External publications

- (1) WITT, T. J. RF modulation of current steps in Josephson junctions in YBaCuO constrictions. *Physica B*, **165-166**, 1990, pp. 1611-1612.
- (2) WITT, T. J. The new international standard of electromotive force and resistance based on the Josephson effect and the quantum Hall effect. *In Congrès International de Métrologie, Association française pour la qualité*, 1989, pp. 148-152.
- (3) WITT, T. J. Background to the changes in the representations of the volt and the ohm implemented on January 1, 1990. *De la Metrologia*, **2**, 1990, pp. 15,1-1 to 15,1-7.

5.6.2. BIPM Report

- (4) DELAHAYE, F. Un diviseur résistif pour la mesure de la sortie 10 V des références de tension électroniques à diodes de Zener. *Rapport BIPM-89/8*, December 1989, 10 pages.

5.6.3. Lectures and presentations

T. J. Witt gave a lecture at « Metrologia » Ixtapa (Mexico) 7-11 May 1990 entitled « Background to the changes in representations of the volt and the ohm that came into effect on 1 January 1990 ».

T. J. Witt, D. Reymann and D. Avrons presented a poster at CPEM'90 entitled « An accurate 10 k Ω resistance standard »; see also *CPEM'90 Digest*, 1990, pp. 129-130.

D. Reymann presented a poster at CPEM'90 entitled « A practical device for 1 nV accuracy measurements with Josephson arrays »; see also *CPEM'90 Digest*, 1990, pp. 131-132.

F. Delahaye gave a lecture at CPEM'90 entitled « Low-noise measurements of the quantized-Hall resistance using an improved cryogenic current-comparator bridge »; see also *CPEM'90 Digest*, 1990, pp. 304-305.

5.6.4. Travel (committees, visits to laboratories and institutions)

T. J. Witt visited :

— the laboratories of OFMET, Wabern (Switzerland), 27 and 28 November 1989 to attend a EUROMET meeting of electricity contact persons ;

— the NIST, Gaithersburg (USA), 14 and 15 May 1990 ;

— the LCIE, Fontenay-aux-Roses, on 25 September 1990 to attend a EUROMET meeting of electricity contact persons.

F. Delahaye attended a EUROMET meeting of experts on the quantum Hall effect, VSL, Delft (Netherlands), 23 and 24 April 1990.

F. Delahaye and D. Reymann visited the NRC, Ottawa (Canada) in conjunction with CPEM'90, 15 June 1990.

6. Radiometry, photometry, thermometry (J. Bonhoure)

6.1. Radiometry (R. Köhler)

Work has continued on the photodiode self-calibration technique. The repeatability of the measurements has been improved by modifications in the optics and electronics of the experimental arrangement. The stability of the power in the optical beam at the measurement position is of the order of 1 part in 10^4 for periods of 1 hour or more.

A total of 40 silicon photodiodes from three different suppliers has been calibrated with the self-calibration technique and comparisons have been made with an absolute detector (Quantum Efficiency Detector QED-200). These two calibrations agree, for most detectors, to within 3 parts in 10^3 at a wavelength of 476,2 nm. However, some of the photodiodes which have been used regularly at BIPM for over two years show poorer agreement than newly purchased diodes. Work is under way to study this ageing effect.

The theory of self-calibration has been reviewed and a generalized self-calibration formula has been derived. Semiconductor device modelling software (PC-1D) has been used to verify this formula and to model the oxide bias experiment.

Different measurements related to the use of photodiodes as absolute detectors have been performed. The uniformity of the sensitivity across the active surface has been measured at different wavelengths. Separately the diffuse reflectance of the detectors has been studied by other methods. Currently a series of measurements is under way related to the problems of surface quality of the diodes and the cleaning of these surfaces before calibration. It has been shown that the diode surface adsorbs water which results in a modification of the reflectivity, and hence the sensitivity of the detectors. These results were confirmed by modelling of the surface properties.

Finally, a trap detector consisting of four photodiodes has been constructed and compared with a commercial detector operating on the same principle (QED-200). The detectors agree in responsivity to 1 part in 10^3 .

For future comparisons of lamps as standards of spectral irradiance the modification of the monochromator has been completed. The monochromator can now be totally controlled by a personal computer and it has been calibrated in wavelength at 12 different lines of a Kr-laser and of a He/Ne-laser between the UV and the near IR. Work is under way to test an experimental arrangement using heterodyne techniques with which we hope to achieve very good long-term stability during spectral scans of standard lamps.

6.2. Photometry

Discussions are under way with a small French company to manufacture improved photometric lamps. The success of this project requires the production of lamps of adequate quality at an acceptable price.

6.3. Thermometry (J. Bonhoure)

The ITS-90, which came into force in 1 January 1990, includes a temperature range which is very important and easy to realize from 0°C to 30°C. Temperatures are defined by means of a platinum resistance thermometer calibrated at two fixed points — the triple point of water and the melting point of gallium, and the specified interpolation equation of ITS-90.

The introduction of the ITS-90 and the need to provide accurate calibrations of platinum resistance thermometers on ITS-90 in the room-temperature range for other sections of the BIPM, has given us the occasion to bring back into use and improve equipment for thermometry which was put to one side in 1986.

6.4. Routine work

Lamps providing standards of luminous intensity and luminous flux were calibrated for the national laboratories of Bulgaria, Poland, the USSR and Yugoslavia.

6.5. Publications, lectures, travel : Radiometry, photometry, thermometry section

6.5.1. External publications

- (1) KÖHLER, R., LUTHER, J. and GEIST, J. A reflectometer for measurements of scattering from photodiodes and other low scattering surfaces. *Applied Optics*, **29**, 1990, pp. 3130-3134.
- (2) KÖHLER, R., GEIST, J. and BONHOURE, J. Generalized photodiode self-calibration formula. *Applied Optics*, **30**, 1991, pp. 884-886.
- (3) QUINN, T. J. *Temperature*, London, Academic Press, 2nd Edition, 1990, 495 pages.

6.5.2. Travel (committees, visits to laboratories and institutions)

J. Bonhoure visited :

— Budapest (Hungary) from 3 to 5 October 1989 for the Lux Europa Congress and a short meeting of Division VII, General aspects of lighting, of the CIE ;

— Berlin (FRG) on 7 September 1990 to take part at a meeting of Division II (Physical Measurement of Light and Radiation) of the CIE.

R. Köhler visited :

— the PTB, Braunschweig (FRG) (with R. Pello) from 13 to 17 November 1989, for a laboratory visit and discussions with K. Stock ;

— the PTB, Berlin (FRG) from 13 to 15 June 1990 for discussions and to give a talk entitled « Radiometrie am BIPM » ;

— Davos (Switzerland) from 20 to 22 September 1990 to take part in the conference on New Developments and Applications in Optical Radiometry III and to present a paper « On the cleaning of photodiode surfaces and its effects on the sensitivity of the detector ».

