

Comité international des poids et mesures (CIPM)

Procès-verbaux de la 86^e session

(septembre 1997)

Report of the 86th Meeting

(September 1997)

Tome 65



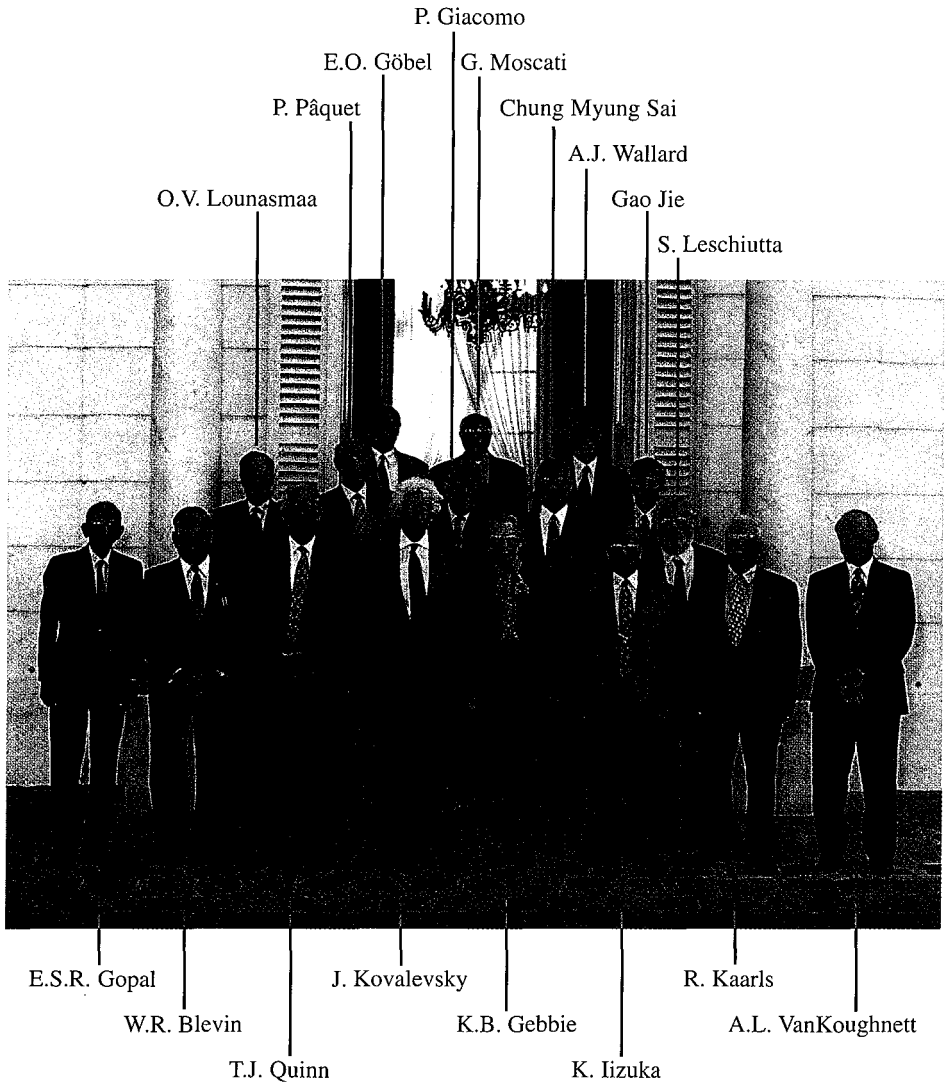
Bureau
international
des poids
et mesures

Organisation
intergouvernementale
de la Convention
du Mètre

Comité international des poids et mesures

86^e session (septembre 1997) ■ 86th Meeting (September 1997)

Comité international des poids et mesures
86^e session (23-25 septembre 1997)



Bureau international des poids et mesures

Comité international des poids et mesures

86^e session (septembre 1997)

Note sur l'utilisation du texte anglais (*voir page 185*)

Afin de mieux faire connaître ses travaux, le Comité international des poids et mesures publie une version en anglais de ses 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.

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

Conception graphique :
Monika Jost

Imprimé par : Stedi, Paris

ISSN 0370-2596

ISBN 92-822-2158-X

TABLE DES MATIÈRES

Photographie des participants à la 86 ^e session	2
États membres de la Convention du Mètre	12
Le BIPM et la Convention du Mètre	13
Liste des membres du Comité international des poids et mesures	17
Liste du personnel du Bureau international des poids et mesures	21
Procès-verbaux des séances, 23, 24, 25 septembre 1997	23
Ordre du jour	24
1 Ouverture de la session ; quorum ; ordre du jour	27
2 Rapport du secrétaire et activités du bureau du Comité	28
2.1 États membres de la Convention du Mètre	28
2.2 Composition du Comité international	28
2.3 Réunion des directeurs de laboratoires nationaux de métrologie ..	29
2.4 Comités consultatifs	29
2.5 Rapport sur les besoins à long terme de la métrologie	29
2.6 Équivalence des étalons nationaux de mesure	30
2.7 Troisième réunion du Groupe de travail commun OIML/ Convention du Mètre	30
2.8 Septième édition de la brochure sur le SI : utilisation du point sur la ligne comme séparateur décimal en anglais	30
2.9 Proposition au sujet d'un Comité mixte BIPM/UAI	30
2.10 Questions relatives au BIPM	31
2.10.1 Nouveau bâtiment	31
2.10.2 Départ à la retraite anticipé pour le personnel ayant cotisé longtemps	32
2.11 Indications financières	32
2.12 Questions diverses	33

3	Composition du Comité international	34
3.1	Critères pour être membre du Comité international	34
3.2	Membres honoraires	36
4	Équivalence des étalons nationaux de mesure	37
5	Besoins à long terme de la métrologie	39
6	La Convention du Mètre et l'Organisation internationale de métrologie légale	40
7	Comités consultatifs	41
7.1	Comité consultatif pour la quantité de matière	41
7.2	Comité consultatif de photométrie et radiométrie	41
7.3	Comité consultatif d'électricité	42
7.4	Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants	42
7.5	Comité consultatif pour la définition du mètre	43
7.6	Changement de nom et de sigle de certains Comités consultatifs ..	44
7.7	Présidence des Comités consultatifs	44
7.8	Composition des Comités consultatifs	44
7.9	Réunions futures des Comités consultatifs	44
8	Septième édition de la brochure sur le SI	46
9	Travaux du BIPM ; Rapport du directeur	48
9.1	Travaux du BIPM	48
9.2	Dépôt des prototypes métriques	49
10	Questions administratives et financières	51
10.1	Questions administratives et financières	51
10.2	Nouveau bâtiment et atelier	51
10.3	Promotions	52
10.4	Statuts du personnel	52
10.5	Crèche	52
10.6	Metrologia	52
11	Questions diverses	54
11.1	Comité mixte BIPM/UAI sur les systèmes de référence spatio-temporels et la métrologie dans le cadre de la relativité générale	54
11.2	Comité commun pour les guides en métrologie	55
11.3	Définition du terme grandeur	55
11.4	Les étalons soi-disant intrinsèques	55
11.5	Groupe de travail sur l'acoustique, les ultrasons et les vibrations	56
11.6	Questions diverses	56
12	Prochaine session du CIPM	58

Recommandations adoptées par le CIPM à sa 86^e session	59
1 (CI-1997) : Révision de la mise en pratique de la définition du mètre	61
2 (CI-1997) : Métrologie en chimie	72
Composition des Comités consultatifs du Comité international des poids et mesures	73
Rapport du directeur sur l'activité et la gestion du Bureau international des poids et mesures (octobre 1996 - septembre 1997)	93
1 Introduction générale aux travaux scientifiques du Bureau international	95
1.1 Publications, conférences et voyages ne concernant pas directement une section particulière	99
1.1.1 Publications extérieures	99
1.1.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) ..	99
1.2 Activités en liaison avec des organisations extérieures	101
1.3 Activités liées au travail des Comités consultatifs	101
2 Longueurs	102
2.1 Mesures de longueur : nanométrie	102
2.1.1 Diffractomètre interférométrique à laser : méthode des trois longueurs d'onde	102
2.1.2 Interférométrie laser pour les mesures de déplacement de l'ordre du nanomètre	103
2.2 Lasers	104
2.2.1 Laser à Nd:YAG doublé à $\lambda \approx 532$ nm	104
2.2.2 Lasers à He-Ne asservis sur l'iode à $\lambda \approx 543,5$ nm en cuve externe	104
2.2.3 Lasers à He-Ne asservis sur l'iode à $\lambda \approx 633$ nm en cuve interne	105
2.2.4 Lasers à diode à cavité étendue avec une cuve à iode interne à $\lambda \approx 633$ nm	106
2.2.5 Lasers à diode asservis sur le rubidium à $\lambda \approx 778$ nm en utilisant les composantes hyperfines des transitions 5S-5D à deux photons	107
2.2.6 Lasers à He-Ne asservis sur le méthane à $\lambda \approx 3,39$ μ m en cuve interne et externe	108
2.2.7 Chaîne de synthèse de fréquences pour mesurer la fréquence absolue des lasers à He-Ne asservis sur l'iode à $\lambda \approx 633$ nm	109

2.2.8	Cuves à iode	109
2.2.9	Structure hyperfine	109
2.3	Gravimétrie	110
2.3.1	Gravimètre absolu FG5-108	110
2.3.2	Comparaison internationale	110
2.4	Publications, conférences et voyages : section des longueurs ..	110
2.4.1	Publications extérieures	110
2.4.2	Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) ..	111
2.5	Activités liées au travail des Comités consultatifs	113
2.6	Visiteurs de la section des longueurs	113
3	Masse et grandeurs apparentées	115
3.1	Étalons en acier inoxydable	115
3.2	Nouvelle balance à suspensions flexibles	116
3.3	La balance du watt du NIST	116
3.4	Balance à torsion pour la mesure de la constante gravitationnelle, G	117
3.5	Prototypes en platine iridié de 1 kg	118
3.6	Nouvelle balance hydrostatique	118
3.7	Publications, conférences et voyages : section des masses	119
3.7.1	Publications extérieures	119
3.7.2	Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) ..	119
3.8	Activités liées au travail des Comités consultatifs	119
3.9	Visiteurs de la section des masses	119
4	Temps	120
4.1	Temps atomique international (TAI) et Temps universel coordonné (UTC)	120
4.2	Algorithmes pour les échelles de temps	120
4.2.1	Stabilité de l'EAL	120
4.2.2	Exactitude du TAI	121
4.3	Liaisons horaires	122
4.3.1	Global Positioning System (GPS)	122
4.3.2	Global Navigation Satellite System (GLONASS)	124
4.3.3	Comparaisons horaires par aller et retour	125
4.4	Application de la relativité générale à la métrologie du temps ..	126
4.5	Pulsars	126
4.6	Références spatio-temporelles	127
4.7	Publications, conférences et voyages : section du temps	127
4.7.1	Publications extérieures	127
4.7.2	Publications du BIPM	129
4.7.3	Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) ..	129

4.8	Activités en liaison avec des organisations extérieures	131
4.9	Activités liées au travail des Comités consultatifs	132
4.10	Visiteurs de la section du temps	132
5	Électricité	133
5.1	Potentiel électrique : effet Josephson	133
5.2	Résistance électrique et impédance	136
5.2.1	Mesures de la résistance de Hall quantifiée à des fréquences de l'ordre du kilohertz	136
5.2.2	Mise au point de ponts en courant alternatif pour l'éta- lonnage d'étalons de capacité	137
5.2.3	Passage à 23 °C de la température de référence pour les étalons de résistance	137
5.3	Mesure des coefficients de température et de pression des éta- lons électriques	138
5.4	Comparaisons bilatérales d'étalons électriques au BIPM	139
5.5	Étalonnages de routine	140
5.6	Publications, conférences et voyages : section d'électricité	140
5.6.1	Publications extérieures	140
5.6.2	Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) ..	141
5.7	Activités en liaison avec des organisations extérieures	141
5.8	Activités liées au travail des Comités consultatifs	141
5.9	Visiteurs de la section d'électricité	142
6	Radiométrie, photométrie, thermométrie et manométrie	143
6.1	Radiométrie, photométrie	143
6.2	Thermométrie et manométrie	144
6.3	Travaux d'éta- lonnage	145
6.4	Travaux divers	145
6.5	Publications, conférences et voyages : section de radiométrie, photométrie, thermométrie et manométrie	145
6.5.1	Publications extérieures	145
6.5.2	Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) ..	146
6.6	Activités liées au travail des Comités consultatifs	146
6.7	Visiteurs de la section de radiométrie, photométrie, thermomé- trie et manométrie	147
7	Rayonnements ionisants	148
7.1	Rayons x et γ	148
7.1.1	Facteurs de correction dans les chambres à paroi d'air ...	148
7.1.2	Coefficient de recombinaison	148
7.1.3	Comparaisons et étalonnages au BIPM	149
7.1.4	Comparaisons régionales et internationales	150

7.2 Radionucléides	150
7.2.1 Mesures d'activité	150
7.2.2 Détection des impuretés radioactives	152
7.3 Publications, conférences et voyages : section des rayonne- ments ionisants	153
7.3.1 Publications extérieures	153
7.3.2 Rapports BIPM	153
7.3.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) ..	153
7.4 Activités en liaison avec des organisations extérieures	154
7.5 Activités liées au travail des Comités consultatifs	155
7.6 Visiteurs de la section des rayonnements ionisants	155
8 Publications du BIPM	157
8.1 Publications générales	157
8.2 Metrologia	157
9 Réunions et exposés au BIPM	159
9.1 Réunions	159
9.2 Exposés	159
10 Certificats et notes d'étude	161
11 Gestion du BIPM	166
11.1 Comptes	166
11.1.1 Compte I : fonds ordinaires	166
11.1.2 Compte II : caisse de retraite	168
11.1.3 Compte III : fonds spécial pour l'amélioration du maté- riel scientifique	168
11.1.4 Compte IV : caisse de prêts sociaux	169
11.1.5 Compte V : réserve pour les bâtiments	169
11.1.6 Compte VI : Metrologia	170
11.1.7 Compte VII : fonds de réserve pour l'assurance maladie .	170
11.1.8 Bilan au 31 décembre 1996	171
11.2 Personnel	172
11.2.1 Promotions et changements de grade (P. Allisy-Roberts, G. Ratel, A. Picard)	172
11.2.2 Engagements (M. Stock, A. Zongo, L. Le Mée, F. Joly, J.R. Miles, F. Boyer, P. Lemartrier)	172
11.2.3 Chercheurs associés (P. Wolf, J. Melcher, S. Richman)	173
11.2.4 Décès (C. Angot)	173
11.2.5 Départs (C. Lawrence, J. Monprofit, A. Perez, A. Gama) .	173
11.3 Bâtiments	173
11.3.1 Grand Pavillon	173
11.3.2 Petit Pavillon	173

11.3.3 Observatoire	173
11.3.4 Bâtiment des rayonnements ionisants	174
11.3.5 Bâtiment des neutrons	174
11.3.6 Extérieurs et parc	174
Liste des sigles utilisés dans le présent volume	175

ÉTATS MEMBRES DE LA CONVENTION DU MÈTRE

Afrique du Sud	Iran (Rép. islamique d')
Allemagne	Irlande
Argentine	Israël
Australie	Italie
Autriche	Japon
Belgique	Mexique
Brésil	Norvège
Bulgarie	Nouvelle-Zélande
Cameroun	Pakistan
Canada	Pays-Bas
Chili	Pologne
Chine	Portugal
Corée (Rép. de)	Roumanie
Corée (Rép. pop. dém. de)	Royaume-Uni
Danemark	Russie (Féd. de)
Dominicaine (Rép.)	Singapour
Égypte	Slovaquie
Espagne	Suède
États-Unis	Suisse
Finlande	Tchèque (Rép.)
France	Thaïlande
Hongrie	Turquie
Inde	Uruguay
Indonésie	Venezuela

LE BIPM ET LA CONVENTION DU MÈTRE

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

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

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

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

Le Bureau international fonctionne sous la surveillance exclusive du Comité international des poids et mesures (CIPM), placé lui-même sous l'autorité de la Conférence générale des poids et mesures (CGPM) à laquelle il présente son rapport sur les travaux accomplis par le Bureau international.

La Conférence générale rassemble des délégués de tous les États membres de la Convention du Mètre et se réunit actuellement tous les quatre ans dans le but :

- 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 toutes les décisions importantes concernant la dotation, l'organisation et le développement du Bureau international.

Le Comité international comprend dix-huit membres appartenant à des États différents ; il se réunit actuellement tous les ans. Le bureau de ce Comité adresse aux Gouvernements des États membres de la Convention du Mètre un rapport annuel sur la situation administrative et financière du Bureau international. La principale mission du Comité international est d'assurer l'unification mondiale des unités de mesure, en agissant directement, ou en soumettant des propositions à la Conférence générale.

Limitées à l'origine aux mesures de longueur et de masse et aux études métrologiques en relation avec ces grandeurs, les activités du Bureau international ont été étendues aux étalons de mesure électriques (1927), photométriques et radiométriques (1937), des rayonnements ionisants (1960) et aux échelles de temps (1988). Dans ce but, un agrandissement des premiers laboratoires construits en 1876-1878 a eu lieu en 1929 ; de nouveaux bâtiments ont été construits en 1963-1964 pour les laboratoires de la section des rayonnements ionisants, en 1984 pour le travail sur les lasers et en 1988 a été inauguré un bâtiment pour la bibliothèque et des bureaux.

Environ quarante-cinq physiciens et techniciens travaillent dans les laboratoires du Bureau international. Ils y font principalement des recherches métrologiques, des comparaisons internationales des réalisations des unités et des vérifications d'étalons. Ces travaux font l'objet d'un rapport annuel détaillé qui est publié avec les *Procès-verbaux des séances du Comité international*.

Devant l'extension des tâches confiées au Bureau international en 1927, le Comité international a institué, sous le nom de Comités consultatifs, des organes destinés à le renseigner sur les questions qu'il soumet, pour avis, à leur examen. Ces Comités consultatifs, qui peuvent créer des groupes de travail temporaires ou permanents pour l'étude de sujets particuliers, sont chargés de coordonner les travaux internationaux effectués dans leurs domaines respectifs et de proposer au Comité international des recommandations concernant les unités.