7. Ionizing radiations (J. W. Müller)

The major part of the work performed in the field of ionizing radiations is related to the organization, participation and analysis of international comparisons. This maintains the vital contacts we have had for many years with the national laboratories. Moreover, the research programmes pursued in dosimetry (absorbed dose to water or separation of neutrons and gammas) as well as in activity measurements (half-life measurement or correlation counting) are all aimed at improving the measurement capabilities, the actual status of which is periodically checked by the international comparisons for which the BIPM has the responsibility.

7.1. Dosimetry (M. Boutillon and V. D. Huynh)

7.1.1. ^{60}Co gamma rays and X rays (M. Boutillon and A.-M. Perroche)

All the work described below deals with measurements in the ^{60}Co beam.

i) *Energy spectrum of the source*

The spectrum of the new source has been obtained by calculation. The energy fluence of the scattered photons is 14 % of that of the unscattered ones, whereas it amounted to 18 % in the case of the previous source. The present spectrum exhibits a larger low-energy component because the new source is thinner and the contribution of the radiation scattered from the back of the source is more important. This can explain the observed difference of about 0,4 % between the experimental curves of the absorbed dose to graphite versus depth, obtained with the two sources.

In order to check the calculated spectra, measurements of the transmission by a water filter of 10 cm thickness have been performed and the result was compared to the one obtained by calculation. The difference of only 0,1 % is well within the estimated uncertainty.

ii) *Absorbed dose to water*

The determination of the various factors entering in the ionometric measurement of absorbed dose to water is now complete. The perturbation correction factor $k_p(\text{water})$ pertinent to our standard has been calculated for depths ranging from 3 to 17 cm, by taking into account the influence of the scattered radiation present in the beam. The variation of $k_p(\text{water})$ with depth is small, its value over this range increasing only from 1,1126 to 1,1139. By contrast, note that the value of $k_p(\text{graphite})$, for corresponding depths decreases from 0,991 to 0,985.

The influence on the absorbed dose of an incomplete equivalence to water of the plexiglass plate in front of the water phantom has been obtained by calculation and the influence of the plexiglass support of the ionization chamber has been determined experimentally. The corrections for these effects are small (about 0,05 %) and are nearly independent of the depth in water.

At the BIPM the determination of the absorbed dose to water is achieved with an uncertainty (σ) of 0,3 to 0,4 %, depending on depth. The stability of the measurements is excellent: the long-term standard deviations are of the order of $1,4 \times 10^{-4}$ and $3,0 \times 10^{-4}$ at depths of 5 and 17 cm, respectively. For checking purposes, mainly for verifying the validity of the calculated correction factors, a comparison has been made between the experimental ratio of the absorbed doses to water and to graphite and the one which is deduced by calculation. The difference between these two ratios, which is constant with depth, is of the order of 0,2 %, thus well within the uncertainty. This result gives indirect support to the reliability of the determination of absorbed dose to water at the BIPM.

In view of a further experiment to obtain an independent determination of absorbed dose to water, which will use the so-called « scaling theorem » (based on the linear dependence of the Compton process on the electron density), a new water phantom, larger than the previous one, has been built. A study of the influence of the size of the phantom on the absorbed dose and of the correction relative to the photoelectric contribution has been undertaken.

iii) *Comparisons and calibrations*

A direct comparison between the calorimetric standard of absorbed dose to graphite of the Institut de Radiophysique Appliquée (IRA), Lausanne, Switzerland, and the ionometric standard of the BIPM has been performed at various depths. The density of the IRA graphite discs is about $1,82 \text{ g/cm}^3$, which is higher than that of the BIPM discs

(1,74 to 1,80 g/cm³). The effect of this difference on the measurements of absorbed dose has been determined experimentally. As expected on the basis of previous comparisons, the absorbed dose, measured at a given depth, increases with the density of the graphite disks. This effect has been taken into account in the results of the comparison which are satisfactory, considering the uncertainties.

Indirect comparisons of air kerma standards on the one hand, and of standards of absorbed dose to water on the other hand, have been performed between the NRC, the PTB and the BIPM by means of transfer chambers of the NRC and the PTB. Only preliminary results are available at present because further measurements have to be done at the NRC.

An irradiation of thermoluminescent dosimeters has been performed for the IAEA in the BIPM water phantom. The dosimeters received an absorbed dose equal to 2 Gy. The results of the IAEA measurements are not yet known.

Three ionization chambers, used as secondary standards of air kerma at the National Institute of Radiation Hygiene (NIRH), Brønshøj, Denmark, have been calibrated: one is in the low-energy X-ray range, the others are in the ⁶⁰Co gamma radiation. These chambers are calibrated periodically at the BIPM.

All the above results look promising and stress the need for periodic comparisons and calibrations.

7.1.2. Neutron measurements (V. D. Huynh)

i) *Investigation of a NE213 liquid scintillation detector*

At its 1988 meeting, Section III of the CCEMRI proposed that the measurement and calculation of the spectra of neutrons from the BIPM (d + D) and (d + T) neutron sources be included in the future programme of neutron measurement work at the BIPM. To comply with this request, a NE213 liquid scintillation detector (5,08 cm in height and in diameter), equipped with a pulse-shape discriminator to separate the neutron and gamma-ray pulses, has been investigated at the BIPM in the 14,65 MeV neutron beam. The experimental equipment used is quite complex and has required some critical adjustments. Details will be described at a later date.

The preliminary results seem to indicate that the whole measuring system works as expected. The investigation consisted first in obtaining a good separation of the neutron and gamma-ray pulses in order to obtain the pure neutron pulse-height spectrum. As an example, a spectrum showing the time separation of the neutron and gamma-ray pulses is shown in Fig. 5.

On the other hand, the detection efficiencies, ϵ_{LS} , have been determined by using the coincidences which exist between the neutrons from the NE213 scintillator and the associated α particles from the silicon detector.

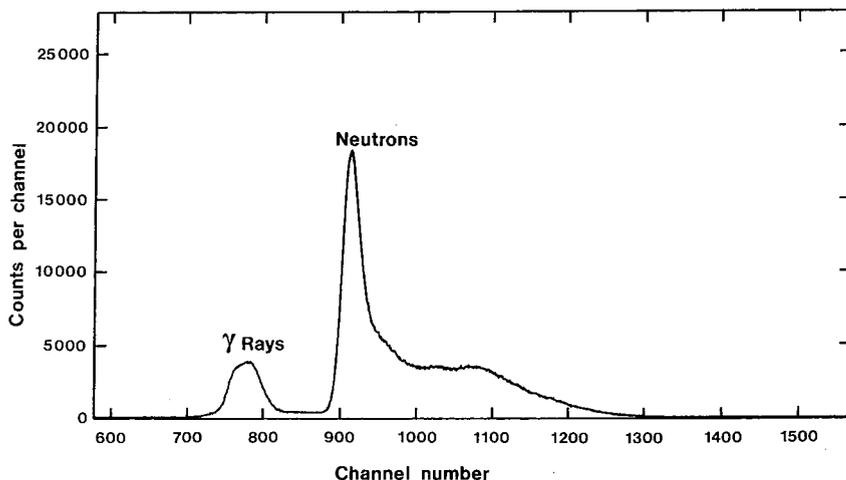


Fig. 5. — Time separation of the neutron and γ -ray pulses.

The detection efficiency is given by $\varepsilon_{LS} = N_c/N_\alpha$, where N_c and N_α are the numbers of counts for n- α coincidences and α particles, respectively. The values of 18,1 % and 16,7 % for ε_{LS} have been obtained with the thresholds corresponding to an electron energy of 100 keV and 240 keV, respectively. In addition, the fluence measured by the NE213 scintillator is in good agreement with that measured by the associated particle method within the uncertainties of the fluence measurements of the two detectors.

ii) Calibration of neutron detectors

At the request of the Groupe Étude Dosimétrie (GED) of the CEN-FAR (Fontenay-aux-Roses) and the CEN-Cadarache, two NE213 liquid scintillators, two spherical proportional counters and one fission chamber have been calibrated at the BIPM with the 14,65 MeV neutrons.

7.2. Radionuclides (J. W. Müller)

7.2.1. Activity measurements (G. Ratel and J. W. Müller)

i) International comparisons of activity measurements

a) ^{125}I (full-scale comparison). The final version of the report on the international comparison of the activity measurements of a solution of ^{125}I takes into account the comments received from the participants. In one case a discrepancy of about 1,5 % was observed, but this could be due to an inhomogeneity of the distributed solution. The uncertainty to be attributed to the final result is 1,1 % (for one laboratory).

b) ^{75}Se (trial comparison). The trial comparison of ^{75}Se , initiated by CCEMRI Section II, took place in Spring and Summer 1989. Five laboratories (AECL, BIPM, LMRI, OMH and PTB) participated in the measurement of this radionuclide, which is rendered difficult by the presence of a long-lived isomeric state. The BIPM is very grateful to the PTB for supplying and dispatching the radioactive solution used in this comparison.

Two methods were used. In the first the activity is evaluated by means of a conventional coincidence method in which the β -detection efficiency is changed by varying the applied voltage or the pressure in the proportional counters, by depositing successive absorbing foils or by altering the electronic detection threshold in the β channel. All the laboratories performed extrapolations of the β -count rate to efficiency 1, using a linear or quadratic least-squares fit. The experimental efficiencies ranged from 26 % to 73 %. To obtain the activity concentration, a correction is necessary which takes into account the delayed transitions originating from the isomeric state at 304 keV. The chosen values for this correction, based on literature data, ranged from 5,4 % to 8,7 %. The PTB obtained a value of 6 % by means of a correlation method.

At the BIPM twenty-four sources were prepared from the solution of ^{75}Se sent by the PTB. The measurements made use of a pressurized proportional counter, with pressure ranging from 0,4 to 1,5 MPa. The detection efficiency varied between 28 % and 47 %. A first-order extrapolation was applied to the data and the result was then corrected for the delayed events.

The second method (PTB) uses a $4\pi\gamma$ -high-efficiency spectrometer, avoiding thereby the problems connected with the extrapolation and the determination of the number of delayed events.

The measured activity concentration (based on six results) covers a total range of 15,1 % (Fig. 6) and shows a standard deviation of the mean of 2,4 %. (For a single laboratory the uncertainty is about 2,4 times this value). The unweighted mean is $(0,408 \pm 0,010)$ MBq g^{-1} . In view of the small number of participants and the apparent division of the data into two groups the uncertainty deduced here may not be reliable*. It seems likely that several laboratories have underestimated their uncertainties.

It appears from the trial comparison that results obtained by the coincidence method can be trusted only if the percentage of the decays involving the delayed state is better known than is possible at present. Further details can be found in the report concerning this comparison.

* The AECL informed us subsequently that the decay correction had already been applied to their results. The final report on the preliminary comparison of ^{75}Se (*Rapport BIPM-90/8*) takes account of this change.

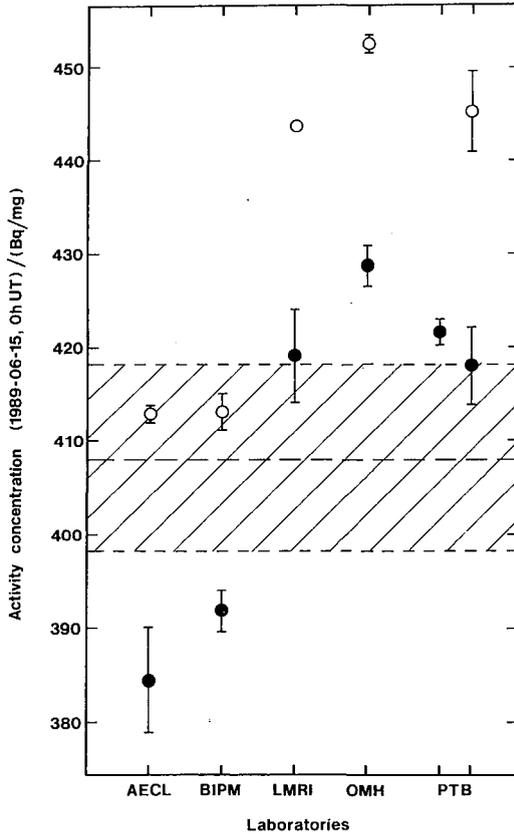


Fig. 6. — Results of the trial comparison of ^{75}Se obtained (o) before and (●) after correction for delayed events.

The hatched zone gives the experimental uncertainty about the mean value corrected for the delayed decays.

ii) *Measurements of the half-life of the 304 keV level of ^{75}As*

The 304 keV isomeric level in ^{75}As , measured repeatedly over the past years, has led to inconsistent results. A distortion in the time spectra, anticipated and subsequently found at the BIPM, but which had been neglected in previous measurements, allows clarification of the situation. The data accumulated over nearly four months, when carefully analyzed, lead to the value $T_{\frac{1}{2}} = (16,75 \pm 0,05)$ ms.

iii) *International reference system for measuring the activity of gamma-ray emitting radionuclides (SIR)*

This year six laboratories (ASMW, LMRI, NIST, OMH, PSPKR and UVVVR) have submitted to the BIPM 13 ampoules with 9 radionuclides (^{51}Cr , ^{85}Kr , ^{95}Nb , ^{131}I , ^{137}Cs , $^{144}(\text{Cr} + \text{Pr})$, ^{153}Gd , $^{166}\text{Ho}^m$ and ^{241}Am). Among them $^{166}\text{Ho}^m$ and ^{85}Kr were calibrated for the first

time. In the case of ^{85}Kr a new type of ampoule produced at the NIST, which allows us to measure gas samples, was also tested. However, the response of the BIPM ionization chamber to this radionuclide was found to be four times lower than that for the least active reference source. Attempts to improve this situation will be made.