Les Comités consultatifs* ont un règlement commun (*BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 1963, 31, 97). Ils tiennent leurs sessions à des intervalles irréguliers. Le président de chaque Comité consultatif est désigné par le

Comité international ; il est généralement membre du Comité international. Les Comités consultatifs ont pour membres des laboratoires de métrologie et des instituts spécialisés dont la liste est établie par le Comité international et qui envoient des délégués de leur choix. Ils comprennent aussi des membres nominativement désignés par le Comité international, et un représentant du Bureau international (Critères pour être membre des Comités consultatifs, *BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 1996, **64**, 6). Ces Comités sont actuellement au nombre de neuf :

1. Le Comité consultatif d'électricité et magnétisme (CEEM), nouveau nom donné en 1997 au Comité consultatif d'électricité (CCE) créé en 1927 ;
2. Le Comité consultatif de photométrie et radiométrie (CCPR), nouveau nom donné en 1971 au Comité consultatif de photométrie (CCP) créé en 1933 (de 1930 à 1933 le CCE s'est occupé des questions de photométrie) ;
3. Le Comité consultatif de thermométrie (CCT), créé en 1937 ;
4. Le Comité consultatif des longueurs (CCL), nouveau nom donné en 1997 au Comité consultatif pour la définition du mètre (CCDM) créé en 1952 ;
5. Le Comité consultatif du temps et des fréquences (CCTF), nouveau nom donné en 1997 au Comité consultatif pour la définition de la seconde (CCDS) créé en 1956 ;
6. Le Comité consultatif des rayonnements ionisants (CCRI), nouveau nom donné en 1997 au Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI) créé en 1958 (en 1969, ce Comité consultatif a institué quatre sections : Section I (Rayons x et γ , électrons), Section II (Mesure des radionucléides), Section III (Mesures neutroniques), Section IV (Étalons d'énergie α) ; cette dernière section a été dissoute en 1975, son domaine d'activité étant confié à la Section II) ;
7. Le Comité consultatif des unités (CCU), créé en 1964 (ce Comité consultatif a remplacé la « Commission du système d'unités » instituée par le Comité international en 1954) ;
8. Le Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées (CCM), créé en 1980 ;
9. Le Comité consultatif pour la quantité de matière (CCQM), créé en 1993.

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

* Dans la partie « Rapport du directeur » pour la période d'octobre 1996 à septembre 1997, les Comités consultatifs sont désignés par leur ancien nom. Lors de sa session de septembre 1997, le Comité international a décidé de changer le nom de quatre Comités consultatifs.

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

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

La collection des *Travaux et mémoires du Bureau international des poids et mesures* (22 tomes publiés de 1881 à 1966) a été arrêtée par décision du Comité international, de même que le *Recueil de travaux du Bureau international des poids et mesures* (11 volumes publiés de 1966 à 1988).

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

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

**LISTE DES MEMBRES
DU COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES**

au 25 septembre 1997

Président

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

Secrétaire

2. W.R. BLEVIN, c/o Division of Applied Physics, CSIRO, P.O. Box 218, Bradfield Road, Lindfield NSW 2070, Australie.

Membres

3. CHUNG Myung Sai, président du Korea Research Institute of Standards and Science, P.O. Box 102, Yusong, Taejon 305-600, Rép. de Corée.
4. GAO Jie, directeur du Joint Laboratory of High Technology Metrology and Measurement, conseiller au China State Bureau of Technical Supervision, BP 8010, Beijing 100088, Chine.
5. K.B. GEBBIE, directeur du Laboratoire de physique, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899-0001, États-Unis.
Vice-présidente.
6. E. GÖBEL, président de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Postfach 3345, 38023 Braunschweig, Allemagne.
7. E.S.R. GOPAL, directeur du National Physical Laboratory of India, Dr K.S. Krishnan Road, New Delhi 110012, Inde.
8. K. IIZUKA, c/o National Research Laboratory of Metrology, 1-1-4 Umezono, Tsukuba 305, Japon. *Vice-président.*

9. R. KAARLS, directeur au Nederlands Meetinstituut, P.O. Box 654, 2600 AR Delft, Pays-Bas.
10. S. LESCHIUTTA, président de l'Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Strada delle Cacce 91, 10135 Turin, Italie.
11. O.V. LOUNASMAA, Low Temperature Laboratory, Helsinki University of Technology, Otakaari 3 A, SF-02150 Espoo, Finlande.
12. G. MOSCATI, Instituto de Física, Université de São Paulo, Caixa Postal 66318, 05315-970 São Paulo SP, Brésil.
13. P. PÂQUET, directeur de l'Observatoire royal de Belgique, 3 avenue Circulaire, B-1180 Bruxelles, Belgique.
14. K. SIEGBAHN, Institut de physique de l'Université d'Uppsala, Box 530, 75121 Uppsala 1, Suède.
15. R. STEINBERG, Département de physique et métrologie, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, 1101 Buenos Aires, Argentine.
16. Yu V. TARBÉEV, directeur général de l'Institut de métrologie D.I. Mendéléév, 19 Moskovsky Prosp., 198005 Saint-Pétersbourg, Féd. de Russie.
17. R. VANKOUGHNETT, directeur général de l'Institut des étalons nationaux de mesure du Conseil national de recherches du Canada, Ottawa, Ontario K1A 0R6, Canada.
18. A.J. WALLARD, sous-directeur du National Physical Laboratory, Teddington TW11 0LW, Royaume-Uni.

Membres honoraires

1. E. AMBLER, The Belvedere (No. 626), 1600 N. Oak Street, Arlington, VA 22209, États-Unis.
2. J. DE BOER, Institut de physique, Université d'Amsterdam, Valckenierstraat 65, Amsterdam-C, Pays-Bas.
3. L.M. BRANSCOMB, Box 309, Concord, Massachusetts 01742, États-Unis.
4. J.V. DUNWORTH, Apt. 902, Kings Court, Ramsey, Isle of Man, Royaume-Uni.
5. M. KERSTEN, Am Hohen Tore 4A, 3300 Braunschweig, Allemagne.
6. D. KIND, Knappstrasse 4, 38116 Braunschweig, Allemagne.

7. H. PRESTON-THOMAS, 1109 Blasdell Avenue, Ottawa K1K 0C1, Canada.
8. J. SKÁKALA, professeur à l'Université technique slovaque, Nám. Slobody 17, 812 31 Bratislava, Slovaquie.

LISTE DU PERSONNEL DU BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

au 1^{er} janvier 1998

Directeur : M. T.J. Quinn

Longueurs : M. J.-M. Chartier

M. R. Felder, Mme S. Picard, MM. L. Robertsson, L.F. Vitouchkine*, A. Zarka
Mme A. Chartier, M. J. Labot

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

MM. A. Picard, S. Richman*
Mme J. Coarasa, M. J. Hostache
M. J. Dias

Échelles de temps : Mme C. Thomas

MM. J. Azoubib, Z. Jiang*, W. Lewandowski, G. Petit, P. Wolf
Mlle H. Konaté, M. P. Moussay, Mme M. Thomas

Électricité : M. T.J. Witt

MM. F. Delahaye, D. Reymann
MM. D. Avrons, D. Bournaud

Radiométrie et photométrie : M. R. Köhler

MM. R. Goebel, M. Stock
MM. C. Garreau, L. Le Mée, F. Lesueur, R. Pello

Rayonnements ionisants : Mme M. Boutillon

Mme P. Allisy-Roberts, M. D.T. Burns, Mlle C. Michotte, M. G. Ratel
MM. D. Carnet, C. Colas, M. Nonis, C. Veyradier

Secrétariat : Mme F. Joly

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

Metrologia : M. D.A. Blackburn

Mlle J.R. Miles

Finances, administration : Mme B. Perent

Mmes M.-J. Martin, D. Saillard

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

Femmes de ménage : Mmes R. Prieto, R. Vara

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

Atelier de mécanique : M. J. Sanjaime

MM. P. Benoit, B. Bodson, F. Boyer, M. de Carvalho, J.-B. Caucheteux,
J.-P. Dewa, P. Lemartrier, A. Montbrun, D. Rotrou,

MM. E. Dominguez**, C. Neves**

Directeur honoraire : M. P. Giacomo**Métrologiste principal honoraire** : M. G. Leclerc

* Chercheur associé.

** Également gardien.

**COMITÉ INTERNATIONAL
DES POIDS ET MESURES**

**PROCÈS-VERBAUX
DES SÉANCES DE LA 86^e SESSION**
(23-25 septembre 1997)

Ordre du jour

- 1 Ouverture de la session ; quorum ; ordre du jour.
- 2 Rapport du secrétaire et activités du bureau du Comité (octobre 1996 – septembre 1997).
- 3 Composition du Comité international.
- 4 Équivalence des étalons nationaux de mesure.
- 5 Besoins à long terme de la métrologie.
- 6 La Convention du Mètre et l'Organisation internationale de métrologie légale.
- 7 Comités consultatifs :
 - Rapport du CCQM ;
 - Rapport du CCPR ;
 - Rapport du CCE ;
 - Rapport du CCEMRI ;
 - Rapport du CCDM ;
 - Changement de nom et de sigle de certains Comités consultatifs ;
 - Présidence des Comités consultatifs ;
 - Composition des Comités consultatifs ;
 - Réunions futures.
- 8 Septième édition de la brochure sur le SI.
- 9 Travaux du BIPM ; Rapport du directeur :
 - Travaux du BIPM ;
 - Dépôt des prototypes métriques.

10 Questions administratives et financières :

- Questions administratives et financières ;
- Nouveau bâtiment et atelier ;
- Promotions ;
- Statuts du personnel ;
- Crèche ;
- Metrologia.

11 Questions diverses.

12 Prochaine session du CIPM.

1 OUVERTURE DE LA SESSION ; QUORUM ; ORDRE DU JOUR

Le Comité international des poids et mesures (CIPM) s'est réuni pour sa 86^e session les mardi 23, mercredi 24 et jeudi 25 septembre 1997 au Pavillon de Breteuil, à Sèvres. Il a tenu cinq séances en tout.

Étaient présents : MM. Blevin, Chung Myung Sai, Gao Jie, Mme Gebbie, MM. Göbel, Gopal, Iizuka, Kaarls, Kovalevsky, Leschiutta, Lounasmaa, Moscati, Pâquet, VanKoughnett, Wallard et Quinn (directeur du BIPM).

Assistaient aussi à la session : M. Giacomo (directeur honoraire du BIPM) ; M. Mills (président du CCU, le 23 septembre), Mmes Joly et Le Coz (secrétariat).

Excusés : MM. Siegbahn, Steinberg et Tarbéev.

M. Kovalevsky, le nouveau président du Comité, ouvre la 86^e session du CIPM et accueille les membres présents, en particulier MM. Göbel, Leschiutta et VanKoughnett, récemment élus, M. Mills, invité à présenter la 7^e édition de la brochure sur le SI l'après-midi, et M. Giacomo.

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

L'ordre du jour est adopté.

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

2 **RAPPORT DU SECRÉTAIRE ET ACTIVITÉS DU BUREAU DU COMITÉ** (octobre 1996 - septembre 1997)

M. Blevin, secrétaire du Comité, présente son rapport dans lequel il informe le Comité international des événements qui concernent les États membres de la Convention du Mètre et des changements dans la composition du Comité. Ce rapport résume aussi la situation financière du Bureau international et décrit brièvement les activités du bureau du Comité depuis octobre 1996.

Le bureau s'est réuni trois fois pendant cette période, deux fois au Pavillon de Breteuil et une fois à Grasse, à l'Observatoire de la Côte d'Azur.

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

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

2.2 **Composition du Comité international**

Trois nouveaux membres ont été élus au Comité international depuis la précédente session. Ce sont M. Ernst Göbel, président de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Braunschweig), M. Roy VanKoughnett, directeur de l'Institut des étalons nationaux de mesure du Conseil national de recherches du Canada (Ottawa) et M. Sigfrido Leschiutta, président de l'Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris (Turin). Ces trois élections portent à dix-huit le nombre des membres du Comité international et pourvoient les sièges laissés vacants par la démission de M. Dieter Kind et de M. Josef Skákala, ainsi que le siège déjà vacant l'an passé.

Le bureau, en réponse à une question posée lors de la réunion des directeurs de laboratoires nationaux de métrologie en février 1997, a réexaminé les critères pour être élu membre du Comité international et présente au Comité un document à ce sujet pour discussion (*voir* Section 3). Le bureau pense qu'il convient

d'accroître les efforts pour disposer en permanence d'une liste de candidats potentiels et encourager les personnalités à présenter leur candidature.

2.3 Réunion des directeurs de laboratoires nationaux de métrologie, 17-18 février 1997

Les participants à la première réunion des directeurs de laboratoires nationaux de métrologie étaient nombreux et cette réunion a été jugée utile. Le bureau a discuté et approuvé un projet d'accord sur l'équivalence des étalons nationaux de mesure, projet que le directeur du Bureau international avait préparé afin de le présenter à cette réunion. Le bureau a aussi étudié le projet révisé envoyé aux directeurs le 2 avril 1997, puis un nouveau texte, daté du 19 août, qui est maintenant présenté aux membres du Comité international. Le bureau a approuvé la préparation d'une deuxième réunion des directeurs en février 1998. Cette réunion devrait traiter d'un certain nombre de questions relatives aux laboratoires nationaux, telles que l'évolution de leur rôle et la gestion des tâches effectuées en commun.

2.4 Comités consultatifs

Le bureau a discuté des critères pour élire les présidents des Comités consultatifs. Le bureau propose qu'avant toute élection lors d'une réunion du Comité international, le directeur du Bureau international consulte de manière non officielle les membres du Comité international afin de discuter des propositions faites par le bureau. Ainsi, au moment de l'élection, les membres du Comité international auront déjà eu l'occasion de s'exprimer.

En ce qui concerne la composition des Comités consultatifs, le bureau suggère que le directeur saisisse toutes les occasions qui se présentent pour encourager les directeurs des laboratoires nationaux de métrologie à soumettre la candidature de leur laboratoire dès qu'ils pensent que celui-ci répond aux critères adoptés par le Comité international en 1996 (*BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 1996, 64, 6). Les listes des membres des Comités consultatifs proposées au Comité international en 1997 ont été établies conformément à ces nouveaux critères.

2.5 Rapport sur les besoins à long terme de la métrologie

Le bureau a discuté plusieurs points du projet de rapport sur les besoins à long terme de la métrologie préparé par W.R. Blevin au nom du Comité international. En particulier, le bureau a examiné la nouvelle section relative aux implications financières pour les États membres. Le dernier projet de rapport est présenté au Comité pour discussion.

2.6 Équivalence des étalons nationaux de mesure

Le bureau a discuté les différents projets d'accord sur l'équivalence des étalons nationaux de mesure présentés par le directeur du Bureau international et examiné les réponses au projet du 2 avril 1997. C'est un point important à l'ordre du jour de la présente session du Comité international ; une mise à jour de ce projet sera présentée par le directeur.

2.7 Troisième réunion du Groupe de travail commun OIML/Convention du Mètre

La troisième réunion du Groupe de travail commun OIML/Convention du Mètre a eu lieu au BIPM en février 1997 juste après la réunion des directeurs de laboratoires nationaux de métrologie. Un rapport détaillé sur cette réunion a été envoyé aux membres du Comité international peu après. Le président du Comité international résume dans ce rapport les événements les plus importants relatifs au rapprochement entre l'Organisation internationale de métrologie légale (OIML) et les organes de la Convention du Mètre depuis la première proposition faite par le ministre français des Affaires étrangères en mars 1995.

M. Quinn rendra compte des progrès qui ont été faits quant à l'organisation d'un séminaire sur le rôle de la métrologie dans le développement économique et social, séminaire organisé conjointement par le BIPM, l'IMEKO, l'OIML et la PTB et qui aura lieu à la PTB du 16 au 19 juin 1998.

2.8 Septième édition de la brochure sur le SI : utilisation du point sur la ligne comme séparateur décimal en anglais

La septième édition de la brochure sur le SI est maintenant prête à envoyer à l'imprimeur, à un détail près sur lequel le Comité est appelé à se prononcer : il s'agit de l'emploi du point comme séparateur décimal en anglais. Les principales décisions relatives à cette édition ont été prises par le Comité consultatif des unités (CCU) qui s'est réuni en 1995 et 1996. Un texte tenant compte de ces décisions a été envoyé aux membres du CCU et a été approuvé par correspondance en août 1996. Le président du CCU, M. Mills, a présenté son rapport au Comité international à la session de septembre 1996. Le Comité international a chargé M. Mills, le directeur du BIPM et M. Blackburn de mettre au point le texte définitif. Depuis septembre 1996, des points mineurs ont été traités par courrier.

2.9 Proposition au sujet d'un Comité mixte BIPM/UAI

Le président du Comité international et le directeur du Bureau international ont proposé au secrétaire général de l'Union astronomique internationale

(UAI) de former un Comité mixte sur l'application de la relativité générale aux systèmes de référence spatio-temporels et à la métrologie. Il est suggéré que ce Comité poursuive les travaux déjà accomplis par le Groupe de travail du CCDS à ce sujet et s'assure d'une bonne coordination avec les travaux complémentaires en cours à l'UAI, afin qu'une seule série de recommandations soit adoptée par le Comité international et par l'UAI dans ce domaine.

Cette initiative a été bien accueillie par le secrétaire général de l'UAI et elle a été approuvée par l'assemblée générale de l'UAI en août 1997. Ce comité est maintenant désigné sous le nom de Comité mixte BIPM/UAI sur les systèmes de référence spatio-temporels et la métrologie dans le cadre de la relativité générale. Le président du Comité international présentera un rapport sur les discussions au sein de l'UAI.

2.10 Questions relatives au BIPM

2.10.1 Nouveau bâtiment

Lors de la session de l'an passé, le Comité international avait examiné les plans préliminaires d'un nouveau bâtiment destiné à abriter un atelier et des bureaux, en vue de présenter une proposition définitive au Comité international cette année.

Les plans approuvés par le bureau sont présentés en même temps que les dispositions financières. Le bureau a fixé une limite de 9,4 millions de francs français pour la construction et une somme maximale de 3,2 millions de francs français pour les frais d'architecte et autres, les assurances, les installations électriques et connexions diverses, l'ameublement intérieur, les frais d'installation de l'atelier, des bureaux et des salles de réunion et l'aménagement du site extérieur. La proposition actuelle répond à ces conditions.