Following a proposal of Section II, the BIPM will extend the SIR system. A three week stay of G. Ratel at the NIST led to the choice of a liquid-scintillation system, which will allow us to measure β and α emitters. Technical details, including the selection of the best cocktails, are still under discussion. Measurements of some radionuclides, which have a short half-life and are highly relevant in medical applications, are also planned.

7.2.2. Counting statistics (J. W. Müller)

The detailed study of modulo 2 correlation counting has led to an unexpected result which is likely to have an influence on the usual techniques for the absolute measurement of activities. We try in what follows to outline the basic idea, leaving aside the description of all the other work performed.

Let us suppose that the outputs of both the beta and the gamma channels, necessary for the traditional coincidence method, are not registered by scalers, but led to modulo 2 counters. After a large number of measuring cycles, these will yield the probabilities that the number k of events observed in a short time interval t is even or odd (parity of k). Neglecting, for the sake of argument, dead-time distortions we have Poisson processes in both channels. It can be shown that, e.g. for the beta channel with count rate ρ_β ,

$$\Pi_\beta \equiv \text{Prob}(k \text{ odd}) = \frac{1}{2}(1 - e^{-2\rho_\beta t}).$$

In a practical arrangement, it is convenient to set the measuring time by an electronic delay. Figure 7 shows a simplified arrangement for the measurement of Π_β . The periodic test pulses (of frequency ν) can only pass the gates, controlled by the modulo 2 counters, if k is odd. After a sufficiently long measuring time T we have $\Pi_\beta = N_{\text{odd}}/\nu T$. Likewise Π_γ is obtained for the gammas.

In principle at least, the pulses in each channel can be subdivided into two groups. In one group are those which have a «partner» in the opposite channel stemming from the same disintegration (and then called a true coincidence c); in the other are those which lack such a partner. If β and γ denote the number of events observed in the two channels in the same time interval t , we can write

$$\beta = b + c$$

and

$$\gamma = g + c,$$

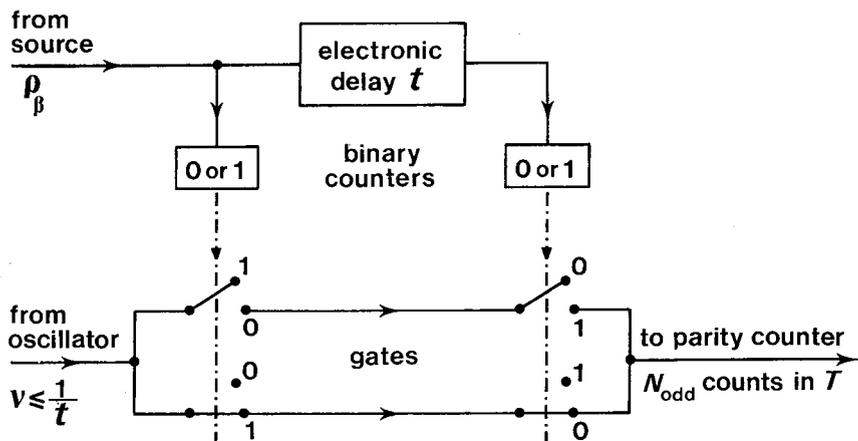


Fig. 7. — Schematic arrangement for parity measurements.

where b and g are the «single» pulses. For each time interval, the measured parities allow us to obtain the parity pertaining to the sum $\beta + \gamma$. However, this parity $\Pi_{\beta+\gamma}$ does not correspond to a Poisson process with mean value $\beta + \gamma$, but to $b + g$. The reason is that, in the sum, coincident events c always occur in pairs and such pairs cannot be «seen» by a modulo 2 counter. Since the averages of β and γ are easily measured directly, subtraction of $b + g$, obtained from the modulo counting, gives the number c of the true coincidences.

This surprising novel approach therefore seems to be capable of giving a direct measurement of the number of true coincidences, a quantity till now thought to be accessible only after application of theoretical corrections for the random coincidences. It can be shown that the presence of dead times or of an intermediate isomeric state makes the analysis more complicated, but does not invalidate the approach.

The construction by P. Bréonce of the elaborate electronic equipment required for the parity measurements is nearing completion and the decisive first tests are awaited with interest.

7.3. Publications, lectures, travel : Ionizing radiations section

7.3.1. BIPM Reports

- (1) BOUTILLON, M. Revision of the results of international comparisons of absorbed dose in graphite, in a ^{60}Co beam. *Rapport BIPM-90/4*, March 1990, 7 pages.
- (2) HUYNH, V. D. and LAFAYE, L. Influence of gas tubes on the current measurements of the Mg/Ar ionization chambers. *Rapport BIPM-90/1*, February 1990, 6 pages.

- (3) MÜLLER, J. W. Measurement of a dead time by correlation techniques. Part I: For an extended dead time. *Rapport BIPM-89/10*, December 1989, 13 pages.
- (4) MÜLLER, J. W. ISO/TAG4/WG3, Expression of uncertainties. Two documents (3 and 7 pages) concerning the preparation of their guidance document (March 1990).
- (5) PERROCHE A.-M. and HARGRAVE, N. J. Comparison of air kerma and exposure standards of ARL and BIPM for X rays (100 to 250 kV) and ^{60}Co gamma radiation. *Rapport BIPM-89/11*, December 1989, 21 pages.
- (6) PERROCHE A.-M. and JAKAB A. Comparison of the standards of absorbed dose to graphite of the OMH and the BIPM for ^{60}Co γ rays. *Rapport BIPM-90/2*, March 1990, 13 pages.
- (7) RATEL G. International comparison of activity measurements of a solution of ^{125}I (May 1988). *Rapport BIPM-90/4*, 80 pages.
- (8) RATEL G. Trial comparison of activity measurements of a solution of ^{75}Se (Draft report), 27 pages.
- (9) RATEL G. Report on a stay at the National Institute of Standards and Technology (NIST) in August 1989, 6 pages.

7.3.2. Travel (committees, visits to laboratories and institutions)

J.W. Müller visited :

— The Institut d'Électrochimie et de Radiochimie at the École Polytechnique Fédérale in Lausanne on 7 February 1990, where he gave two lectures entitled « Comment déterminer le nombre de coïncidences vraies — sans les mesurer » and « Mesure précise de la période d'un état isomère du ^{75}As ».

— Berlin (FRG) from 14 to 16 November 1989 and Geneva (Switzerland) from 27 to 29 March 1990: meeting of the Committee ISO/TAG4/WG3 « Expression of Uncertainties » which is elaborating a « Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement », based on the Recommendation 1 (CI-1981) of the CIPM.

— NIST, Gaithersburg (USA) on 18 May 1990: « A simple new way of separating true and random coincidences ».

— Ann Arbor, Michigan, (USA), 21 to 25 May 1990: 7th Symposium on Radiation Measurements and Applications, invited paper entitled « Generalized dead times ».