Nous avons soumis une demande de permis de démolir et de construire auprès des autorités françaises. Le directeur a été informé, de manière non officielle, qu'il ne devrait pas être fait opposition au projet. La procédure est maintenant plus complexe qu'avant parce que tout le Parc de Saint-Cloud figure sur la liste des « Monuments historiques », si bien que le bâtiment est soumis à des règles spéciales de construction.

Le Comité international est convié à approuver les plans afin de démarrer les travaux dès l'obtention du permis de construire. Nous espérons que les travaux pourront commencer au printemps 1998 et s'achever à l'automne 1999. Ainsi se terminera l'exécution du plan à long terme pour les bâtiments mis en œuvre dans les années 1980.

2.10.2 Départ à la retraite anticipé pour le personnel ayant cotisé longtemps

Le bureau a accepté, sous réserve de l'approbation du Comité international, la proposition du directeur du BIPM selon laquelle le personnel du BIPM ayant cotisé pendant trente-cinq ans à la Caisse de retraite puisse prendre sa retraite sans coefficient de réduction avant l'âge de soixante ans. À l'heure actuelle, le règlement de la Caisse de retraite permet de partir à la retraite avant l'âge de soixante ans mais avec une retraite subissant un coefficient de réduction considérable. Cette proposition, si elle est approuvée par le Comité international, pourrait s'appliquer, au cours des trente prochaines années, à cinq techniciens et personnels administratifs au total. Cependant rien n'indique avec certitude que ces cinq personnes seront intéressées par un départ à la retraite anticipé ; les implications financières sont donc des projections maximales. Les implications à long terme sont négligeables parce que le Bureau international n'engage plus de personnel d'un âge inférieur à vingt ans et rarement d'un âge inférieur à vingt-cinq ans. Cette proposition a recueilli l'assentiment de la Commission des Statuts du personnel.

Si ce changement était accepté, il conviendrait d'apporter des modifications mineures au règlement de la Caisse de retraite et aux Statuts.

2.11 Indications financières

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

Comptes	1994	1995	1996	1997
I. Fonds ordinaires	18 931 178,64	20 025 335,94	17 897 217,00	23 662 921,48
II. Caisse de retraite	17 555 532,69	18 264 877,72	23 364 621,76	24 823 425,05
III. Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique	0,00	114 348,53	111 382,41	113 004,08
IV. Caisse de prêts sociaux	398 083,17	443 208,69	482 970,09	518 237,39
V. Fonds de réserve pour les bâtiments	0,00	0,00	0,00	1 911 246,70
VI. Metrologia	0,00	0,00	0,00	0,00
VII. Fonds de réserve pour l'assurance maladie	1 165 671,44	1 591 701,63	1 668 467,95	1 789 192,08
Total	38 050 465,94	40 439 472,51	43 524 659,21	52 818 026,78

M. Blevin commente l'augmentation du Compte I (fonds ordinaire) entre 1996 et 1997, augmentation qui est en partie due au paiement anticipé de la dotation du Royaume-Uni pour 1997 en décembre 1996 et à certains arriérés de paiement vers la fin de 1996. Des économies significatives ont été faites sur le poste « dépenses de laboratoire » pour permettre l'acquisition d'équipements coûteux en 1997.

2.12 Questions diverses

Le bureau a discuté de questions diverses :

- le choix d'un programme de laboratoire dans le domaine de la métrologie en chimie au Bureau international ;
- l'opportunité pour le Comité international de répondre à la demande des organismes internationaux d'assistance qui recherchent des consultants en métrologie ;
- les problèmes posés par l'utilisation des étalons soi-disant intrinsèques ;
- le Comité commun pour les guides en métrologie (JCGM), groupe de travail de l'ISO qui a succédé à l'ISO/TAG 4 et s'occupe du *Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie* et du *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure*. M. Quinn est le premier président de ce nouveau comité qui tiendra sa deuxième réunion en novembre 1997.

3 COMPOSITION DU COMITÉ INTERNATIONAL

3.1 Critères pour être membre du Comité international

M. Quinn présente une note qu'il a préparée en réponse aux questions posées lors de la réunion des directeurs en février 1997 sur les critères pour être membre du Comité international. Cette note explique les principes suivis actuellement par le bureau et par le Comité international pour le choix des membres.

La Convention du Mètre fixe les règles suivantes pour être membre du Comité international :

La composition du Comité international est traitée à l'article 8 (1921) du Règlement annexé à la Convention du Mètre, les élections au Comité international à l'article 14 (1921) du Règlement et les élections au bureau du Comité à l'article 9 (1921) du Règlement. La Conférence générale entérine les élections au Comité international selon l'article 7 (1875) du Règlement. Les règles de fonctionnement du Comité international sont traitées aux articles 11 (1921), 12 (1921) et 13 (1875) du Règlement annexé à la Convention.

Pour résumer, en ce qui concerne les critères pour être membre du Comité, la Convention stipule que les dix-huit membres doivent être de nationalité différente ; lorsqu'un siège est vacant par suite du décès ou de la démission d'un membre du Comité, les membres restants sont appelés à élire par correspondance un nouveau membre, cette élection doit être entérinée par un vote lors de la Conférence générale suivante.

En 1983, la 17^e Conférence générale a approuvé le rapport du groupe de travail établi par la 16^e Conférence générale en 1979 en vue d'examiner des propositions de révision de la Convention du Mètre. Une de ces propositions consistait à ce que le nombre de sièges au Comité international soit égal au

nombre des États membres de la Convention, les membres étant les délégués de leur Gouvernement. Le Groupe de travail de la Conférence générale a recommandé de ne pas changer la composition du Comité international quant au nombre de sièges ou à l'indépendance des membres, qui sont élus à titre personnel et non comme délégués de leur Gouvernement. Le groupe a toutefois recommandé qu'avant l'élection, le Comité international s'assure que le candidat a l'approbation de son Gouvernement. Il est possible de se procurer une copie du rapport du Groupe de travail de la Conférence générale auprès du BIPM. Ce rapport n'a jamais été publié *in extenso* mais il a été envoyé à l'époque aux Gouvernements des États membres.

En 1981 le Comité international a décidé que le curriculum vitae de toutes les personnes susceptibles d'être candidates à l'élection doit être présenté et discuté lors d'une réunion du Comité international. Dans le passé de telles discussions avaient parfois eu lieu par correspondance.

Les principes suivis à présent par le bureau et par le Comité international pour les élections sont les suivants :

- Les personnes candidates à l'élection sont dans tous les cas d'un rang élevé dans leur pays et ont une expérience qui les rend capables de participer aux travaux du Comité international.
- Il y a toujours un membre du Comité international de nationalité française, afin de reconnaître le rôle joué par la France à l'origine du système métrique et le fait que la France est dépositaire de la Convention du Mètre.
- Il y a toujours un membre de chacun des États dont la contribution est au maximum.
- Il y a généralement un membre de chacun des États dont la contribution est au moins égale à 2 %.
- En général, le Comité international s'efforce de maintenir un équilibre entre les différentes régions du monde et d'assurer la présence de quelques membres des États dont la contribution est au minimum.
- La candidature de personnes appartenant à des États membres qui n'auraient pas réglé leur contribution au BIPM depuis trois ans ou plus n'est pas envisagée.

Le Comité international estime que sa composition actuelle respecte les principes mentionnés ci-dessus.

M. Kovalevsky note que les membres du Comité international qui ont démissionné du Comité récemment y sont restés environ six ans, ce qui est insuffisant. Nous avons besoin d'assurer une certaine continuité, il faut donc que les

membres restent longtemps au Comité. Cependant, une certaine pluralité doit être respectée.

3.2 Membres honoraires

Le président propose que M. D. Kind, qui a passé vingt ans au Comité international en qualité de membre, de vice-président et de président, soit élu membre honoraire du Comité international, ainsi que M. Skákala, qui a été membre pendant seize ans et vice-président pendant onze ans.

Cette proposition est chaleureusement accueillie par les membres du Comité international et elle est approuvée à l'unanimité.

4 ÉQUIVALENCE DES ÉTALONS NATIONAUX DE MESURE

M. Quinn ouvre la discussion sur l'équivalence des étalons nationaux de mesure et rappelle brièvement les propositions que le Comité international a faites lors de sa session de l'an passé (*BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 1996, **64**, 8-9). Une version révisée du texte discuté lors de cette session a été envoyée en avril 1997 aux directeurs des laboratoires nationaux de métrologie.

Les directeurs ont envoyé de nombreuses réponses, presque toutes en faveur de l'esprit général du texte. Beaucoup de commentaires détaillés ont été faits et de questions posées. Encouragés par ces réactions, M. Quinn a invité les présidents de l'APMP (M. Inglis), d'EUROMET (M. Carneiro), de NORAMET (M. Robertson) et de l'EA (M. Kaarls) à venir au BIPM les 18 et 19 août 1997. Le projet qui est présenté aujourd'hui au Comité international a été préparé lors de cette réunion.

M. Quinn présente ensuite brièvement le document. Après discussion, le Comité international décide d'en changer le titre en « Reconnaissance mutuelle des étalons nationaux de mesure et des certificats d'étalonnage délivrés par les laboratoires nationaux de métrologie ».

Le Comité international approuve un certain nombre de changements, pour tenir compte des missions spécifiques de chaque laboratoire national de métrologie et pour qu'il soit clair que l'accord de reconnaissance mutuelle sera signé par le laboratoire national de métrologie d'un pays, mais n'engagera pas nécessairement les autres organisations de ce pays. La création d'un Comité commun aux organisations régionales de métrologie et au BIPM est approuvée. Les missions de ce comité seront confirmées l'an prochain.

Un projet révisé, tenant compte des remarques des membres du Comité international, sera préparé par M. Quinn et envoyé aux directeurs de laboratoires

nationaux de métrologie, pour discussion au sein des organisations régionales, ainsi qu'aux participants à la réunion des directeurs de février 1998.

La participation de laboratoires appartenant à des États qui ne sont pas membres de la Convention du Mètre est discutée. M. Quinn évoque l'entretien qu'il a eu avec le ministère français des Affaires étrangères : la création de nouvelles catégories de membres, associés ou correspondants, n'est pas possible sans une révision officielle de la Convention du Mètre. Le Comité international ne prend aucune décision à ce sujet, mais il est d'avis que l'existence d'un accord de reconnaissance mutuelle incitera fortement les États qui ne sont pas membres de la Convention du Mètre à le devenir.

5 BESOINS À LONG TERME DE LA MÉTROLOGIE

M. Blevin présente le troisième projet de son rapport sur les « Besoins nationaux et internationaux dans le domaine de la métrologie : les collaborations internationales et le rôle du BIPM », rapport qu'il a préparé au nom du Comité international en réponse à la Résolution 11, adoptée par la 20^e Conférence générale en 1995.

Un deuxième projet, révisé, avait été discuté par le Comité international en 1996. Le projet actuel, le troisième, tient compte de ces discussions et comprend une nouvelle section relative aux implications financières pour les États membres.

Le rapport de M. Blevin est discuté en détail. Considérant les restrictions économiques imposées par la majorité des États membres quant à leur contribution aux organisations internationales, le Comité international conclut qu'il ne serait pas réaliste d'espérer une augmentation de la dotation du BIPM en valeur réelle pour les années qui vont suivre la Conférence générale de 1999. C'est au regard de la situation économique que le Comité international doit considérer les choix possibles pour le Bureau international, tenant compte des besoins des États membres, des services déjà offerts par le BIPM et des nouvelles activités que l'on attend de lui.

Il est demandé à M. Blevin de modifier son rapport à la lumière de ces discussions ; les membres sont invités à envoyer leurs commentaires par courrier d'ici à deux semaines.

Une nouvelle version du texte sera envoyée aux membres dès que possible afin de préparer un texte définitif pour la fin de l'année. La version imprimée, en français et en anglais, sera envoyée aux Gouvernements des États membres en 1998.

6 LA CONVENTION DU MÈTRE ET L'ORGANISATION INTERNATIONALE DE MÉTROLOGIE LÉGALE

Le président présente son rapport sur la troisième réunion du Groupe de travail commun à la Convention du Mètre et à l'Organisation internationale de métrologie légale (OIML). Ce groupe de travail est composé des membres du bureau du Comité international des poids et mesures et de son équivalent au sein du Comité international de métrologie légale (CIML). La réunion a eu lieu le 19 février 1997 au BIPM et un rapport détaillé en a été distribué aux membres du Comité international peu après.

La réunion s'est déroulée en deux parties : la première concernait les questions relatives à la Convention du Mètre et à l'OIML, la seconde les questions d'intérêt commun avec l'International Laboratory Accreditation Conference (ILAC), en présence de M. J. Gilmour et de M. R. Kaarls représentant l'ILAC.

La quatrième réunion de ce Groupe de travail commun aura lieu au Bureau international de métrologie légale (BIML) à Paris en février 1998, en présence de représentants de la Convention du Mètre, de l'OIML et de l'ILAC.

La PTB organisera, en collaboration avec le BIPM, l'IMEKO et l'OIML, un séminaire sur « Le rôle de la métrologie dans le développement économique et social » en juin 1998 à la PTB, Braunschweig.

Nous nous emploierons à assurer une étroite collaboration avec l'OIML et l'ILAC sur les questions d'intérêt commun.

7 COMITÉS CONSULTATIFS

Depuis octobre 1996, les Comités consultatifs suivants se sont réunis : le CCQM en février 1997, le CCEMRI en juillet 1997 (précédé au mois d'avril des réunions de ses trois Sections), le CCPR et le CCE en juin 1997, et le CCDM en septembre 1997 (précédé des réunions de ses groupes de travail).

7.1 Comité consultatif pour la quantité de matière

M. Kaarls, président du Comité consultatif pour la quantité de matière (CCQM), présente le rapport sur la 3^e session de ce comité qui s'est tenue les 20 et 21 février 1997 au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

Les principaux points discutés lors de cette réunion concernent les comparaisons clés, l'établissement de groupes de travail, les méthodes primaires et les résultats de comparaisons internationales. En outre, le CCQM a examiné les propositions relatives à un programme de travail au BIPM dans le domaine de la métrologie en chimie, mais il n'a pas émis de conclusion définitive à ce sujet. Le directeur du BIPM fera de nouvelles propositions à la prochaine session du CCQM en février 1998. Le Comité international prend bonne note du rapport de M. Kaarls et étudie un projet de recommandation sur la métrologie en chimie dont le texte final est adopté en tant que Recommandation 2 (CI-1997).

Le rapport détaillé sur la réunion du CCQM sera publié par le BIPM dans la série *BIPM Com. cons. quant. matière*. Il comprendra la liste des documents de travail, tous disponibles sur demande auprès du BIPM.

7.2 Comité consultatif de photométrie et radiométrie

M. Wallard, président du Comité consultatif de photométrie et radiométrie (CCPR), présente son rapport sur la 14^e session qui s'est tenue les 10 et 11 juin

1997 au Pavillon de Breteuil, à Sèvres. Il commence la présentation de son rapport en remerciant M. Blevin pour son importante contribution aux travaux du CCPR, dont il a été le président depuis 1980.

Les principaux points discutés lors de la réunion concernent l'avancement et les résultats des comparaisons internationales en cours, le choix des comparaisons clés et le rôle du CCPR dans le suivi des comparaisons clés. De plus, le CCPR a discuté des activités en liaison avec la Commission internationale de l'éclairage, des travaux du Groupe de travail commun CCT/CCPR sur la mesure des hautes températures et des travaux des organisations régionales de métrologie dans le domaine de la radiométrie et de la photométrie.

Le rapport détaillé sur la réunion du CCPR sera publié par le BIPM dans la série *BIPM Com. cons. phot. radiométrie*. Il comprendra la liste des documents de travail, tous disponibles sur demande auprès du BIPM.

7.3 Comité consultatif d'électricité

M. Göbel, président du Comité consultatif d'électricité (CCE), présente son rapport sur la 21^e session qui a eu lieu du 24 au 26 juin 1997 au Pavillon de Breteuil, à Sèvres. Le Groupe de travail sur les grandeurs aux radiofréquences s'était réuni préalablement le 23 juin.

Les principaux points discutés concernaient les questions relatives aux constantes fondamentales et au SI, l'état d'avancement des mesures de grande exactitude de la résistance de Hall quantifiée à des fréquences de l'ordre du kilohertz, la disponibilité d'échantillons pour la mise en œuvre de l'effet Josephson ou de l'effet Hall quantique, et les comparaisons clés. Le CCE a aussi examiné le rapport du Groupe de travail sur les grandeurs aux radiofréquences.

Le rapport détaillé sur la réunion du CCE sera publié par le BIPM dans la série *BIPM Com. cons. électricité*. Il comprendra la liste des documents de travail, tous disponibles sur demande auprès du BIPM.

7.4 Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants

M. Moscati, président du Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI), présente son rapport sur la 15^e session qui s'est tenue les 7 et 8 juillet 1997 au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

Les principaux points discutés à cette réunion concernaient l'équivalence des étalons nationaux et les comparaisons clés, les rapports des trois Sections du

CCEMRI et l'organisation future des réunions de ce Comité et de ses trois Sections.

Il a été décidé qu'en 1999 les trois Sections se réuniraient dans l'espace de deux semaines et que le président du CCEMRI se réunirait avec les présidents des trois Sections pendant cette période.

Le rapport détaillé sur la réunion du CCEMRI sera publié par le BIPM dans la série *BIPM Com. cons. étalons mes. ray. ionisants*. Il comprendra la liste des documents de travail, tous disponibles sur demande auprès du BIPM.

7.5 Comité consultatif pour la définition du mètre

M. Chung, président du Comité consultatif pour la définition du mètre (CCDM), présente un bref rapport sur la 9^e session qui a eu lieu du 16 au 18 septembre 1997 au Pavillon de Breteuil, à Sèvres. Cette réunion était précédée de celle du Groupe de travail sur la mise en pratique de la définition du mètre, la semaine précédente, et de celle du Groupe de travail sur la métrologie dimensionnelle, le 15 septembre.

Le point le plus important à l'ordre du jour était l'étude d'une liste de radiations recommandées pour la mise en pratique de la définition du mètre. Après une discussion approfondie, le CCDM s'est mis d'accord sur le texte de la Recommandation M 1 (1997) sur la révision de la mise en pratique de la définition du mètre. Sur la base des discussions du CCDM, M. Chung a proposé au Comité international une nouvelle recommandation qui 1) regroupe toutes les informations importantes au sujet de la nouvelle mise en pratique de la définition du mètre, 2) comprend une liste des radiations, fréquence et longueur d'onde dans le vide, approuvées par le CCDM pour la mise en pratique de la définition du mètre, 3) fait référence à la définition du mètre adoptée par la Conférence générale et 4) précise comment le mètre est défini dans le contexte de la relativité générale. La proposition de M. Chung est adoptée à l'unanimité comme Recommandation 1 (CI-1997). Ce texte figurera dans l'annexe 2 de la septième édition de la brochure sur le SI.

Les besoins et les activités dans le domaine des longueurs et de la métrologie dimensionnelle ont été examinés et formalisés dans la Recommandation M 2 (1997) du CCDM sur les travaux futurs. Le Comité international approuve cette recommandation. Le CCDM a adopté une série de comparaisons clés dans le domaine des longueurs d'ondes de lasers, de la métrologie des fréquences et de la métrologie dimensionnelle.

Le rapport détaillé sur la réunion du CCDM sera publié par le BIPM dans la série *BIPM Com. cons. déf. mètre*. Il comprendra la liste des documents de travail, tous disponibles sur demande auprès du BIPM.

7.6 Changement de nom et de sigle de certains Comités consultatifs

Conformément à la proposition de M. Blevin dans son rapport sur les besoins à long terme de la métrologie, le Comité international a décidé de changer le nom et le sigle de quatre Comités consultatifs :

- Le Comité consultatif d'électricité (CCE) devient le Comité consultatif d'électricité et magnétisme (CCEM).
- Le Comité consultatif pour la définition de la seconde (CCDS) devient le Comité consultatif du temps et des fréquences (CCTF).
- Le Comité consultatif pour la définition du mètre (CCDM) devient le Comité consultatif des longueurs (CCL).
- Le Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI) devient le Comité consultatif des rayonnements ionisants (CCRI).

Le sigle reste le même en français et en anglais, et suit l'ordre des mots français.

7.7 Présidence des Comités consultatifs

M. Quinn, qui avait accepté l'an passé d'assurer l'intérim de la présidence du Comité consultatif de thermométrie (CCT) jusqu'à ce qu'un successeur soit trouvé, propose que Mme Gebbie lui succède comme président du CCT ; cette proposition est approuvée. M. Kovalevsky annonce son intention de quitter la présidence de l'ancien CCDS et propose M. Leschiutta pour lui succéder au nouveau CCTF ; cette proposition est approuvée.

7.8 Composition des Comités consultatifs

Le Comité international approuve les nouvelles listes des membres des Comités consultatifs (voir page 73). Ces listes sont établies par le Comité international sur proposition du président de chaque Comité consultatif et du directeur du BIPM, selon les critères adoptés par le Comité international lors de sa session de 1996 (*BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 1996, 64, 6).

7.9 Réunions futures des Comités consultatifs

M. Kovalevsky rappelle aux présidents des Comités consultatifs qu'il convient de fixer la date des prochaines sessions. Les dates suivantes sont approuvées :

CCEM	6-8 juillet 1999
CCL	2000
CCPR	24-26 mars 1999
CCQM	19-20 février 1998
CCRI	3 juin 1999
Section I	26-28 mai 1999
Section II	31 mai-2 juin 1999
Section III	31 mai-1 ^{er} juin 1999
CCM	12-14 mai 1999
CCT	9-11 juin 1999
CCTF	20-22 avril 1999
CCU	8-9 septembre 1998

8 SEPTIÈME ÉDITION DE LA BROCHURE SUR LE SI

M. Mills, président du Comité consultatif des unités (CCU), est invité à présenter, pour approbation, au Comité international, la septième édition de la brochure sur le Système international d'unités (SI).

Cette brochure, distribuée en anglais au Comité international, est pratiquement prête à être envoyée à l'imprimeur à un détail près, qui doit être décidé par le Comité international : il s'agit de l'emploi du point comme séparateur décimal en anglais. Bien que la norme ISO 31 recommande d'utiliser la virgule sur la ligne comme séparateur décimal, la majorité des membres du CCU est favorable à l'emploi du point en anglais.

M. Mills propose au Comité international d'utiliser le point sur la ligne comme séparateur décimal dans la version anglaise de la brochure sur le SI.

M. Kovalevsky rappelle aux membres du Comité la Résolution 7 de la Conférence générale de 1948 : « Dans les nombres, la virgule (usage français) ou le point (usage britannique) sont utilisés seulement pour séparer la partie entière des nombres de leur partie décimale. Pour faciliter la lecture, les nombres peuvent être partagés en tranches de trois chiffres ; ces tranches ne sont jamais séparées par des points, ni par des virgules ».

La proposition de M. Mills est mise au vote et adoptée par douze voix pour, aucune contre et quatre abstentions. Le Comité décide donc que le point sur la ligne sera utilisé, dans le texte anglais de la brochure sur le SI, comme séparateur décimal.

À la demande de M. Göbel, une phrase explicative sera ajoutée à la préface de la brochure sur le SI pour préciser que le point sur la ligne comme séparateur décimal en anglais est une traduction de la virgule employée dans le texte français. Ainsi, par exemple, la définition du kelvin dans le texte français s'écrit de

la manière suivante : « Le kelvin, unité de température thermodynamique, est la fraction $1/273,16$ de la température thermodynamique du point triple de l'eau », et la traduction en anglais s'écrit : « The kelvin, unit of temperature, is the fraction $1/273.16$ of the thermodynamic temperature of the triple point of water. »

Ce même principe s'applique à toutes les publications du BIPM. Dans le texte français, la « virgule » sur la ligne est le séparateur décimal et dans le texte anglais c'est le « point » sur la ligne.

L'emploi du symbole « 1 » figurant aux tableaux 2 et 3 et dans la section 2.3 relative aux grandeurs sans dimension est discuté en détail. Il est décidé d'ajouter une note à ces tableaux pour indiquer qu'en général on n'écrit pas le symbole « 1 ».

M. Kovalevsky note qu'il convient d'ajouter à la définition de la seconde une explication comparable à celle qui a été ajoutée pour la mole. Le texte suivant est approuvé : « Lors de sa session de 1997, le Comité international a confirmé que cette définition se réfère à un atome de césium au repos, à une température de 0 K ». M. Kovalevsky ajoute qu'il convient donc d'appliquer une correction pour tenir compte du rayonnement du corps noir aux résultats de tous les étalons primaires de fréquence, conformément à la Recommandation S 2 (1996) du CCDS.

M. Moscati demande qu'il soit fait référence au texte officiel original et, le cas échéant, à *Metrologia*, lorsqu'on mentionne, dans la brochure sur le SI, les Recommandations et Résolutions adoptées par le Comité international et la Conférence générale.

Le Comité international approuve la septième édition de la brochure sur le SI avec les modifications mentionnées ci-dessus et remercie M. Mills, les membres du CCU, M. Blackburn et M. Quinn pour leur travail.

9 TRAVAUX DU BIPM ; RAPPORT DU DIRECTEUR

9.1 Travaux du BIPM

Le président ouvre la séance consacrée aux travaux du BIPM et souhaite la bienvenue au personnel scientifique. Il ajoute que c'est un véritable plaisir pour les membres du Comité international d'assister à cette présentation qui est toujours agréable et intéressante.

M. Quinn explique que les exposés suivent l'ordre habituel du Rapport du directeur et ajoute qu'une visite des laboratoires est prévue l'après-midi. Suit la présentation des travaux par les membres du personnel du BIPM (pour le texte intégral se référer au *Rapport du directeur*).

Des questions sont posées pendant la présentation des travaux.

M. Wallard s'enquiert des avancées de l'expérience de la balance du watt au NIST. M. Quinn répond que A. Picard, de la section des masses, a passé un an au NIST à travailler sur cette expérience et il mentionne les travaux du NPL et de l'OFMET, qui utilise des aimants suspendus de taille plus réduite.

M. Göbel s'enquiert des progrès à venir des horloges primaires pour le TAI. M. Kovalevsky dit que la fontaine à césium du BNM-LPTF fournira bientôt de nouvelles données, quand les erreurs systématiques auront été pleinement étudiées. Une nouvelle fontaine sera construite prochainement pour être embarquée sur un satellite et fonctionner en apesanteur.

M. Lounasmaa encourage le personnel du BIPM à publier non seulement des articles techniques sur leurs excellents travaux scientifiques mais aussi des articles de synthèse dans des journaux de grande diffusion, susceptibles de toucher un large public.

M. Kovalevsky remercie le directeur et le personnel du BIPM. Il ajoute que le Comité international travaille à l'élaboration du programme de travail du BIPM pour les prochaines années. Il souligne que la métrologie est un domaine qui évolue rapidement, et qu'il reste beaucoup à faire.

9.2 Dépôt des prototypes métriques

La visite au nouveau caveau où sont conservés les prototypes métriques a eu lieu le mercredi 24 septembre 1997. Le rapport suivant a été rédigé à l'issue de cette visite officielle.

Visite du dépôt des prototypes métriques : Procès-Verbal

Le 24 septembre 1997, à 17 h 30, en présence du président du Comité international des poids et mesures, du directeur du Bureau international des poids et mesures et du représentant du conservateur des Archives nationales, il a été procédé à la visite du dépôt des prototypes métriques internationaux du Pavillon de Breteuil.

Suite à l'autorisation donnée par le Comité international des poids et mesures le 24 septembre 1996, toutes les clés étaient en garde auprès du directeur du Bureau international durant les travaux effectués au caveau.

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

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

température actuelle : 21,5 °C
 température maximale : (ne s'applique pas pour une 1^{re} visite)
 température minimale : id.
 état hygrométrique : 60 %

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

À l'issue de la visite, les clés ont été rendues à leurs détenteurs, à savoir le président du Comité international des poids et mesures, le représentant des Archives nationales de France et le directeur du Bureau international des poids et mesures.

Le directeur du BIPM, T.J. QUINN	Pour le conservateur des Archives nationales, J.-M. JENN	Le président du CIPM, J. KOVALEVSKY
--	--	---

Note : il s'agit de la première visite officielle au nouveau caveau situé au premier sous-sol. Le Comité avait décidé en 1996 de changer le lieu de conservation du prototype international du kilogramme en raison de l'humidité excessive au niveau du caveau inférieur. L'ancien prototype international du mètre et ses témoins ont aussi été déplacés au caveau supérieur, mais dans un autre coffre.

10 QUESTIONS ADMINISTRATIVES ET FINANCIÈRES

10.1 Questions administratives et financières

Le président accueille Mme Perent, administrateur du BIPM, et présente le *Rapport annuel aux Gouvernements des hautes parties contractantes sur la situation administrative et financière du Bureau international des poids et mesures en 1996*, ainsi que le rapport de l'expert comptable pour 1996.

Ces deux rapports sont approuvés à l'unanimité et quitus est donné au directeur et à l'administrateur du BIPM pour l'exercice 1996.

L'état d'avancement du budget pour l'exercice 1997 est présenté et approuvé.

Un projet de budget pour 1998 est présenté et approuvé.

Le dernier document soumis au Comité international est le *Tableau de répartition de la dotation pour 1998* extrait de la *Notification des parts contributives*.

10.2 Nouveau bâtiment et atelier

M. Quinn présente la proposition relative à un nouveau bâtiment destiné à abriter l'atelier de mécanique, des bureaux et des salles de réunion. Il dit que M. A. Gatier, architecte en chef des Monuments historiques, a été choisi comme architecte. Le bâtiment comportera trois niveaux : l'atelier sera au rez-de-jardin, les bureaux au rez-de-chaussée et les salles de réunion au premier étage. L'espace libéré par le transfert de l'ancien atelier du bâtiment des rayonnements ionisants pourra être utilisé comme laboratoire pour la métrologie en chimie.

Un devis d'un montant total de 12,6 millions de francs français, soit 6,9 millions de francs-or, est approuvé. Le bâtiment sera financé par des économies réalisées sur le budget annuel des années 1996, 1997, 1998 et 1999 ainsi que par un

transfert du fonds de réserve d'environ 2 millions de francs-or. Il restera alors environ 65 % d'un budget annuel au fonds de réserve.

Le Comité autorise M. Quinn à procéder aux différentes démarches relatives à ce bâtiment. M. Quinn espère que les travaux seront terminés à l'automne 1999, avant la 21^e Conférence générale.

10.3 Promotions

M. Quinn propose que le Comité international ratifie les promotions de M. G. Ratel et de Mme P. Allisy-Roberts, physiciens à la section des rayonnements ionisants, au grade de *physicien principal*, à dater du 1^{er} janvier 1997. Leur curriculum vitae est distribué et le Comité approuve leur promotion à l'unanimité.

10.4 Statuts du personnel

M. Quinn propose de modifier les Statuts du personnel du BIPM pour permettre un départ à la retraite anticipé des personnels ayant cotisé au moins trente-cinq ans à la Caisse de retraite (*voir* le rapport du secrétaire). Le Comité approuve cette proposition qui prend effet au 1^{er} janvier 1998.

M. VanKoughnett s'enquiert de la situation de la Caisse de retraite. M. Quinn rappelle qu'un actuaire avait présenté un rapport à ce sujet en 1994, selon lequel le nombre de retraités devrait doubler d'ici à 2010. Le Comité avait donc décidé, en 1994, d'augmenter la contribution budgétaire à la Caisse de retraite de 1996 à 2008 de 2 % de la masse salariale (soit environ 0,8 % du budget) par an (*voir BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 1994, **62**, 18-19).

10.5 Crèche

Mme Gebbie suggère d'ouvrir une crèche pour les enfants du personnel du BIPM. Le directeur accepte d'étudier cette proposition.

10.6 Metrologia

La situation de *Metrologia* fait l'objet d'une brève discussion. M. Wallard demande si les ventes de *Metrologia* couvrent les dépenses. M. Quinn répond que les abonnements ne suffisent pas complètement à couvrir les frais de personnel et de production, mais que l'importance de *Metrologia* pour la réputation du BIPM supplante son coût.

M. Blackburn, qui prendra sa retraite avant la prochaine session du Comité international, est invité à se joindre à la réunion. Le président et M. Quinn le remercient pour son travail comme rédacteur de *Metrologia* et pour l'efficacité accrue des publications du BIPM. Il a révolutionné ce domaine et montré le chemin pour l'avenir. Le président lui présente ses vœux et lui souhaite une retraite longue et heureuse. M. Blackburn lui répond que ce fut un grand plaisir pour lui de travailler au BIPM.

Budget pour 1998

Recettes

	francs-or
<i>Recettes budgétaires :</i>	
1. Contributions des États	28 365 000
2. Intérêts des fonds	1 320 000
3. Taxes de vérification	478 000
Total	30 163 000

Dépenses

<i>A. Dépenses de personnel :</i>		
1. Salaires	12 297 000	} 19 102 000
2. Allocations familiales et sociales	2 567 000	
3. Assurance maladie	1 235 000	
4. Assurance accidents	48 000	
5. Caisse de retraite	2 955 000	
<i>B. Dépenses de fonctionnement :</i>		
1. Laboratoires et atelier	1 100 000	} 4 325 000
2. Chauffage, eau, énergie électrique	478 000	
3. Assurances	84 000	
4. Impression et publications	392 000	
5. Frais de bureau	540 000	
6. Voyages et transports de matériel	835 000	
7. Entretien courant	436 000	
8. Bibliothèque	352 000	
9. Bureau du Comité	108 000	
<i>C. Dépenses d'investissement</i>	4 220 000	
<i>D. Bâtiments (entretien et rénovation)</i>	1 796 000	
<i>E. Frais divers et imprévus</i>	720 000	
Total	30 163 000	

11 QUESTIONS DIVERSES

11.1 Comité mixte BIPM/UAI sur les systèmes de référence spatio-temporels et la métrologie dans le cadre de la relativité générale

Le président rappelle au Comité que le Groupe de travail du CCDS sur l'application de la relativité générale à la métrologie a rempli ses missions et précise que le rapport présenté au Comité international à sa session de 1996 est publié dans *Metrologia* (1997, **34**, 261-290). Il considère donc le Groupe de travail du CCDS comme dissous.

M. G. Petit est ensuite invité à se joindre au Comité pour discuter une proposition de former un Comité mixte BIPM/UAI sur l'application de la relativité générale aux systèmes de référence spatio-temporels (*voir aussi* le rapport du secrétaire).

M. Petit explique que ce comité poursuivrait les travaux du Groupe de travail du CCDS sur l'application de la relativité générale à la métrologie. Étant interdisciplinaire, il sera établi sous les auspices du BIPM (pour ce qui concerne la métrologie), de l'UAI et de l'UGGI (pour les systèmes de référence spatio-temporels en astronomie et en géodésie).

Les travaux de ce comité couvriraient trois domaines :

1. la mise au point de définitions et de conventions afin d'offrir un cadre cohérent aux références spatio-temporelles et à la métrologie ;
2. l'établissement d'un système uniforme de notations pour les grandeurs et unités ;
3. les applications pratiques pour les utilisateurs.

La composition de ce comité est discutée : il comprendra les spécialistes de la relativité et de la mécanique céleste qui ont participé au Groupe de travail du CCDS, des spécialistes dont le nom est proposé par les unions

(AIG, UAI, UIT) et des membres des laboratoires. Les membres du Comité international sont invités à proposer d'autres noms. Le Comité approuve cette proposition.

11.2 Comité commun pour les guides en métrologie

M. Quinn explique que le Comité commun pour les guides en métrologie, dont il est le premier président, a succédé à l'ISO/TAG 4. Le rôle de ce comité est de mettre à jour le *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure* et le *Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie* et de concevoir d'autres documents de même nature. Une réunion devrait avoir lieu en novembre 1997 au BIML. M. Quinn propose que le BIPM et l'OIML prennent en charge le secrétariat de cette nouvelle structure, et que l'ISO continue à imprimer et diffuser les documents, qui auront le statut de Guides de l'ISO.

11.3 Définition du terme grandeur

M. Quinn dit que le Groupe commun pour les guides en métrologie s'efforce de trouver une meilleure définition du terme « grandeur ». M. Giacomo, qui a participé aux deux premières éditions du *Vocabulaire* dit que le concept lui-même ne fait pas l'objet d'un consensus : c'est une question de culture plus que de compréhension.