— Klais (FRG), 10 to 14 September 1990: meeting of the Main Commission of the ICRU.

C. Colas attended a technical training course « La radioprotection à l'intention des personnes compétentes » at the Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires, Saclay, from 14 to 23 March 1990.

8. Publications

8.1. BIPM publications

Procès-Verbaux des séances du Comité International des Poids et Mesures, Tome 57, 78^e session, October 1989, 208 pages.

Annual Report of the BIPM time section, Vol. 2, 1989 (June 1990), 130 pages.

Circular T (monthly), 4 pages.

Techniques for Approximating the International Temperature Scale of 1990, July 1990, 205 pages.

Supplementary Information for the International Temperature Scale of 1990, December 1990, 177 pages.

8.2. *Metrologia* (D. A. Blackburn)

This has been a year of change for *Metrologia*. After nine years at the BIPM, R. P. Hudson retired and his place as Editor of *Metrologia* was taken by D. A. Blackburn. In addition it has been decided that the arrangements for publication of *Metrologia* will be changed.

Following a decision of the CIPM that the BIPM should take direct responsibility for the publication of *Metrologia*, the Director began negotiations with the publisher, Springer-Verlag, with a view to purchasing the journal. These discussions rapidly reached a satisfactory conclusion and an agreement for purchase was signed on 18 June 1990. The transfer will be effective from 1 January 1991.

Beginning with volume 28, *Metrologia* will be published by the BIPM and it will be printed in France by Imprimerie Durand of Luisant, near Chartres. As Durand has been printing BIPM publications since 1964 the effect of the change is merely to extend a well-established working arrangement. In addition to a special publisher's note which appeared in the last issue of 1990, a joint letter was written to members of the Editorial Board bringing to an end twenty five years of happy collaboration between BIPM and Springer-Verlag.

In factual terms the performance of *Metrologia* differs little from that in previous years. In 1989, 31 articles were published the principal topics being thermometry (8) and electricity (5). In the year 1 January to 31 December 1989, 34 manuscripts were submitted for publication. Of these, 21 were published, 11 were refused, 1 was withdrawn and 1 remains under consideration. From 1 January to 31 May 1990, 23 articles were submitted. At 31 May 1990, 8 of these had been accepted for publication, 2 had been refused, and 13 remained under consideration.

8.3. External publications

A detailed list of external publications is given in the entry for each section.

9. Certificates and Study Notes

In the period from 1 October 1989 to 30 September 1990, 35 Certificates and 3 Notes of study were delivered.

For a list of Certificates and Notes, see page 64.

IV. — ACTIVITIES RELATED TO EXTERNAL ORGANIZATIONS

1. Work in association with national and international organizations

T. J. Quinn attends regular meetings of the Scientific Council of the IMGc (Turin), continues to act as Chairman of the CODATA Task Group on Fundamental Constants, is a member of the IUPAC Interdivisional Committee on Nomenclature and Standards, the Associate Committee on Standards of Physical Measurement of the NRC (Ottawa) and the Comité Scientifique of the Laboratoire de l'Horloge Atomique (Orsay).

J. Bonhoure acts as the expert for French language of the Technical Committee 7.06 « Lighting terminology » of International Commission on Illumination.

B. Guinot participates in the work of IAU, IUGG, CCIR. He is a member of the scientific council of the Groupe de Recherches de Géodésie Spatiale (France) and Chairman of the French scientific council of the Central Bureau of the IERS. He is a member of the Bureau des Longitudes, a corresponding member of the Académie des Sciences (Paris) and a member of the Academia Europaea.

J. W. Müller is a member of the Board of Editors of *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*. He is also Chairman of the ICRU Report Committee « Fundamentals of Particle Counting applied to Radioactivity Measurements » and a member of the ISO Working Group of TAG4 on the Expression of Uncertainties.

P. Giacomo (directeur honoraire) continues to represent the BIPM in the preparation of the 2nd Edition of the International vocabulary of basic and general terms in metrology.

D. A. Blackburn is a member of the Board of Governors of the International Technological University, UNESCO, Paris.

G. Petit is a member of the scientific council of Groupe de Recherches de Géodésie Spatiale (France).

2. Meetings at the BIPM

CCM Working Group « Étalons de masse », 2-3 November 1989.
ISO/TC12 Advisory Panel, 9 July 1990.
CCU, 10-11 July 1990.
CCPR, 17-19 September 1990.

3. Guest workers and visitors to the BIPM

3.1. Guest workers

Mrs A.-M. Perroche (SCPRI, Le Vésinet), continues her participation in the work of the Ionizing Radiation Section (Dosimetry) as she has since 1961.

Mrs P. Tavella (IEN, Turin, Italy), came for three stays (October-December 1989, 5-16 February 1990, 3-13 April 1990) for various studies concerning time scale algorithms.

Dr A. Razet (INM, Paris), came several times to the BIPM in October 1989 to collaborate with Dr S. Fredin-Picard on theoretical work and the establishment of computer programmes for calculating hyperfine coupling constants on iodine transitions.

Messrs P. Gardel and R. Porta (Institut de Radiophysique Appliquée, Lausanne, Switzerland), stayed at the BIPM from 21 November to 1 December 1989. They compared the calorimetric standard of absorbed dose to graphite of their laboratory with the ionometric standard of the BIPM.

Mr H. Pirée (Administration du commerce, Inspection générale de la métrologie, Brussels, Belgium), stayed from 11 to 15 December 1989 to check a beat frequency system for comparing two stabilized lasers.

Mrs V. Zivkovic and Mr V. Vasiljevic (Federal Bureau of Measures and Metals, Belgrade, Yugoslavia) and Mr A. Alendar (Zrak Company, Belgrade, Yugoslavia), stayed at the BIPM from 22 January to 2 February 1990 to check their iodine stabilized lasers and to make a frequency comparison with the BIPM.

Dr F. Piquemal (LCIE, Fontenay-aux-Roses), worked on the quantum Hall effect in the Electricity Section from 23 March to 13 April 1990.

Dr C. C. Speake (University of Birmingham, UK) spent two weeks at the BIPM in August 1990 working on the silicon flexure pendulum.

Dr M. Weiss (Time and Frequency Division, NIST, Boulder, USA), spent three months (March to May 1990) in the Time Section for the study of measured ionospheric delays and for various statistical analyses.

Mr A. Michel (ETCA, Arcueil, France), stayed at the BIPM 19-20 April 1990 to check an iodine stabilized laser, built by his laboratory for the Belgian government, and a green He-Ne laser at $\lambda = 543$ nm.

Mr Sylvani (Sextant Avionique, Issy-les-Moulineaux, France), stayed from 2 to 18 May 1990 to check and to calibrate an iodine stabilized laser built by his company for the Polish government.

3.2. Visitors

Dr L. Liedquist (SP, Borås, Sweden), 27 April 1989 for discussions with R. Köhler and to deliver standard lamps (Radiometry, Photometry).

Mr J. Geist (NIST, Gaithersburg, USA), 25 July 1989 to 8 August 1989 to work with R. Köhler on the theory of self-calibration, and for measurements of diffuse scattering from photodiodes (Radiometry, Photometry).

Dr R. Anderson (SP, Borås, Sweden), 22 August 1989 for discussions with R. Köhler and to collect standard lamps (Radiometry, Photometry).

Mrs M. Sardi (IEN, Turin, Italy), 3 to 27 October 1989 to work in the radiometry laboratory, (Radiometry, Photometry).

Dr P. S. Ramanujam (Danish Institute of Fundamental Metrology, Denmark), 13 October 1989 (Length).

Dr John Luck (Orroral Observatory, Canberra, Australia), 16 October 1989 (Time).

Mr P. Louis (Université des Sciences et Techniques du Languedoc, centre géologique et géographique, France), 19 October 1989 (Length).

Mrs J. Houston (NIST, Gaithersburg, USA), 22 to 24 October 1989 for discussions (Radiometry, Photometry).

Mrs P. Tavella and M. Sardi (IEN, Italy), 25 October 1989 (Length).

Dr A. F. Clark (NIST, Gaithersburg, USA), 30 October 1989 (Electricity and Mass).

Drs G. Kramer and B. Lippart (PTB, Braunschweig, FRG), 30 October 1989 (Length).

Mrs J. Houston (NIST, Gaithersburg, USA), 7 November 1989 (Mass).

Dr L. R. Pendrill (SP, Borås, Sweden), 8 November 1989 (Length).

Prof. Silvestre Antunes (IPQ, Lisbon, Portugal), 14 November 1989 (Time).

Messrs M. Ono and Y. Kimura (Mitutoyo, France), 16 November 1989 (Length).

Dr L. Vitushkin (VNIIM, Leningrad, USSR), 22 November 1989 (Length).

Mrs I. Laurenço Iapor and Mr S. Da Costa Marques (Instituto Nacional de Metrologia, Brazil), 24 November 1989 (Length).

Dr G. Peter (National Geodetic Survey, Rockville, USA), 1 December 1989 (Length).

Mmes F. Posny and D. Cutarella, Messrs G. Audoin, C. Itié and J. Pointreau (CEN-FAR), 4 to 8 December 1989 to calibrate their

NE213 liquid scintillators and spherical proportional counters in the BIPM 14,65 MeV neutron field (Ionizing Radiations).

Dr Hayashi (CRL, Tokyo, Japan), 17 January 1990 (Time).

Dr J. Faller (JILA, Boulder, USA), 18 January 1990 (Length).

Mr G. D. Chapman (NRC, Ottawa, Canada), 2 February 1990 (Mass).

Mr H. Källgren (SP, Borås, Sweden), 2 February 1990 (Mass).

Mrs Fatima Marques (IPQ, Lisbon, Portugal), 7 February 1990 (Time).

Mr R. Hahnewald (ASMW, Berlin, GDR), 22 February 1990 (Mass).

Dr P. Connes (Service d'Aéronomie, Verrières-le-Buisson), 7 March and 24 April 1990 (Length).

Mr P. Vukanid (Yugoslavia), 19 to 23 March 1990 for discussions and calibration of standard lamps (Radiometry, Photometry).

Messrs De Marchi, J. Dutitre and P. Gain (Sextant Avionique, Issy-les-Moulineaux), 22 March 1990 (Length).

Messrs G. Riccioni and M. Murgo (Commission Métrique, Rome, Italy), 22 March 1990 (Mass).

Messrs A. Trubnikov, L. Vlasov and V. Sapritsky (VNIIOFI, Moscow, USSR), 2 to 6 April 1990 for discussions and calibration of standard lamps (Radiometry, Photometry).

Prof. Dr B. Ney (Institut de Géodésie et de Cartographie, Poland), 6 April 1990 (Length).

Dr I. Ishikawa (NRLM, Tsukuba, Japan), 9 April 1990 (Length).

Dr F. Prieto (Centre Espagnol de Métrologie, Madrid, Spain), 11 April 1990 (Length).

Dr O. Cramer (CSIR, Pretoria, South Africa), 11 April 1990 (Length).

Dr K. Ennow (National Institute of Radiation Hygiene, Brønshøj, Denmark), 18 and 19 April 1990 and 26 July 1990 to discuss calibration of the ionization chambers of his laboratory and some specific problems concerning the SIR (Ionizing Radiations).

Mrs J. M. Calhoun (NIST, Gaithersburg, USA), 30 April 1990 to 2 May 1990 to discuss the extension of the SIR system, participation in international comparisons, some problems related to counting statistics and to see the facilities of the X- and gamma-ray group (Ionizing Radiations).

Mr V. A. Ramos (Division de Métrologie, Lisbon, Portugal), 16 May 1990 (Mass).

Mr Hong Lin Taik (Institut Central de Qualité et de Métrologie, Pyongyang, DPR of Korea), 18 May 1990 (Length).

Mrs F. Posny and Mr C. Itié (CEN-FAR), Messrs J. C. Colonges and J. Kurkdjian (CEN-Cadarache), visited the laboratory of neutron measurements on 20 and 21 June 1990. They calibrated their fission chamber in the 14,65 MeV neutron beam of the BIPM (Ionizing Radiations).

4. Presentations at the BIPM

The following presentations were given at the BIPM by visitors and members of the Bureau as part of the regular schedule of seminars.

T. J. Quinn: The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90), 20 November 1989.

G. Girard: Sur la comparaison du prototype international du kilogramme et ses témoins, 12 December 1989.

A. Brilliet (Laboratoire de l'Horloge Atomique, Orsay): Détection interférentielle des ondes gravitationnelles: le projet VIRGO, 17 January 1990.

T. J. Quinn: The mass of spinning rotors, 18 February 1990.

C. Thomas: Application aux transferts de temps des mesures de retards ionosphériques des signaux GPS, 27 March 1990.

J.-M. Chartier and S. Fredin-Picard: Laser vert à $\lambda = 543$ nm, 25 April 1990.

M. Weiss (Guest worker from NIST): A new time scale algorithm: AT1 plus variance, 15 May 1990.

V. — ACCOUNTS

Details of the accounts for 1989 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 71-75.

The headings for the tables may be translated as follows:

Compte I — Fonds ordinaires	Account I — Ordinary funds
Compte II — Caisse de retraites	Account II — Pension fund
Compte III — Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique	Account III — Special fund for the improvement of scientific equipment
Compte IV — Caisse de prêts sociaux	Account IV — Special loans fund
Compte V — Réserve pour les bâtiments	Account V — Building reserve

Two additional tables detail the payments made against budget in 1989 and the balance of accounts at 31 December 1989. This is done under the headings :

DÉTAIL DES DÉPENSES BUDGÉTAIRES

STATEMENT OF BUDGETARY EXPEN-
DITURE

Bilan au 31 Décembre 1989

Balance at 31 December 1989

It should be noted that in all tables the unit of currency is the gold franc (franc-or) which is defined by the equivalence 1 franc-or = 1,81452 French francs.