11.4 Les étalons soi-disant intrinsèques

Afin d'aider les laboratoires nationaux de métrologie, le Comité international fait la déclaration suivante au sujet des soi-disant « étalons intrinsèques ».

Le Comité international a remarqué, avec inquiétude, une tendance croissante, en particulier chez les fabricants de matériel scientifique, à prétendre que leurs produits — qu'ils nomment des « étalons intrinsèques » — peuvent reproduire certaines unités SI au plus haut niveau d'exactitude.

De telles déclarations sont trompeuses du point de vue technique et le Comité international déplore une telle tendance. Le Comité international affirme clairement que de telles prétentions ne peuvent se justifier sans étalonnage ou comparaison à un étalon national ayant fait l'objet d'études systématiques et de qualification. Le Comité demande aux laboratoires nationaux de métrologie de régler cette question avec les fabricants dans leur propre pays en vue de mettre fin à cette pratique.

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

Dans le cadre de l'extension des travaux relevant des Comités consultatifs, le Comité international a établi en 1996 un Groupe de travail afin d'étudier les activités potentielles dans le domaine de l'acoustique et des vibrations. M. Wallard a été chargé de contacter les directeurs de laboratoires nationaux de métrologie pour connaître leurs besoins, de définir la mission de ce groupe et de présenter un rapport au Comité international en 1997.

L'étude de M. Wallard a montré que l'ISO et la CEI seraient favorables à une initiative du Comité international dans ce domaine afin d'examiner quelles peuvent être les comparaisons clés et elle a confirmé que l'ISO et la CEI n'exercent pas ces activités au niveau international. Pour conclure, M. Wallard dit que ce domaine est suffisamment mur pour motiver les industriels, les commerciaux et les scientifiques à coordonner les travaux de recherche dans les laboratoires nationaux de métrologie, et à établir un programme de comparaisons internationales. Il recommande : 1) que le CIPM crée un Groupe de travail *ad hoc* pour identifier les comparaisons clés dans les domaines de l'acoustique, des ultrasons et des vibrations, les laboratoires susceptibles d'y participer, et mettre en œuvre les comparaisons nécessaires, 2) que le CIPM étudie, à sa session de 1998, les avantages respectifs qu'il y aurait à créer un nouveau Comité consultatif, ou un groupe de travail sur l'acoustique sous les auspices d'un Comité consultatif existant, et décide de la suite à donner, 3) que le directeur du BIPM informe le président de l'ISO et celui de la CEI de l'action du CIPM et les invite à nommer des représentants au Groupe de travail *ad hoc*.

Le Comité international approuve ces propositions et demande à M. Wallard d'être le président du Groupe de travail *ad hoc* du CIPM chargé d'identifier et de commencer à mettre en œuvre des comparaisons clés dans ce domaine, et de présenter un rapport au Comité international en 1998 sur l'opportunité de former un nouveau Comité consultatif.

11.6 Questions diverses

M. Iizuka mentionne un autre sujet pouvant intéresser le Comité international : il s'agit des mesures de dureté. C'est une grandeur physique mal définie, mais les activités dans ce domaine sont nombreuses dans les laboratoires nationaux et dans l'industrie. Il est nécessaire d'effectuer des comparaisons pour unifier les échelles de référence. Il serait bon que le Comité accepte de coordonner les comparaisons et, le moment venu, crée un petit Groupe de travail *ad hoc*, sous les auspices du CCM ou du CCL, avec des représentants du Comité technique 10 de l'OIML et du Comité technique 164 de l'ISO.

M. Iizuka suggère d'envoyer un questionnaire aux laboratoires nationaux de métrologie afin de rassembler des informations sur ce sujet. M. Leschiutta est favorable à cette proposition et le Comité international décide de former un petit groupe constitué de deux ou trois laboratoires, dont l'IMGC, dont M. Iizuka serait le président.

M. Göbel suggère aussi de constituer un groupe pour étudier les mesures de débit de fluide. Cette proposition sera étudiée lors de la prochaine session du Comité international ; M. Göbel est chargé de préparer un rapport à ce sujet.

M. Gopal mentionne le besoin d'unifier les mesures dans le domaine médical ; le Comité international est d'avis que cette activité le concernera dans l'avenir.

12 PROCHAINE SESSION DU CIPM

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

29 septembre au 1^{er} octobre 1998.

Le président clôt la 86^e session du Comité international et remercie les présents pour leur contribution au succès de cette réunion.

**RECOMMANDATIONS ADOPTÉES
PAR LE COMITÉ INTERNATIONAL
DES POIDS ET MESURES
À SA 86^e SESSION**

1 RECOMMANDATION 1 (CI-1997) : Révision de la mise en pratique de la définition du mètre

Le Comité international des poids et mesures,

rappelant

- qu'en 1983 la 17^e Conférence générale des poids et mesures (CGPM) a adopté une nouvelle définition du mètre ;
- qu'à la même date la CGPM a invité le Comité international des poids et mesures (CIPM)
 - à établir des instructions pour la mise en pratique de la nouvelle définition du mètre,
 - à choisir des radiations qui puissent être recommandées comme étalons de longueur d'onde pour la mesure interférentielle des longueurs et à établir des instructions pour leur emploi,
 - à poursuivre les études entreprises pour améliorer ces étalons et à compléter ou réviser par la suite ces instructions ;
- qu'en réponse à cette invitation le CIPM a adopté la Recommandation 1 (CI-1983) (mise en pratique de la définition du mètre) avec pour effet
 - que le mètre soit réalisé par l'une des méthodes suivantes :
 - a) au moyen de la longueur l du trajet parcouru dans le vide par une onde électromagnétique plane pendant la durée t ; cette longueur est obtenue à partir de la mesure de la durée t , en utilisant la relation $l = c_0 \cdot t$ et la valeur de la vitesse de la lumière dans le vide $c_0 = 299\,792\,458$ m/s,
 - b) au moyen de la longueur d'onde dans le vide λ d'une onde électromagnétique plane de fréquence f ; cette longueur d'onde est obtenue à partir de la mesure de la fréquence f , en utilisant la relation $\lambda = c_0 / f$ et la valeur de la vitesse de la lumière dans le vide $c_0 = 299\,792\,458$ m/s,

- c) au moyen de l'une des radiations de la liste ci-dessous, radiations pour lesquelles on peut utiliser la valeur donnée de la longueur d'onde dans le vide ou de la fréquence, avec l'incertitude indiquée, pourvu que l'on observe les conditions spécifiées et le mode opératoire reconnu comme approprié ;
- que dans tous les cas les corrections nécessaires soient appliquées pour tenir compte des conditions réelles telles que diffraction, gravitation ou imperfection du vide ;
- que le CIPM avait recommandé une liste de radiations à cet effet ;

rappelant aussi qu'en 1992 le CIPM a révisé la mise en pratique de la définition du mètre ;

considérant

- que la science et les techniques continuent à exiger une meilleure exactitude dans la réalisation du mètre ;
- que, depuis 1992, les travaux effectués dans les laboratoires nationaux, au BIPM et dans d'autres laboratoires ont permis d'identifier de nouvelles radiations et des méthodes pour leur mise en oeuvre qui conduisent à de faibles incertitudes ;
- que ces travaux ont aussi permis de réduire sensiblement l'incertitude sur la valeur de la fréquence et de la longueur d'onde dans le vide de l'une des radiations recommandées antérieurement ;
- qu'une mise à jour de la liste des radiations recommandées est souhaitable en vue de diverses applications qui comprennent non seulement la réalisation directe du mètre, impliquant l'interférométrie optique pour la mesure pratique des longueurs, mais aussi la spectroscopie, la physique atomique et moléculaire et la détermination de constantes physiques fondamentales ;

recommande

- que la liste des radiations recommandées donnée par le CIPM en 1992 (Recommandation 3 (CI-1992)) soit remplacée par la liste de radiations donnée ci-dessous ;
- que la note suivante au sujet de la relativité générale soit ajoutée aux règles pour la réalisation du mètre :

Dans le contexte de la relativité générale, le mètre est considéré comme une unité de longueur propre. Sa définition s'applique donc seulement dans un domaine spatial suffisamment petit, pour lequel les effets de la non-uniformité du champ gravitationnel peuvent être ignorés. Dans ce cas, les seuls effets à prendre en compte sont ceux de la relativité restreinte. Les méthodes locales, préconisées en *b*) et *c*) pour réaliser le mètre, fournissent le mètre propre, mais la méthode préconisée en *a*) ne le permet pas nécessairement. La méthode préconisée en *a*) devrait donc être restreinte aux longueurs l suffisamment courtes pour que les effets prévus par la relativité générale soient négligeables par rapport aux incertitudes de mesure. Si ce n'est pas le cas, il convient de se référer au rapport du Groupe de travail du CCDS sur l'application de la relativité générale à la métrologie pour l'interprétation des mesures (Application of general relativity to metrology, *Metrologia*, 1997, **34**, 261-290).

Note. Il est habituel d'utiliser la notation c_0 pour la vitesse de la lumière dans le vide (ISO 31). La notation c avait été utilisée dans le texte d'origine de la Recommandation de 1983.

Liste des radiations recommandées pour la réalisation du mètre approuvées par le CIPM en 1997 : fréquences et longueurs d'onde dans le vide

Cette liste remplace celles qui avaient été publiées dans *BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 1983, **51**, 25-28, 1992, **60**, 141-144 et dans *Metrologia*, 1984, **19**, 165-166, 1993-1994, **30**, 523-541.

Dans cette liste, les valeurs de la fréquence f et de la longueur d'onde λ devraient être rigoureusement liées par la relation $\lambda f = c_0$, avec $c_0 = 299\,792\,458$ m/s, mais les valeurs de λ sont arrondies.

Les résultats de mesures qui ont été utilisés pour la compilation de cette liste, et leur analyse, sont donnés dans l'annexe : Données utilisées pour établir la liste des radiations recommandées, 1997, et Bibliographie commentée.

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

Chacune de ces radiations peut être remplacée, sans perte d'exactitude, par une radiation correspondant à une autre composante de la même transition,

ou par une autre radiation, lorsque la différence de fréquence correspondante est connue avec une exactitude suffisante. Il faut aussi noter que, pour obtenir les incertitudes données dans cette liste, il n'est pas suffisant de remplir les conditions requises pour les paramètres mentionnés ; il faut en outre respecter les conditions expérimentales considérées comme les plus appropriées selon la méthode d'asservissement utilisée. Celles-ci sont décrites dans de nombreuses publications scientifiques ou techniques. Des exemples de conditions expérimentales considérées comme convenables pour telle ou telle radiation sont décrits dans des publications dont les références peuvent être obtenues auprès des laboratoires membres du CCDM⁽¹⁾ ou auprès du BIPM.

1 Radiations recommandées de lasers asservis

1.1 Atome absorbant ^1H , transition 1S-2S à deux photons

$$\begin{aligned} \text{Les valeurs} \quad f &= 1\,233\,030\,706\,593,7 \text{ kHz} \\ \lambda &= 243\,134\,624,6260 \text{ fm} \end{aligned}$$

avec une incertitude-type relative de $8,5 \times 10^{-13}$, s'appliquent à une radiation asservie sur une transition à deux photons dans un faisceau d'hydrogène refroidi. Les valeurs sont corrigées pour les ramener à une puissance laser nulle et pour tenir compte du déplacement Doppler du second ordre, ce qui ramène à des atomes réellement stationnaires.

On peut aussi utiliser d'autres transitions absorbantes dans l'hydrogène, ces transitions sont données dans l'annexe M 3 du rapport du CCDM (1997).

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

$$\begin{aligned} \text{Les valeurs} \quad f &= 582\,490\,603,37 \text{ MHz} \\ \lambda &= 514\,673\,466,4 \text{ fm} \end{aligned}$$

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

(1) Lors de sa session de 1997, le CIPM a changé le nom du Comité consultatif pour la définition du mètre (CCDM) en Comité consultatif des longueurs (CCL).

(2) Pour ce qui concerne la spécification des conditions de mise en oeuvre, telles que la température, la largeur de modulation et la puissance du laser, le symbole \pm fait référence à une tolérance et non pas à une incertitude.

1.3 Molécule absorbante $^{127}\text{I}_2$, transition 32-0, R(56), composante a_{10}

Les valeurs $f = 563\,260\,223,48$ MHz
 $\lambda = 532\,245\,036,14$ fm

avec une incertitude-type relative de 7×10^{-11} , s'appliquent à la radiation émise par un laser Nd:YAG à fréquence doublée asservi à l'aide d'une cuve à iode, située à l'extérieur du laser, ayant un point froid à une température située entre -10 °C et -20 °C.

On peut aussi utiliser d'autres transitions absorbantes de $^{127}\text{I}_2$ proches de cette transition, en faisant référence aux différences de fréquence ci-dessous, dont l'incertitude-type est $u_c = 2$ kHz.

Longueurs d'onde de transitions de $^{127}\text{I}_2$

Transition	Différence de fréquence
x	$[f(x) - f(32-0, R(56), a_{10})]/\text{kHz}$
32-0, R(57), a_1	-50 946 880,4
32-0, P(54), a_1	-47 588 892,5
35-0, P(119), a_1	-36 840 161,5
33-0, R(86), a_1	-32 190 404,0
34-0, R(106), a_1	-30 434 761,5
36-0, R(134), a_1	-17 173 680,4
33-0, P(83), a_{21}	-15 682 074,1
32-0, P(56), a_{10}	0
32-0, P(53), a_1	+2 599 708,0

Ici, $f(x)$ représente la fréquence de la transition dénommée x et $f(32-0, R(56), a_{10})$ la fréquence de la transition de référence.

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

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

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

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

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

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

1.6 Molécule absorbante $^{127}\text{I}_2$, transition 11-5, R(127), composante a_{13} (ou i)

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

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

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

Ces conditions ne suffisent pas par elles-mêmes à garantir l'obtention de l'incertitude-type indiquée. Il faut en outre que les parties optique et électronique du système d'asservissement fonctionnent avec les performances appropriées. La cuve à iode peut aussi être utilisée dans des conditions moins rigoureuses, ce qui conduit à l'incertitude plus grande donnée dans l'annexe M 2 du rapport du CCDM (1997).

1.7 Molécule absorbante $^{127}\text{I}_2$, transition 8-5, P(10), composante a_9 (ou g)

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

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

1.8 Atome absorbant ^{40}Ca , transition $^1\text{S}_0 - ^3\text{P}_1$; $\Delta m_J = 0$

Les valeurs $f = 455\,986\,240\,494,15$ kHz
 $\lambda = 657\,459\,439,2917$ fm

avec une incertitude-type relative de 6×10^{-13} , s'appliquent à la radiation émise par un laser asservi à l'aide d'atomes de Ca. Ces valeurs correspondent à la fréquence moyenne des deux composantes de recul d'atomes réellement stationnaires, c'est-à-dire qu'elles sont corrigées pour tenir compte du déplacement Doppler du second ordre.

1.9 Ion absorbant $^{88}\text{Sr}^+$, transition $5^2\text{S}_{1/2} - 4^2\text{D}_{5/2}$

Les valeurs $f = 444\,779\,044,04$ MHz
 $\lambda = 674\,025\,590,95$ fm

avec une incertitude-type relative de $1,3 \times 10^{-10}$, s'appliquent à la radiation émise par un laser asservi sur la transition que l'on observe à l'aide d'un ion de strontium piégé et refroidi. Les valeurs correspondent au centre du multiplet Zeeman.

1.10 Atome absorbant ^{85}Rb , transition $5\text{S}_{1/2} (F=3) - 5\text{D}_{5/2} (F=5)$ à deux photons

Les valeurs $f = 385\,285\,142\,378$ kHz
 $\lambda = 778\,105\,421,22$ fm

avec une incertitude-type relative de $1,3 \times 10^{-11}$, s'appliquent à la radiation émise par un laser asservi sur le centre de la transition à deux photons. Les valeurs s'appliquent à une cuve à rubidium à une température inférieure à 100 °C ; elles sont corrigées pour une puissance laser nulle et pour tenir compte du déplacement Doppler du second ordre.

D'autres transitions absorbantes du rubidium peuvent aussi être utilisées, elles sont données à l'annexe M 3 du rapport du CCDM (1997).

1.11 Molécule absorbante CH_4 , transition $\nu_3, \text{P}(7)$, composante $F_2^{(2)}$

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

avec une incertitude-type relative de 3×10^{-12} , s'appliquent à la radiation émise par un laser à He-Ne asservi à l'aide de la composante centrale [transition (7-6)] du triplet de structure hyperfine résolu. Ces valeurs correspondent à la fréquence moyenne des deux composantes de recul de molécules réellement stationnaires, c'est-à-dire qu'elles sont corrigées pour tenir compte du déplacement Doppler du second ordre.

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

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

- pression du méthane ≤ 3 Pa ;
- puissance surfacique moyenne transportée par le faisceau dans un seul sens (c'est-à-dire puissance surfacique de sortie divisée par le facteur de transmission du miroir de sortie), à l'intérieur de la cavité $\leq 10^4$ W m⁻² ;
- rayon de courbure des surfaces d'onde ≥ 1 m ;
- différence relative de puissance entre les deux ondes qui se propagent en sens inverse l'une de l'autre ≤ 5 % ;
- récepteur d'asservissement placé à la sortie du dispositif du côté du tube à He-Ne.

1.12 Molécule absorbante OsO₄, transition en coïncidence avec la raie laser ¹²C¹⁶O₂, R(12)

Les valeurs $f = 29\,096\,274\,952,34$ kHz
 $\lambda = 10\,303\,465\,254,27$ fm

avec une incertitude-type relative de 6×10^{-12} , s'appliquent à la radiation émise par un laser à CO₂ asservi sur une cuve à OsO₄, remplie à une pression inférieure à 0,2 Pa, située à l'extérieur du laser.

On peut utiliser d'autres transitions ; elles sont données à l'annexe M 3 du rapport du CCDM (1997).