TABLE DES MATIÈRES
TABLE OF CONTENTS

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

79^e session (septembre 1990)
79th meeting (September 1990)

	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	ix
Liste des membres du Comité international	xi
Liste du personnel du Bureau international	xiii
Ordre du jour de la session	xvi
Procès-verbaux des séances, 25, 26 et 27 septembre 1990	1
1. Ouverture de la session ; quorum ; ordre du jour	1
2. Rapport du secrétaire du CIPM	2
3. Rapport sur l'activité du bureau du Comité (démission de A. P. Mitra, E. Ambler et A. I. Mekhannikov ; élection de J. W. Lyons et S. K. Joshi) ..	3
4. Projet de Convocation de la 19 ^e Conférence Générale	6
5. Comités consultatifs	7
5.1. Comité consultatif des unités	7
5.2. Comité consultatif de photométrie et radiométrie	7
5.3. Groupe de travail sur les étalons de masse du Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées	10
5.4. Rapports des présidents des Comités consultatifs à la Conférence générale des poids et mesures	12
5.5. Réunions futures	12
5.6. Présidence du Comité consultatif d'électricité et du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants	12
6. Travaux du BIPM : Rapport du directeur	13
7. Coordination mondiale des mesures chimiques et physico-chimiques	13
8. Accords bilatéraux sur l'équivalence d'étalons	15

9. Révision du règlement des conditions d'étalonnage au BIPM	16
10. Affaires administratives et financières	18
11. Questions diverses	20
11.1. Membres du CIPM (démission de P. Dean)	20
11.2. Membre honoraire du CIPM (E. Ambler)	20
11.3. Promotions du personnel au sein du BIPM	20
11.4. Prochaine session du CIPM	21
Rapport du directeur sur l'activité et la gestion du Bureau international des poids et mesures (octobre 1989 — septembre 1990)	23
I. Personnel. — Engagements (D. Blackburn, S. Picard). Chercheur associé (R. Davis). Titularisation (R. Prieto). Départ (R. P. Hudson)	23
II. Bâtiments. — Observatoire (réparation de la toiture, réfection d'un bureau, transformation de la salle 16 en laboratoire et d'un local pour installer une horloge à césium). Grand Pavillon (réfection des deux halls d'entrée). Petit Pavillon (peinture de l'appartement des gardiens et de celui des stagiaires). Bâtiment des rayonnements ionisants (réfection de trois bureaux, installation d'un petit atelier pour les circuits imprimés, construction d'un local pour le stockage à court terme de déchets faiblement radioactifs). Extérieurs et parc (installation d'un système automatique d'arrosage, remplacement de canalisations, réparation de dommages causés par une tempête)	24
III. Travaux scientifiques	24
1. Remarques générales	24
1.1. Publications, conférences et voyages ne concernant pas une section particulière du BIPM	28
1.1.1. Publication extérieure	28
1.1.2. Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts)	28
2. Longueurs	29
2.1. Remarques générales	29
2.2. Mesures de longueur classiques	29
2.3. Lasers	30
2.3.1. Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée de l'iode en cuve interne à $\lambda = 633$ nm	30
2.3.2. Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée de l'iode en cuve interne ou externe à $\lambda = 612$ nm	31
2.3.3. Lasers à argon	32
2.3.4. Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée de l'iode en cuve externe à $\lambda = 543$ nm	32
2.3.5. Laser à CO ₂ à $\lambda = 10,6$ μ m	33
2.3.6. Structure hyperfine	33
2.4. Publications, conférences et voyages : section des longueurs	33
2.4.1. Publications extérieures	33
2.4.2. Rapport BIPM	33
2.4.3. Conférences et exposés	34
2.4.4. Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts)	34
3. Masse et grandeurs apparentées	34
3.1. Troisième vérification périodique des prototypes nationaux du kilogramme.	35
3.2. Balance Mettler et fabrication de nouveaux prototypes	36

3.3. Balance à suspensions flexibles	36
3.4. Expérience sur le gyroscope	37
3.5. Effets de surface sur les étalons de masse en platine iridié	38
3.6. Lames flexibles en monocristal de silicium	38
3.7. Gravimétrie	39
3.8. Publications, conférences et voyages : section des masses	40
3.8.1. Publications extérieures	40
3.8.2. Conférences et exposés	40
4. Temps	40
4.1. Les activités de la section du temps en 1990	40
4.2. Algorithmes pour échelles de temps	40
4.3. Liaisons horaires	41
4.3.1. Global Positioning System	41
4.3.2. GLONASS	42
4.4. Définition du TAI et d'échelles de temps dans l'univers	43
4.5. Pulsars	43
4.6. Autres activités	44
4.6.1. Installation d'une horloge à césium	44
4.6.2. Séminaire De Marchi	44
4.6.3. Interférométrie à très longue base sur pulsars à la milliseconde ..	44
4.7. Publications, conférences et voyages : section du temps	44
4.7.1. Publications extérieures	44
4.7.2. Rapport	45
4.7.3. Conférences et exposés	45
4.7.4. Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts)	45
5. Électricité	46
5.1. Travaux de la section d'électricité en 1990	46
5.2. Potentiel électrique	47
5.2.1. Effet Josephson	47
5.2.2. Progrès dans les mesures des étalons électroniques de tension continue de 10 V	47
5.3. Résistance électrique	48
5.3.1. Effet Hall quantique	48
5.3.2. Préparation de la comparaison internationale de 1990 d'étalons de 1 Ω et de 10 k Ω	49
5.4. Étude de l'effet Josephson dans $YBa_2Cu_3O_{7,8}$	49
5.5. Comparaisons et étalonnages courants	49
5.6. Publications, conférences et voyages : section d'électricité	50
5.6.1. Publications extérieures	50
5.6.2. Rapport BIPM	50
5.6.3. Conférences et exposés	50
5.6.4. Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts)	51
6. Radiométrie, photométrie, thermométrie	51
6.1. Radiométrie	51
6.2. Photométrie	52
6.3. Thermométrie	52

6.4. Études courantes	53
6.5. Publications, conférences, voyages : section de radiométrie, photométrie, thermométrie	53
6.5.1. Publications extérieures	53
6.5.2. Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts)	53
7. Rayonnements ionisants	54
7.1. Dosimétrie	54
7.1.1. Rayonnement du ⁶⁰ Co et rayons X	54
7.1.2. Mesures neutroniques	56
7.2. Radionucléides	57
7.2.1. Mesures d'activité	57
7.2.2. Statistiques de comptage	60
7.3. Publications, conférences, voyages : section des rayonnements ionisants	61
7.3.1. Rapports BIPM	61
7.3.2. Voyages (réunions, visites de laboratoires et d'instituts)	62
8. Publications	63
8.1. Publications du BIPM	63
8.2. Metrologia	63
8.3. Publications extérieures	64
9. Certificats et Notes d'étude	64
IV. Activités et relations extérieures	66
1. Travaux en liaison avec des organismes nationaux et internationaux	66
2. Réunions au BIPM	67
3. Visites et stages au BIPM	67
3.1. Stagiaires	67
3.2. Visiteurs	68
4. Exposés au BIPM	70
V. Comptes	71