2 Valeurs recommandées de radiations de lampes spectrales et autres sources

2.1 Radiation correspondant à la transition entre les niveaux 2p₁₀ et 5d₅ de l'atome de ⁸⁶Kr

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

avec une incertitude relative élargie⁽³⁾, $U = ku_c$ ($k = 3$), de 4×10^{-9} [égale à trois fois l'incertitude-type relative de $1,3 \times 10^{-9}$], s'applique à la radiation émise par une lampe à décharge utilisée dans les conditions recommandées par

(3) L'incertitude figurant dans le document de 1960 était de 1×10^{-8} , elle a ensuite été modifiée et portée à 4×10^{-9} (*BIPM Com. cons. déf. mètre*, 1973, 5, M 12).

le CIPM en 1960 (*BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 1960, **28**, 71-72 et *BIPM Comptes rendus 11^e Conf. gén. poids et mesures*, 1960, 85) ; ces conditions sont les suivantes :

La radiation du krypton 86 est réalisée au moyen d'une lampe à décharge à cathode chaude contenant du krypton 86 d'une pureté non inférieure à 99 %, en quantité suffisante pour assurer la présence de krypton solide à la température de 64 K, cette lampe étant munie d'un capillaire ayant les caractéristiques suivantes : diamètre intérieur 2 mm à 4 mm, épaisseur de la paroi 1 mm environ.

On estime que la longueur d'onde de la radiation émise par la colonne positive est égale, à 1×10^{-8} près en valeur relative, à la longueur d'onde correspondant à la transition entre les niveaux non perturbés, lorsque les conditions suivantes sont satisfaites :

1. le capillaire est observé en bout de façon que les rayons lumineux utilisés cheminent du côté cathodique vers le côté anodique ;
2. la partie inférieure de la lampe, y compris le capillaire, est immergée dans un bain réfrigérant maintenu à la température du point triple de l'azote, à 1 degré près ;
3. la densité du courant dans le capillaire est $(0,3 \pm 0,1) \text{ A/cm}^2$.

2.2 Radiations des atomes de ^{86}Kr , ^{198}Hg et ^{114}Cd

En 1963 le CIPM (*BIPM Com. cons. déf. mètre*, 1962, **3**, 18-19 et *BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 1963, **52**, 26-27) a recommandé des valeurs de longueurs d'onde dans le vide, λ , et d'incertitudes, pour certaines transitions des atomes de ^{86}Kr , ^{198}Hg et ^{114}Cd , ainsi que les conditions d'utilisation suivantes :

Longueurs d'onde dans le vide, λ , de transitions du ^{86}Kr

Transition	λ /pm
$2p_9 - 5d'_4$	645 807,20
$2p_8 - 5d_4$	642 280,06
$1s_3 - 3p_{10}$	565 112,86
$1s_4 - 3p_8$	450 361,62

Pour le ^{86}Kr , les valeurs ci-dessus s'appliquent, avec une incertitude de 2×10^{-8} en valeur relative, aux radiations émises par une lampe opérant dans des conditions similaires à celles mentionnées précédemment (2.1).

Longueurs d'onde dans le vide, λ , de transitions du ^{198}Hg

Transition	λ /pm
$6^1\text{P}_1 - 6^1\text{D}_2$	579 226,83
$6^1\text{P}_1 - 6^3\text{D}_2$	577 119,83
$6^3\text{P}_2 - 7^3\text{S}_1$	546 227,05
$6^3\text{P}_1 - 7^3\text{S}_1$	435 956,24

Pour le ^{198}Hg , les valeurs ci-dessus s'appliquent, avec une incertitude de 5×10^{-8} en valeur relative, aux radiations émises par une lampe à décharge, lorsque les conditions suivantes sont observées :

- les radiations sont produites au moyen d'une lampe à décharge sans électrodes contenant du mercure 198 d'une pureté non inférieure à 98 % et de l'argon à une pression comprise entre 0,5 mm Hg et 1,0 mm Hg (66 Pa à 133 Pa) ;
- le diamètre intérieur du capillaire de la lampe est d'environ 5 mm, et les radiations sont observées en travers ;
- la lampe est excitée par un champ à haute fréquence de puissance modérée ; elle est maintenue à une température inférieure à 10 °C ;
- le volume de la lampe est de préférence supérieur à 20 cm³.

Longueurs d'onde dans le vide, λ , de transitions du ^{114}Cd

Transition	λ /pm
$5^1\text{P}_1 - 5^1\text{D}_2$	644 024,80
$5^3\text{P}_2 - 6^3\text{S}_1$	508 723,79
$5^3\text{P}_1 - 6^3\text{S}_1$	480 125,21
$5^3\text{P}_0 - 6^3\text{S}_1$	467 945,81

Pour le ^{114}Cd , les valeurs ci-dessus s'appliquent, avec une incertitude de 7×10^{-8} en valeur relative, aux radiations émises par une lampe à décharge, lorsque les conditions suivantes sont observées :

- les radiations sont produites au moyen d'une lampe à décharge sans électrodes, contenant du cadmium 114 d'une pureté non inférieure à 95 % et de l'argon à une pression 1 mm Hg (133 Pa) environ à la température ambiante ;
- le diamètre intérieur du capillaire de la lampe est environ 5 mm, et les radiations sont observées en travers ;
- la lampe est excitée par un champ à haute fréquence de puissance modérée ; elle est maintenue à une température telle que la raie verte ne soit pas renversée.

Note. Les incertitudes citées dans la Section 2.2 correspondent aux incertitudes élargies relatives $U = ku_c$ ($k = 3$), égales à trois fois l'incertitude-type relative composée.

2.3 Molécule absorbante $^{127}\text{I}_2$, transition 17-1, P(62) composante a_1 , recommandée par le CIPM en 1992 (*BIPM Com. cons. déf. mètre*, 1992, **8**, M18 et M137, et *Mise en pratique of the definition of the metre* (1992), *Metrologia*, 1993/94, **30**, 523-541).

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

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

2 RECOMMANDATION 2 (CI-1997) : Métrologie en chimie

Le Comité international des poids et mesures,

rappelant la Résolution 7 de la 20^e Conférence générale des poids et mesures sur la métrologie en chimie,

considérant

- le développement mondial des accords commerciaux dans le cadre de l'Organisation mondiale du commerce,
- le besoin d'éliminer les obstacles techniques au commerce liés à la métrologie,
- la nécessité d'accords de reconnaissance mutuelle, ou autres, pour établir la traçabilité des mesures d'un pays à un autre,

considérant aussi

- que de nombreuses décisions relatives à l'environnement et à la santé publique sont fondées sur des mesures en chimie,
- que les progrès de la traçabilité internationale ne sont pas encore suffisants dans le domaine des mesures en chimie,

recommande que les laboratoires nationaux de métrologie

- poursuivent leurs efforts en vue d'établir et de coordonner, dans leur pays, les activités dans le domaine de la métrologie en chimie, en collaboration étroite avec les groupes concernés,
- définissent, en collaboration avec le Comité consultatif pour la quantité de matière, les domaines prioritaires et les comparaisons clés internationales essentielles à la traçabilité des mesures en chimie, aussi bien au niveau mondial qu'au niveau régional.

**COMPOSITION
DES COMITÉS CONSULTATIFS
DU COMITÉ INTERNATIONAL
DES POIDS ET MESURES**

COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ ET MAGNÉTISME (CCEM)

Président

M. E.O. Göbel, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.

Secrétaire exécutif

M. T.J. Witt, Bureau international des poids et mesures.

Membres

Bureau national de métrologie : Laboratoire central des industries électriques,
Fontenay-aux-Roses.

Conseil national de recherches du Canada, Ottawa.

CSIR, National Metrology Laboratory, Pretoria.

CSIRO, National Measurement Laboratory, Lindfield.

Danish Institute of Fundamental Metrology, Lyngby.

Electrotechnical Laboratory, Tsukuba.

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

Institut national de métrologie, Beijing.

Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin.

Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon.

Measurement Standards Laboratory of New Zealand, Lower Hutt.

National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg.

National Physical Laboratory, Teddington.

National Physical Laboratory of India, New Delhi.

Nederlands Meetinstituut : Van Swinden Laboratorium, Delft.

Office fédéral de métrologie, Wabern.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.

Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Borås.

M. H. Seppä.

Le directeur du Bureau international des poids et mesures.

Observateurs

Centro Español de Metrología, Madrid.

Czech Office for Standards, Metrology and Testing, Prague.

COMITÉ CONSULTATIF DE PHOTOMÉTRIE ET RADIOMÉTRIE (CCPR)

Président

M. A.J. Wallard, National Physical Laboratory, Teddington.

Secrétaire exécutif

M. R. Köhler, Bureau international des poids et mesures.

Membres

Bureau national de métrologie : Institut national de métrologie, Paris.
Conseil national de recherches du Canada, Ottawa.
CSIR, National Metrology Laboratory, Pretoria.
CSIRO, National Measurement Laboratory, Lindfield.
Departamento de Metrologia, Instituto de Fisica Aplicada, Madrid.
Electrotechnical Laboratory, Tsukuba.
Helsinki University of Technology, Espoo.
Institut de recherche de Russie pour les mesures en optique physique, Moscou.
Institut national de métrologie, Beijing.
Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin.
Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon.
Measurement Standards Laboratory of New Zealand, Lower Hutt.
National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg.
National Physical Laboratory, Teddington.
Office fédéral de métrologie, Wabern.
Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest.
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.
Slovenský Metrologický Ústav, Bratislava.
Le directeur du Bureau international des poids et mesures.

Observateurs

Nederlands Meetinstituut, Delft.

Ulusal Metroloji Enstitüsü, Gebze-Kocaeli.

COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE (CCT)

Président

Mme K.B. Gebbie, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg.

Secrétaire exécutif

M. R. Köhler, Bureau international des poids et mesures.

Membres

Bureau national de métrologie : Institut national de métrologie, Paris.

Conseil national de recherches du Canada, Ottawa.

CSIRO, National Measurement Laboratory, Lindfield.

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

Institut des mesures physico-techniques et radiotechniques, Moscou.

Institut national de métrologie, Beijing.

Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin.

Korea Research Institute of Standards and Science, Taejeon.

Measurement Standards Laboratory of New Zealand, Lower Hutt.

National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg.

National Physical Laboratory, Teddington.

National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba.

Nederlands Meetinstituut : Van Swinden Laboratorium, Delft.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.

Slovenský Metrologický Ústav, Bratislava.

Le directeur du Bureau international des poids et mesures.

Observateurs

Centro Español de Metrologia, Madrid.

Instituto Português da Qualidade, Lisbonne.

Centro Nacional de Metrologia, Mexico.

Singapore Productivity and Standards Board, Singapour.

COMITÉ CONSULTATIF DES LONGUEURS (CCL)

Président

M. Chung Myung Sai, Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon.

Secrétaire exécutif

M. J.-M. Chartier, Bureau international des poids et mesures.

Membres

Bureau national de métrologie : Institut national de métrologie, Paris.
Centro Nacional de Metrologia, Mexico.
Conseil national de recherches du Canada, Ottawa.
CSIRO, National Measurement Laboratory, Lindfield.
Institut de métrologie D.I. Mendéléev, Saint-Pétersbourg.
Institut de métrologie tchèque, Brno.
Institut national de métrologie, Beijing.
Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin.
Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon.
National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg/JILA, Boulder.
National Physical Laboratory, Teddington.
National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba.
Nederlands Meetinstituut, Delft.
Office fédéral de métrologie, Wabern.
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.
Slovenský Metrologický Ústav, Bratislava.
Le directeur du Bureau international des poids et mesures.

Observateurs

Centro Español de Matrologia, Madrid.

CSIR, National Metrology Laboratory, Pretoria.

COMITÉ CONSULTATIF DU TEMPS ET DES FRÉQUENCES (CCTF)

Président

M. S. Leschiutta, Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin.

Secrétaire exécutif

Mme C. Thomas, Bureau international des poids et mesures.

Membres

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

Communications Research Laboratory, Tokyo.

Conseil national de recherches du Canada, Ottawa.

CSIRO, National Measurement Laboratory, Lindfield.

Institut des mesures physico-techniques et radiotechniques, Moscou.

Institut national de métrologie, Beijing.

Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin.

Korea Research Institute of Standards and Science, Taejeon.

Laboratoire de l'horloge atomique du Centre national de la recherche scientifique, Orsay.

National Institute of Standards and Technology, Boulder.

National Physical Laboratory, Teddington.

National Physical Laboratory of India, New Delhi.

National Physical Laboratory of Israel, Jérusalem.

National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba.

Nederlands Meetinstituut : Van Swinden Laboratorium, Delft.

Observatoire royal de Belgique, Bruxelles.

Office fédéral de métrologie, Wabern/Observatoire cantonal, Neuchâtel.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.

Real Instituto y Observatorio de la Armada, San Fernando.

Technical University, Graz.

U.S. Naval Observatory, Washington DC.

Union astronomique internationale.

Union géodésique et géophysique internationale.

Union internationale des télécommunications, Bureau des radiocommunications.

Union radioscopique internationale.

B. Guinot.

Le directeur du Bureau international des poids et mesures.

COMITÉ CONSULTATIF DES RAYONNEMENTS IONISANTS (CCRI)

Président

M. G. Moscati, Instituto de Fisica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Secrétaire exécutif

Mme M. Boutillon, Bureau international des poids et mesures (jusqu'au 30 septembre 1998).

Mme P. Allisy-Roberts, Bureau international des poids et mesures (à partir du 1^{er} octobre 1998).

Membres

Le président de la Section I.

Le président de la Section II.

Le président de la Section III.

Section I (Rayons x et γ , électrons)

Président

M. K. Hohlfeld, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.

Membres

Australian Radiation Laboratory, Yallambie.

Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Vienne.

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

Conseil national de recherches du Canada, Ottawa.

Electrotechnical Laboratory, Tsukuba.
Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Rome.
Główny Urząd Miar, Varsovie.
Institut de métrologie D.I. Mendéléev, Saint-Pétersbourg.
Institut national de métrologie, Beijing.
International Commission on Radiation Units and Measurements.
National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg.
National Physical Laboratory, Teddington.
Nederlands Meetinstituut : Van Swinden Laboratorium, Delft.
Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest.
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.
Swedish Radiation Protection Institute, Stockholm.
A. Brosed.
Le directeur du Bureau international des poids et mesures.

Observateurs

Agence internationale de l'énergie atomique.
International Organization for Medical Physics.
International Radioprotection Association.
Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes, Rio de Janeiro.

Section II (Mesure des radionucléides)

Président

M. B.R.S. Simpson, National Accelerator Centre, Faure.

Membres

Australian Nuclear Science and Technology Organisation, Menai.
Bureau national de métrologie : Laboratoire primaire des rayonnements ionisants, Saclay.
Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Madrid.
Conseil national de recherches du Canada, Ottawa.
Electrotechnical Laboratory, Tsukuba.
Institut de métrologie D.I. Mendéléev, Saint-Pétersbourg.
Institut des matériaux et mesures de référence, Geel.
Institut national de métrologie, Beijing.
Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon.

National Accelerator Centre, Faure.
National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg.
National Physical Laboratory, Teddington.
Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest.
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.
Radioisotope Centre, Otwock/Swierk.
J.-J. Gostely.
G. Winkler.
Le directeur du Bureau international des poids et mesures.

Observateurs

Ente per le Nuove Technologie, l'Energia e l'Ambiente, Rome.
Institut de métrologie tchèque, Prague.
International Commission on Radiation Units and Measurements.
International Organization for Medical Physics.
International Radiation Protection Association.
Nederlands Meetinstituut, Utrecht.

Section III (Mesures neutroniques)

Président

M. V.E. Lewis, National Physical Laboratory, Teddington.

Membres

Bureau national de métrologie : Laboratoire primaire des rayonnements ionisants, Saclay.
Electrotechnical Laboratory, Tsukuba.
Institut de métrologie D.I. Mendéléev, Saint-Pétersbourg.
Institut des matériaux et mesures de référence, Geel.
Institut national de métrologie, Beijing.
National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg.
National Physical Laboratory, Teddington.
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.
J.J. Broerse.
Le directeur du Bureau international des poids et mesures.

Observateurs

Agence internationale de l'énergie atomique.

Chinese Institute of Atomic Energy, Beijing.

International Commission on Radiation Units and Measurements.

COMITÉ CONSULTATIF DES UNITÉS (CCU)

Président

M. I.M. Mills, Université de Reading.

Secrétaire exécutif

M. D. Blackburn, Bureau international des poids et mesures (jusqu'au 31 mai 1998).

M. P. Martin, Bureau international des poids et mesures (à partir du 1^{er} juin 1998).

Membres

Comité d'État de la Fédération de Russie pour les normes, Moscou.

Commission électrotechnique internationale : Comité technique 25.

Commission internationale de l'éclairage.

Institut national de métrologie, Beijing.

International Commission on Radiation Units and Measurements.

National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg.

National Physical Laboratory, Teddington.

National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba.

Organisation internationale de métrologie légale.

Organisation internationale de normalisation : Comité technique 12.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.

Union astronomique internationale.

Union internationale de chimie pure et appliquée : Commission STU.

Union internationale de physique pure et appliquée : Commission SUN-AMCO.

L. Villena.

Le directeur du Bureau international des poids et mesures.

COMITÉ CONSULTATIF POUR LA MASSE ET LES GRANDEURS APPARENTÉES (CCM)

Président

M. K. Iizuka, c/o National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba.

Secrétaire exécutif

M. R.S. Davis, Bureau international des poids et mesures.

Membres

Bureau national de métrologie : Institut national de métrologie, Paris.

Conseil national de recherches du Canada, Ottawa.

CSIRO, National Measurement Laboratory, Lindfield.

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

Institut national de métrologie, Beijing.

Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin.

Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon.

National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg.

National Physical Laboratory, Teddington.

National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba.

Nederlands Meetinstituut : Van Swinden Laboratorium, Delft.

Office fédéral de métrologie, Wabern.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig et Berlin.

Slovenský Metrologický Ústav, Bratislava.

Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Borås.

Le directeur du Bureau international des poids et mesures.

Observateurs

Centro Nacional de Metrologia, Mexico.

Centro Español de Metrologia, Madrid.

COMITÉ CONSULTATIF POUR LA QUANTITÉ DE MATIÈRE (CCQM)

Président

M. R. Kaarls, Nederlands Meetinstituut, Delft.

Secrétaire exécutif

M. R.S. Davis, Bureau international des poids et mesures.

Membres

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin.

Bureau national de métrologie : Laboratoire national d'essais, Paris.

Conseil national de recherches du Canada, Ottawa.

Danish Institute of Fundamental Metrology, Lyngby.

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

Institut des matériaux et mesures de référence, Geel.

Institut national de métrologie/National Research Centre for Certified Reference Materials, Beijing.

Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon.

National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg.

National Physical Laboratory/Laboratory of the Government Chemist, Teddington.

National Research Laboratory of Metrology/National Institute of Material and Chemical Research, Tsukuba.

Nederlands Meetinstituut, Delft.

Organisation internationale de normalisation : Comité des matériaux de référence.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig et Berlin.

Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Borås.

Union internationale de chimie pure et appliquée.

Le directeur du Bureau international des poids et mesures.

Observateurs

National Physical Laboratory of India, New Delhi.

Office central des mesures, Varsovie.

Office fédéral de métrologie, Wabern.

Office national des mesures, Budapest.

Slovenský Metrologický Ústav, Bratislava.

**RAPPORT DU DIRECTEUR
SUR L'ACTIVITÉ ET LA GESTION
DU BUREAU INTERNATIONAL
DES POIDS ET MESURES**

(octobre 1996 – septembre 1997)



1 INTRODUCTION GÉNÉRALE AUX TRAVAUX SCIENTIFIQUES DU BUREAU INTERNATIONAL

Dans son projet de rapport préparé sous les auspices du Comité international et intitulé « Besoins nationaux et internationaux dans le domaine de la métrologie : les collaborations internationales et le rôle du BIPM », W.R. Blevin a réexaminé le rôle du BIPM. Il est parti pour ce faire de la déclaration sur « Le rôle du Bureau international dans les années 1980 » adoptée par le Comité international en 1984. Considérant les travaux effectués dans les laboratoires du Bureau international, il a identifié cinq activités majeures qui doivent être poursuivies au 21^e siècle, à savoir :

1. conserver et disséminer l'étalon primaire de masse, le prototype international du kilogramme ;
2. établir et distribuer le Temps atomique international et, en collaboration avec les organisations astronomiques concernées, le Temps universel coordonné ;
3. servir de centre pour les comparaisons internationales des réalisations physiques des autres unités de base et des unités dérivées et pour la mise en oeuvre de méthodes primaires de mesure en chimie, afin de répondre aux besoins de l'ensemble des laboratoires nationaux de métrologie, et faire ses propres réalisations dans certains cas susceptibles de présenter des avantages spécifiques ;
4. effectuer des étalonnages pour les laboratoires nationaux de métrologie des États membres de la Convention du Mètre, lorsque c'est possible ;
5. entreprendre les recherches scientifiques en liaison avec les unités et étalons de mesure, y compris la recherche fondamentale appropriée et la détermination de constantes physiques.

Cette esquisse des objectifs des travaux scientifiques montre que chaque domaine fait appel à différents types d'activités. Les quatre premières activités citées sont des activités de service et sont faites directement pour les laboratoires nationaux ; la cinquième activité, c'est-à-dire la recherche scienti-

fique, permet d'acquérir les connaissances et l'expérience essentielles pour pouvoir effectuer les autres types d'activités. Pour remplir sa mission, le Bureau international doit maintenir soigneusement l'équilibre entre les activités de service et de recherche : cet équilibre doit être revu en permanence en fonction des évolutions de la physique et de la métrologie.

Les comparaisons internationales et les étalonnages constituent la majeure partie des travaux décrits dans ce rapport. L'attention accrue, maintenant portée aux comparaisons internationales, vient de la nécessité de rendre compte de l'équivalence. Elle affecte directement nos activités de deux manières. D'abord, nous sommes soumis à une pression accrue de servir de laboratoire pilote pour les comparaisons pour lesquelles nous avons la compétence et les équipements nécessaires ; deuxièmement, les secrétaires exécutifs des Comités consultatifs, qui sont les responsables des sections du Bureau international, consacrent de plus en plus de temps à des questions liées aux comparaisons. Il en est ainsi parce que les Comités consultatifs choisissent actuellement les comparaisons qui seront considérées comme comparaisons clés et établissent des directives strictes pour leur réalisation. Une des tâches des secrétaires exécutifs des Comités consultatifs est d'aider les laboratoires pilotes à se conformer à ces directives. Ces activités sont bien sûr importantes, mais il sera impossible de maintenir, à long terme, la compétence scientifique du Bureau international sans un programme sérieux de recherche.

Pour les comparaisons clés effectuées directement par le Bureau international, en général, nous fabriquons et essayons les instruments de transfert. C'est un travail exigeant et qui demande beaucoup d'efforts : pour les comparaisons d'effet Josephson, d'effet Hall quantique et les comparaisons de lasers, les instruments de transfert sont des étalons primaires et ils font l'objet d'études détaillées et prolongées ; pour les comparaisons de sensibilité en radiométrie, les instruments de transfert, en l'occurrence des séries de récepteurs à piège, ont été fabriqués au Bureau international et y ont été étudiés en détail avant d'être envoyés aux laboratoires nationaux ; pour les nouvelles séries de comparaisons bilatérales entreprises par la section d'électricité, des séries composées de six des meilleurs étalons du commerce ont été achetées et sont étudiées en détail avant d'être envoyées aux laboratoires nationaux. Une grande part de notre travail de recherche actuel est liée à l'étude du comportement de ces étalons de transfert ; cela comprend l'étude des étalons existants et la conception de nouveaux étalons.

Ces lignes générales montrent à quelles activités le Bureau international a accordé la priorité au cours de l'année passée. Je termine cette introduction en soulignant certains des points marquants du travail effectué par chaque section.

Dans la section des longueurs deux comparaisons importantes, effectuées sur des groupes de lasers à $\lambda = 633$ nm, sont maintenant terminées. L'une, avec les laboratoires de NORAMET, a eu lieu au CENAM, à Mexico : y ont pris part le CENAM (Mexique), le NIST/JILA (États-Unis) et le NRC (Canada). L'autre a eu lieu au NIM à Beijing (Chine) et a concerné le KRIS (Rép. de Corée), le NIM, le NRLM (Japon) et le SCL (Hong Kong). Ces deux comparaisons clôturent une série de comparaisons qui s'est déroulée durant les quatre dernières années et qui relie entre eux une quarantaine de laboratoires appartenant à toutes les organisations régionales de métrologie actives dans ce domaine : APMP, COOMET, EUROMET et NORAMET. Toutes ces comparaisons ont été faites en référence aux lasers du Bureau international et ont nécessité, pour la plupart d'entre elles, le transport de nos lasers dans les laboratoires nationaux où la comparaison avait lieu. Les travaux sur de nouveaux systèmes laser se poursuivent, un effort particulier ayant été apporté cette année au laser à Nd:YAG doublé en fréquence à $\lambda = 532$ nm.

Dans la section des masses, la comparaison internationale d'étalons de masse de 1 kg en acier inoxydable est presque terminée. Treize laboratoires nationaux y ont pris part, le Bureau international jouant le rôle de laboratoire pilote. La nouvelle balance à suspensions flexibles a été soumise à des essais de mise en service et, bien que l'on obtienne une répétabilité meilleure que le microgramme, elle fait maintenant l'objet de quelques modifications simples qui devraient encore améliorer ses performances. L'expérience acquise dans l'étude de suspensions en cuivre-béryllium sous tension a été utile lors de la construction d'une nouvelle balance de torsion pour déterminer la constante newtonienne de gravitation. Une nouvelle balance hydrostatique destinée à la mesure de la masse volumique a été conçue et est maintenant en construction.

La stabilité à moyen terme du Temps atomique international (TAI), exprimée au moyen de l'écart-type d'Allan, est maintenant estimée à $1,3 \times 10^{-15}$ pour des durées moyennes d'environ 40 jours et son amélioration est, en grande partie, due à la mise en oeuvre par les laboratoires nationaux d'un plus grand nombre de nouvelles horloges à césium HP 5071A, bien meilleures que les modèles plus anciens. D'octobre 1996 à septembre 1997, notre estimation de l'exactitude du TAI a été principalement fondée sur les résultats de deux étalons primaires, PTB CS2 et NIST-7, l'étalon primaire PTB CS3 n'étant pas encore assez fiable. Nous n'avons pas reçu de mesures de la fontaine à césium du BNM-LPTF durant cette période, mais nous en attendons pour la fin de l'année 1997. Une part importante de notre activité de recherche concerne l'étude des comparaisons d'horloges par observations simultanées des satellites du GPS et du GLONASS à l'aide de récepteurs à canaux multiples.

Dans la section d'électricité, une réalisation majeure de cette année a été l'achèvement d'un pont d'impédance pour relier la résistance de Hall quantifiée à l'impédance de capacités étalons. Nous effectuons des essais qui consistent à comparer les résultats de déterminations exactes, effectuées à la PTB, du rapport de capacité dont les valeurs nominales sont dans le rapport 10, avec les résultats de mesures faites au Bureau international à l'aide du nouveau pont d'impédance. Cette comparaison n'est pas encore terminée, mais les résultats préliminaires indiquent un accord à quelques 10^{-8} près, ce qui est très satisfaisant. Cette année, nous avons aussi transporté notre équipement à l'IEN (Italie) pour une comparaison d'étalons de 1 V à effet Josephson. D'excellents résultats ont été obtenus, ils sont comparables à ceux obtenus dans les comparaisons directes précédentes d'étalons à effet Josephson.

La plupart des activités de la section radiométrie et photométrie a été consacrée aux comparaisons internationales approuvées par le CCPR en 1994. Pour cela, le Bureau international a été le laboratoire pilote de deux comparaisons, une de sensibilité de radiomètres cryogéniques au moyen de récepteurs à piège, comparaison qui devrait s'achever en 1998, et l'autre de sensibilité lumineuse de photomètres, achevée durant l'été 1997. Une première réalisation directe de la candela a été faite au Bureau international : quatre photomètres du commerce, modifiés afin de les adapter à des ouvertures étalonnées achetées au NPL, ont été étalonnés comme luxmètres pour fournir une réalisation radiométrique directe de la candela. Les réalisations précédentes des unités photométriques, maintenues au Bureau international, étaient fondées sur un groupe de lampes dont les mesures étaient liées aux comparaisons internationales passées. Le résultat de la nouvelle réalisation a été comparé à ceux obtenus au cours de la comparaison internationale de photomètres et à la candela conservée au moyen de lampes depuis 1985 : l'accord est excellent. Cette nouvelle réalisation et les futures réalisations du même type, fondées sur le radiomètre cryogénique du Bureau international, vont améliorer la stabilité des unités photométriques conservées au Bureau international.

Les récentes réunions des trois Sections du CCEMRI ont montré qu'il est toujours nécessaire d'améliorer la traçabilité des mesures de rayonnements ionisants. Dans le domaine de la dosimétrie des rayons x et γ , les résultats des nouvelles comparaisons, qui ont eu lieu au Bureau international et qui impliquent un certain nombre d'autres laboratoires, concordent bien avec ceux des comparaisons effectuées il y a quinze ans. Les comparaisons internationales de mesures d'activité ont une fois de plus servi à révéler des problèmes insoupçonnés dans l'étalonnage de nucléides qui semblent pourtant assez faciles à

mesurer. L'extension du Système international de référence aux émetteurs β sera jugée tout à fait opérationnelle après l'achèvement de la comparaison en cours, très prometteuse, de mesures d'activité de solutions de ^{90}Sr .

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

1.1.1 Publications extérieures

1. KAARLS R., QUINN T.J., The Comité Consultatif pour la Quantité de Matière: a brief review of its origin and present activities, *Metrologia*, 1997, **34**, 1-5.
2. QUINN T.J., Primary methods of measurement and primary standards, *Metrologia*, 1997, **34**, 61-65.
3. QUINN T.J., International Report: News from the BIPM, *Metrologia*, 1997, **34**, 187-194.
4. QUINN T.J., International Report: Meeting of directors of national metrology institutes held in Sèvres on 17 and 18 February 1997, *Metrologia*, 1997, **34**, 433-441.

1.1.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

T.J. Quinn s'est rendu :

- à Manille (Philippines), du 4 au 12 octobre 1996, pour des réunions du Sub-Committee on Standards and Conformance de l'APEC et de l'Asia/Pacific Metrology Programme, et un exposé intitulé « Measurement, its importance in today's world ».
- à Vancouver (Canada), du 1^{er} au 6 novembre 1996, pour la Conférence internationale de métrologie légale.
- à l'université de Stanford (États-Unis), les 11 et 12 novembre 1996, pour un exposé intitulé « A novel torsion balance for the measurement of G ».
- au JILA et au NIST, Boulder (États-Unis), les 13 et 14 novembre 1996, pour un exposé intitulé « A novel torsion balance for the measurement of G ».
- à Londres (Royaume-Uni), le 25 novembre 1996, pour une réunion du Paul Fund.
- à la PTB, Braunschweig (Allemagne), les 6 et 7 janvier 1997, pour une réunion d'un Comité consultatif d'EUROMET.
- à la PTB, Berlin (Allemagne), les 30 et 31 janvier 1997, pour un exposé intitulé « The blackbody, thermal radiation and temperature ».

- au CMA, Helsinki (Finlande), les 10 et 11 mars 1997, pour des exposés intitulés « Equivalence of national measurement standards » et « A novel torsion balance for the measurement of G ».
- à l'université de Cambridge (Royaume-Uni), le 21 mars 1997, pour la célébration du centenaire de la découverte de l'électron.
- à l'IMGC, Turin (Italie), le 25 mars 1997, pour une réunion du Conseil scientifique.
- à Canela (Brésil), du 4 au 9 avril 1997, pour une école sur la métrologie en mécanique, exposés intitulés « Perspectives in international metrology », « The BIPM flexure-strip balance », « A novel torsion balance for the measurement of G ».
- à Buenos Aires (Argentine), les 10 et 11 avril 1997, pour visiter l'INTI, et pour un exposé sur « Current activities in international metrology ».
- à Montevideo (Uruguay), du 12 au 14 avril 1997, pour visiter le LATU.
- à Rio de Janeiro (Brésil), le 15 et le 18 avril 1997, pour visiter l'INMETRO, le 16 avril, à Brasília, pour visiter le ministère des Sciences.
- aux universités de Birmingham et de Warwick (Royaume-Uni), les 12 et 13 mai 1997, pour des visites au Paul Fund.
- au NPL, Teddington (Royaume-Uni), le 13 mai 1997, pour des discussions sur l'équivalence des étalons nationaux de mesure.
- à la PTB, Braunschweig (Allemagne), les 26 et 27 mai 1997, pour présenter un exposé au 9^e Precision Engineering Seminar sur « Precision engineering in basic physics ».
- à Copenhague (Danemark), du 28 au 30 mai 1997, pour une réunion du comité d'EUROMET.
- à Tampere (Finlande), les 2 et 3 juin 1997, pour présenter un exposé à une conférence d'IMEKO sur « Equivalence of national measurement standards ».
- à l'IMGC, Turin (Italie), le 12 juin 1997, pour une réunion du Conseil scientifique.
- à l'OFMET, Wabern (Suisse), le 13 juin 1997, pour un exposé sur « Equivalence of national measurement standards ».
- à Londres (Royaume-Uni), le 30 juin 1997, pour une réunion du Paul Fund.
- à Grasse (France), les 1^{er} et 2 juillet 1997, pour une réunion du bureau du CIPM.
- à Pretoria (Afrique du Sud), du 27 au 29 août 1997, pour la célébration du 50^e anniversaire du National Metrology Laboratory du CSIR.
- à la PTB, Braunschweig (Allemagne), le 2 septembre 1997, pour un exposé intitulé « Metrology, its importance in today's world ».

D.A. Blackburn s'est rendu à Saint-Pétersbourg (Féd. de Russie), du 24 au 29 mai 1997, pour la conférence INEAM'97 et un exposé intitulé « The role of scientific journals in the monitoring of ecological change ».

1.2 Activités en liaison avec des organisations extérieures

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

1.3 Activités liées au travail des Comités consultatifs

T.J. Quinn a présidé par intérim le CCT jusqu'en septembre 1997.

D.A. Blackburn est secrétaire exécutif du CCU.

2 LONGUEURS (J.-M. Chartier)

2.1 Mesures de longueur : nanométrie

2.1.1 Diffractomètre interférométrique à laser : méthode des trois longueurs d'onde (L.F. Vitouchkine)

i) *Analyse théorique des incertitudes*

L'utilisation de la méthode des trois longueurs d'onde, pour déterminer le pas de réseaux, avait fait l'objet d'essais l'an passé avec notre diffractomètre interférométrique à laser. Elle a été validée cette année.

L'approche théorique montre que, pour un ensemble donné de trois longueurs d'onde (λ_0 , λ_1 , λ_2) et une incertitude relative donnée $\Delta D_x/D_x$ du pas du réseau, il est possible de calculer l'incertitude $\Delta p_{21}/p_{21}$ sur la détermination du rapport $p_{21} = p_2/p_1$ (p_1 et p_2 représentent, respectivement, la période des franges d'interférence mesurées aux longueurs d'onde λ_1 et λ_2 , λ_0 étant la longueur d'onde de référence utilisée pour aligner le diffractomètre). On en déduit le coefficient de sensibilité K_s défini par $K_s = (\Delta p_{21}/p_{21})/(\Delta D_x/D_x)$. Ainsi, pour $\Delta p_{21}/p_{21} = 10^{-3}$ et $D_x = 278$ nm, 310 nm, 392 nm et 501 nm, nous obtenons les incertitudes relatives $\Delta D_x/D_x = K_s^{-1} \cdot \Delta p_{21}/p_{21} = 9,8 \times 10^{-4}$, $3,7 \times 10^{-3}$, $1,64 \times 10^{-2}$ et $4,3 \times 10^{-2}$, respectivement.

Il s'ensuit que, pour la combinaison de longueurs d'onde $\lambda_0 = 496,507$ nm, $\lambda_1 = 487,986$ nm et $\lambda_2 = 501,717$ nm (laser à argon utilisé au BIPM), les pas de réseaux mesurés avec l'incertitude la plus faible sont situés dans le domaine de 270 nm à 320 nm. Pour des pas plus grands, on peut utiliser des diffractions d'ordre supérieur ou d'autres longueurs d'onde.

ii) *Mesures des réseaux de diffraction* (L.F. Vitouchkine, A. Zarka, C.I. Eom*)

Des modifications apportées au diffractomètre interférométrique à laser ont permis d'améliorer sa résolution optique. Des mesures de la période des franges d'interférence sont faites maintenant à l'aide d'une caméra à dispositif de couplage de charge (CCD) qui permet soit de sélectionner manuellement le centre des franges, soit d'utiliser un mode automatique à l'aide d'un logiciel. Trois règles périodiques de courte longueur ont fait l'objet de mesures préliminaires, l'une avec un espacement de 460 nm, appartenant au KRISS, et deux avec des espacements de 278 nm et de 392 nm, appartenant au BIPM.