English text of the report

The BIPM and the Convention du Mètre	79
Members of the Comité International des Poids et Mesures	81
Personnel of the Bureau International des Poids et Mesures	83
Agenda	86
Proceedings of the sessions, 25, 26 and 27 September 1990	87
1. Opening of the meeting ; quorum ; agenda	87
2. Report of the Secretary of the CIPM (resignations of A. P. Mitra, E. Ambler and A. I. Mekhannikov ; elections of J. W. Lyons and S. K. Joshi)	88
3. Report on the activity of the bureau of the CIPM	89
4. Draft Convocation to the 19th Conférence Générale	91
5. Consultative Committees	92
5.1. Comité Consultatif des Unités	92
5.2. Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie	93

5.3. Working Group « Mass Standards » of the Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées	95
5.4. Reports of the Presidents of the Consultative Committees to the Conférence Générale des Poids et Mesures	97
5.5. Future meetings	97
5.6. Presidencies of the Comité Consultatif d'Électricité and of the Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants ..	97
6. Work of the BIPM: Report of the Director	98
7. Worldwide coordination of chemical and physico-chemical measurements ..	98
8. Bilateral agreements on equivalence of standards	100
9. Revision of the regulations for calibrations at the BIPM	101
10. Financial and administrative affairs	103
11. Other business	105
11.1. Changes in membership of the CIPM (resignation of P. Dean)	105
11.2. Honorary member of the CIPM (E. Ambler)	105
11.3. Promotions of grade of BIPM staff	105
11.4. Next CIPM meeting	105
Director's Report on the activity and management of the Bureau International des Poids et Mesures (October 1989 — September 1990)	107
I. Staff. — Appointments (D. Blackburn, S. Picard). Research Fellow (R. Davis). Permanent post (R. Prieto). Departure (R. Hudson)	107
II. Buildings. — Observatory (roof repairs, redecoration of one office, refurbishment of one room for use as a laboratory and another for installation of a caesium clock). Grand Pavillon (redecoration of entrance halls). Petit Pavillon (redecoration of apartments for caretakers and visitors). Ionizing radiation buildings (redecoration of offices, installation of workshop, erection of outbuilding). Outbuildings and park (installation of watering system, replacement of drains, repair of storm damage)	108
III. Scientific work	108
1. General introduction	108
1.1. Publications, lectures, travel not directly related to individual sections ..	112
1.1.1. External publication	112
1.1.2. Travel (committees, visits to laboratories and institutions)	112
2. Length	113
2.1. General remarks	113
2.2. Classical length measurement	113
2.3. Lasers	114
2.3.1. Iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda = 633$ nm using internal cells	114
2.3.2. Iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda = 612$ nm using internal or external cells	114
2.3.3. Argon lasers	115
2.3.4. Iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda = 543$ nm using external cells.	116
2.3.5. CO ₂ laser at $\lambda = 10,6$ μ m	116
2.3.6. Hyperfine structure	116

2.4. Publications, lectures, travel : Length section	117
2.4.1. External publications	117
2.4.2. BIPM Report	117
2.4.3. Lectures and presentations	117
2.4.4. Travel (committees, visits to laboratories and institutions)	118
3. Mass and related quantities	118
3.1. Third periodic verification of national prototypes of the kilogram	118
3.2. The Mettler balance and fabrication of new prototypes	119
3.3. The flexure-strip balance	120
3.4. The gyroscope experiment	121
3.5. Surface effects on Pt-Ir mass standards	121
3.6. Single-crystal silicon flexures	122
3.7. Gravimetry	122
3.8. Publications, lectures, travel : Mass section	123
3.8.1. External publications	123
3.8.2. Lectures and presentations	123
4. Time	123
4.1. The work of the Time section in 1990	123
4.2. Algorithms for time scales	123
4.3. Time links	124
4.3.1. Global Positioning System	124
4.3.2. GLONASS	125
4.4. Definition of TAI and Time Scales in the Universe	126
4.5. Pulsars	126
4.6. Other activities	126
4.6.1. Installation of a caesium clock	126
4.6.2. De Marchi's seminar	127
4.6.3. VLBI on millisecond pulsars	127
4.7. Publications, lectures, travel : Time section	127
4.7.1. External publications	127
4.7.2. Report	128
4.7.3. Lectures and presentations	128
4.7.4. Travel (committees, visits to laboratories and institutions)	128
5. Electricity	129
5.1. The work of the Electricity section in 1990	129
5.2. Electrical potential	129
5.2.1. Josephson effect	129
5.2.2. Progress in measurements of 10 V d.c. electronic standards	130
5.3. Electrical resistance	130
5.3.1. Quantum Hall effect	130
5.3.2. Preparations for the 1990 international comparison of 1 Ω and 10 k Ω standards	131
5.4. Study of the Josephson effect in YBa ₂ Cu ₃ O _{7.6}	132
5.5. Comparisons and routine calibrations	132

5.6. Publications, lectures, travel : Electricity section	133
5.6.1. External publications	133
5.6.2. BIPM Report	133
5.6.3. Lectures and presentations	133
5.6.4. Travel (committees, visits to laboratories and institutions)	133
6. Radiometry, photometry, thermometry	134
6.1. Radiometry	134
6.2. Photometry	135
6.3. Thermometry	135
6.4. Routine work	135
6.5. Publications, lectures, travel : Radiometry, photometry, thermometry section	135
6.5.1. External publications	135
6.5.2. Travel (committees, visits to laboratories and institutions)	135
7. Ionizing radiations	136
7.1. Dosimetry	136
7.1.1. ⁶⁰ Co gamma rays and X-rays	136
7.1.2. Neutron measurements	138
7.2. Radionuclides	139
7.2.1. Activity measurements	139
7.2.2. Counting statistics	142
7.3. Publications, lectures, travel : Ionizing radiations section	143
7.3.1. BIPM Reports	143
7.3.2. Travel (committees, visits to laboratories and institutions)	144
8. Publications	145
8.1. BIPM publications	145
8.2. Metrologia	145
8.3. External publications	146
9. Certificates and Study Notes	146
IV. Activities related to external organizations	146
1. Work in association with national and international organizations	146
2. Meetings at the BIPM	147
3. Guest workers and visitors to the BIPM	147
3.1. Guest workers	147
3.2. Visitors	148
4. Presentations at the BIPM	150
V. Accounts	150

IMPRIMERIE DURAND

28600 LUISANT (FRANCE)

Dépôt légal : Imprimeur, 1991, n° 7515
ISBN 92-822-2114-8

ACHEVÉ D'IMPRIMER : MAI 1991

Imprimé en France