Une nouvelle règle avec un espacement plus petit occupant une surface de 1 mm × 1 mm, au lieu de 5 mm × 5 mm comme précédemment, a été mise au point.

iii) *Collaboration avec les laboratoires nationaux* (L.F. Vitouchkine)

Des discussions ont eu lieu avec le NIST, la PTB et le VNIIM à propos d'éventuelles futures comparaisons clés en nanométrie. À titre d'essai préliminaire, le BIPM a envoyé deux réseaux à étalonner à chaque laboratoire.

2.1.2 Interférométrie laser pour les mesures de déplacement de l'ordre du nanomètre (L.F. Vitouchkine)

Il a été proposé d'utiliser, pour les interféromètres laser à déplacement, des cuves optiques à passages multiples fondées sur l'utilisation de trièdres rétro-réfléchissants disposés à l'opposé l'un de l'autre, avec des axes parallèles et des prismes à angle droit. Dans ces cuves, le faisceau incident entre dans la cuve parallèlement aux axes des rétro-réfléchisseurs mais en dehors du plan de ces axes. Nous avons réalisé une cuve simple dans laquelle le faisceau laser effectue 24 passages.

Il a aussi été proposé d'utiliser, pour l'interférométrie laser, des réflecteurs coniques dont le cône a un angle de 90°, à la place des trièdres rétro-réfléchisseurs. Des calculs préliminaires, qui décrivent la transformation de la section efficace du faisceau réfléchi par un réflecteur conique, ont été effectués pour différents angles entre le faisceau incident et l'axe optique du réflecteur. Deux réflecteurs coniques prototypes en aluminium ont été fabriqués à la PTB. Un dispositif expérimental, pour l'étude d'un interféromètre à laser à utiliser pour les mesures de déplacement, fondé sur l'utilisation de réflecteurs coniques est en construction au BIPM.

* Stagiaire du KRISS.

2.2 Lasers

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

Il est probable que la longueur d'onde de 532 nm, obtenue par doublage de fréquence de la radiation d'un laser à Nd:YAG à $\lambda \approx 1064$ nm, deviendra l'une des radiations les plus importantes pour la mise en pratique de la définition du mètre dans les cinq prochaines années. Il reste cependant à concevoir pratiquement l'étalon correspondant, optimisé pour diverses propriétés complémentaires, comme la facilité de transport et les performances (fiabilité, choix de la technique spectroscopique...).

Le BIPM acquiert de l'expérience à cette longueur d'onde de diverses manières. Notre premier système, construit à partir d'un laser du commerce à Nd:YAG à fréquence doublée utilisant un modulateur acousto-optique et un asservissement externe rapide, va bientôt faire l'objet d'essais préliminaires. Nous avons déjà enregistré des spectres de saturation de l'iode sans effet Doppler et un système d'asservissement électronique pour stabiliser la fréquence est en construction.

Il est aussi possible d'obtenir la radiation à 532 nm par doublage de fréquence dans une cavité résonante externe à la source de 1064 nm. Le groupe de J.L. Hall du JILA (Université du Colorado) a obtenu d'excellents résultats en utilisant cette technique : la stabilité de fréquence atteinte est de l'ordre de 5×10^{-14} en valeur relative pour une période d'échantillonnage de 1 s et elle atteint 1×10^{-14} pour une durée de 30 s. Le BIPM construit maintenant, en collaboration avec ce groupe, une version compacte et transportable de ce système, pour laquelle le doublage de la fréquence s'effectue dans une cavité semi-monolithique à onde stationnaire. Le BIPM construit aussi, en collaboration avec l'ILP (Féd. de Russie) un laser compact accordable à Nd:YAG à fréquence doublée.

Nous nous efforçons, dans la mesure du possible, d'utiliser pour la conception de ces systèmes des appareillages électroniques du commerce afin qu'ils soient plus faciles à copier par les laboratoires nationaux. Ce point est important, car il permet d'accélérer et d'étendre l'utilisation des étalons fondés sur cette radiation.

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

Le laser prototype asservi sur l'iode au moyen de la technique spectroscopique de transfert de modulation qui a été mis au point par E. Jaatinen (CSIRO) pen-

dant son stage au BIPM, a été comparé à un laser du BIPM équipé d'une cuve à iode externe et asservi au moyen de la technique du troisième harmonique. Les résultats montrent une stabilité de fréquence relative supérieure à 2×10^{-12} pour une durée d'échantillonnage de 140 s. La différence moyenne de fréquence entre les deux lasers asservis sur la même composante est de 12 kHz. Dans cette étude, les résultats sont limités par les performances du laser qui utilise la technique du troisième harmonique.

Presque tous les lasers construits avec des tubes de laser du commerce oscillent simultanément sur deux modes ayant la même polarisation. Il est ainsi difficile d'asservir ces lasers sur une composante particulière. Après plusieurs essais, nous avons résolu ce problème en construisant un système de sélection du mode fondé sur une cavité laser à trois miroirs. L'installation d'une cuve à iode de 10 cm entre le miroir de sortie et le miroir supplémentaire permet de détecter les composantes hyperfines, et ainsi d'asservir la fréquence du laser. Un laser très compact employant ce système est en cours de construction.

La collaboration avec les laboratoires nationaux se poursuit :

- La fréquence d'un laser TESA appartenant au CENAM a été étalonnée.
- Quelques comparaisons ont été effectuées entre l'ETCA (France), le CMI (Rép. tchèque) et le BIPM, en vue de vérifier la qualité des systèmes laser de ces laboratoires.

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

Les deux lasers portables BIPMP1 et BIPMP3, utilisés actuellement pour les comparaisons internationales en dehors du BIPM, ont été comparés au BIPM au laser stationnaire de référence BIPM4 avant et après la comparaison NORAMET qui a eu lieu en mars 1997.

Les résultats sont les suivants :

$$26 \text{ février } 1997 \quad f_{\text{BIPMP1}} - f_{\text{BIPM4}} = -1,9 \text{ kHz}, \quad u = 1,0 \text{ kHz}$$

$$f_{\text{BIPMP3}} - f_{\text{BIPM4}} = +4,0 \text{ kHz}, \quad u = 1,0 \text{ kHz}$$

$$19 \text{ mars } 1997 \quad f_{\text{BIPMP1}} - f_{\text{BIPM4}} = +0,3 \text{ kHz}, \quad u = 0,7 \text{ kHz}$$

$$f_{\text{BIPMP3}} - f_{\text{BIPM4}} = +2,6 \text{ kHz}, \quad u = 0,8 \text{ kHz}$$

où u , l'incertitude-type de la comparaison, est considérée comme égale à l'écart-type de la moyenne des valeurs (c'est-à-dire que u est égal à 1σ , l'incertitude de type A).

Cinq comparaisons bilatérales entre le BIPM et le BNM-INM, le CMI, le GUM, l'IPQ et le MRI, d'une durée de quelques jours, ont été réalisées au

BIPM d'octobre 1996 à avril 1997. Ces travaux ont été effectués à la demande des laboratoires afin de vérifier le fonctionnement de leur laser de référence après le changement d'éléments clés ou afin de faire des essais avec des systèmes nouvellement conçus.

Une comparaison internationale entre les laboratoires nationaux membres de NORAMET (CENAM, NIST, NIST/JILA, NRC) et le BIPM a eu lieu au CENAM (Mexique) du 4 au 15 mars 1997. Les résultats préliminaires montrent des différences de fréquence ($\Delta f = f_{\text{Laboratoire}} - f_{\text{BIPM}}$) entre les lasers de référence des laboratoires nationaux et le laser BIPM4 telles que $-7,3 \text{ kHz} < \Delta f < +5,9 \text{ kHz}$. Ces résultats confirment à nouveau le bien-fondé de l'incertitude-type composée ($1 \sigma = 12 \text{ kHz}$) donnée dans la mise en pratique de la définition du mètre.

Une autre comparaison internationale entre les laboratoires nationaux membres de l'APMP (KRIS, NIM, NRLM) et le BIPM a eu lieu du 7 au 18 juillet 1997 au NIM (Chine). Les résultats préliminaires montrent des différences de fréquence entre les lasers de ces laboratoires nationaux et le laser BIPM4 compatibles avec l'incertitude donnée dans la mise en pratique.

Enfin, la fréquence du laser asservi utilisé dans le gravimètre FG5 appartenant à l'Observatoire royal de Belgique a été étalonnée.

2.2.4 Lasers à diode à cavité étendue avec une cuve à iode interne à $\lambda \approx 633 \text{ nm}$ (A. Zarka, J.-M. Chartier)

Deux nouveaux lasers, appelés BIREL1-2 et BIREL1-3, ont été construits. Ils sont d'une conception similaire à celle de BIREL1 dont la structure longitudinale comprend trois barres d'invar. Nous appelons maintenant BIREL1 BIREL1-1. Un nouveau programme informatique permet de visualiser le troisième harmonique du spectre de l'iode et d'y asservir une radiation laser.

Des perfectionnements du mécanisme d'asservissement électronique de BIREL1-1 ont permis d'améliorer d'un ordre de grandeur la stabilité de sa fréquence. La meilleure valeur obtenue est de 3×10^{-12} en valeur relative pour une période d'échantillonnage de 80 s. La reproductibilité de la fréquence est maintenant meilleure que 1×10^{-10} en valeur relative, elle est principalement limitée par l'instabilité des décalages continus de l'asservissement électronique. Nous travaillons sur un autre programme informatique, avec un bus de données parallèle, qui est conçu pour être intégré à un système portable. Il accepte aussi les signaux de notre lambdamètre et permet de calculer la longueur d'onde du laser à diode à l'étude.

La construction de l'asservissement électronique de BIREL1-2 est presque terminée, seuls manquent le générateur et le démodulateur qui ont été conçus de façon telle que le système complet d'asservissement soit contenu dans un seul tiroir électronique. Les essais effectués avec un générateur et un démodulateur du commerce ont montré que les parties déjà existantes de l'asservissement fonctionnent bien, y compris l'amplificateur à haute tension qui a été très simplifié.

La longueur totale de BIREL1-3 est inférieure à celle de BIREL1-2. BIREL1-3 est équipé d'un laser à diode traité anti-reflet et ne possède pas de cuve à iode interne : il sera employé pour identifier des transitions particulières de l'iode par détection de l'absorption linéaire. À cet effet, nous avons établi une collaboration fructueuse avec M. Têtu de l'université Laval (Québec, Canada).

Un laser à diode peut osciller sur un domaine de longueurs d'onde étendu, aussi les systèmes associés doivent-ils être en mesure d'opérer sur le même domaine. C'est pourquoi nous mettons au point un système compact avec deux interféromètres Perot-Fabry, l'un ayant un domaine spectral libre de 25 GHz, pour l'analyse de la fréquence optique, et l'autre de 1,5 GHz pour identifier le mode d'oscillation et mesurer l'absorption linéaire du faisceau dans l'iode. Ce système comprend un système de battement de fréquences et un montage optique permet au faisceau du laser à diode d'être dévié vers un lambdamètre externe.

En ce qui concerne la collaboration avec les laboratoires nationaux, une réunion non-officielle, tenue au BIPM les 17 et 18 avril 1997, a permis aux spécialistes du DFM, de la PTB et du BIPM d'échanger des informations sur les différents systèmes utilisés dans leur laboratoire respectif. Ceci s'est avéré très utile et un programme suivi de réunions à venir a été prévu.

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

Nous continuons la mise au point de notre système portable : une cavité Perot-Fabry prototype contenant une cuve à rubidium a été construite à l'atelier du BIPM. Quelques changements mineurs devraient améliorer de façon significative la stabilité de la fréquence de ce dispositif. Nous avons aussi mis au point un nouveau capteur de lumière pour la détection du signal de fluorescence et avons profité de l'expérience acquise par nos collègues de la section

de radiométrie du BIPM lors de la construction du détecteur optique nécessaire à l'asservissement de la cavité.

Nous maintenons des liens étroits avec le laboratoire de M. Têtu (Université Laval, Canada). Une comparaison de nos lasers doit avoir lieu au printemps 1998 au Québec. Une détermination de la fréquence absolue des deux systèmes aura lieu au NRC (Canada) peu après.

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

La construction et l'étude de tubes de laser à He-Ne et de cuves à méthane se poursuit. Nous avons fabriqué quatre tubes de laser et deux cuves à méthane cette année. De plus, nous avons ouvert, modifié et réempli plusieurs tubes de laser. La pompe à diffusion d'huile de notre ancien système à vide a été remplacée par une pompe turbo-moléculaire. Maintenant nous possédons deux systèmes de pompage indépendants permettant de fabriquer plus rapidement les tubes de laser et les cuves à méthane.

Nous avons considérablement modifié l'installation pour les comparaisons de lasers par la méthode de battements de fréquences. Nous avons été contraints de changer les tubes à décharge de notre laser de référence B.3 et de notre laser esclave B.4. Notre troisième système de référence, VNIBI, a cessé de fonctionner ; nous avons donc construit un nouveau laser qui sera bientôt mis à l'essai. La mise au point d'un système portable, avec une cuve à méthane dans le résonateur de Perot-Fabry, se poursuit. Un nouveau programme d'acquisition et de traitement des données a été mis au point. Enfin, quelques améliorations ont aussi été apportées à l'asservissement de nos lasers de référence.

La fréquence absolue d'un laser portable appartenant à l'Institut Lebedev (Féd. de Russie) a été mesurée au BNM-LPTF du 30 octobre au 4 décembre 1996. Nous avons été invités à participer à cette expérience et la fréquence de notre laser de référence VB a aussi été mesurée : la fréquence ν_{VB} est de 88 376 181 601,85 kHz avec $u(\nu_{VB}) = 0,05$ kHz (où u est l'incertitude-type de type A). Cette valeur diffère peu de celle de 1993 ; la différence pourrait être en partie expliquée par le changement récent du tube à décharge du laser VB. Cette expérience était instructive, parce qu'elle nous a permis :

- de mesurer les fréquences absolues de deux étalons de fréquence optique avec la chaîne de fréquence du BNM-LPTF ;
- de confirmer en comparant directement les deux étalons par la méthode de battements de fréquences que la chaîne du BNM-LPTF fonctionne correctement ;

- de comparer les chaînes de fréquence du BNM-LPTF et de la PTB au moyen des mesures effectuées successivement dans ces deux laboratoires, à l'aide du même étalon portable appartenant à l'Institut Lebedev.

Le laser de l'Institut Lebedev a aussi été transporté au BIPM pour une comparaison qui a eu lieu du 5 au 11 décembre 1996. Au cours de cette expérience nous avons vérifié la répétabilité de la fréquence de notre laser VB. Compte tenu des performances excellentes du système laser portable de l'Institut Lebedev et afin de pouvoir participer pleinement aux futures comparaisons internationales, le BIPM a décidé d'acheter un système de ce type.

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

Le dispositif nécessaire pour mesurer la fréquence absolue d'un laser à He-Ne asservi sur l'iode à $\lambda \approx 633$ nm, par rapport à la somme des fréquences d'un laser à (He-Ne)/CH₄ à $\lambda \approx 3,39$ μ m et d'un laser à diode asservi sur le rubidium à $\lambda \approx 778$ nm, a été de nouveau utilisé au laboratoire Kastler-Brossel (ENS, France) cette année. Ces mesures, avec notre laser de référence (He-Ne)/CH₄ à $\lambda \approx 3,39$ μ m, VB, et le laser à diode asservi sur le rubidium à $\lambda \approx 778$ nm mis au point à l'ENS, et dont la fréquence a été récemment mesurée au BNM-LPTF, ont eu lieu du 17 au 29 octobre 1996. Malgré quelques problèmes expérimentaux, nous avons obtenu une valeur absolue pour la fréquence du laser de référence à (He-Ne)/I₂ de l'ENS compatible avec les déterminations précédentes et aussi démontré la faisabilité de cette chaîne de fréquence simple.

2.2.8 Cuves à iode (J.-M. Chartier, S. Picard, L.F. Vitouchkine)

Cette année dix-huit cuves saturées et sept cuves non saturées de 100 mm ont été remplies. D'autre part, le nombre des demandes augmente pour les cuves d'une longueur comprise entre 200 mm et 500 mm. Les fréquences de vingt-quatre cuves, dont six appartiennent au MRI (Finlande), ont été vérifiées.

Huit cuves appartenant au MRI ont été vérifiées par fluorescence induite par laser, en plus des quinze cuves récemment remplies.

Des cuves d'une épaisseur interne d'environ 50 μ m et des cuves contenant du verre poreux sont en construction après discussion avec la firme HELLMA.

2.2.9 Structure hyperfine (S. Picard)

Les programmes informatiques utilisés pour calculer la structure hyperfine ont servi cette année à simuler des spectres dans le domaine de fréquence où le

laser à diode à 633 nm résonne avec l'iode. Ils ont aussi servi à l'évaluation des résultats de la comparaison de lasers à argon de 1996. Des informations sur ces programmes ont été transmises à un certain nombre de laboratoires nationaux au cours de l'année.

2.3 Gravimétrie (L.F. Vitouchkine, J.-M. Chartier, L. Robertsson)

2.3.1 Gravimètre absolu FG5-108

Le gravimètre absolu du BIPM, FG5-108, a été réparé et modifié par la société Micro-g Solutions du 23 janvier au 20 mai 1997. Certaines pièces mécaniques ont été changées dans le cadre de l'entretien courant après environ 500 000 chutes de la masse d'essai. Un nouvel ordinateur personnel avec un disque dur de plus grande capacité a été installé, la pompe à vide ionique et son alimentation ont été remplacées, et l'alimentation générale à basse tension a été entièrement changée. Le gravimètre modifié et réparé a été vérifié au Table Mountain Observatory (États-Unis) en mars-avril 1997. Des essais préliminaires au BIPM montrent des dysfonctionnements mineurs actuellement à l'étude.

2.3.2 Comparaison internationale

Des mesures ont été faites sur le site du micro-réseau gravimétrique du BIPM en vue de préparer la comparaison internationale de gravimètres absolus (ICAG'97), qui doit avoir lieu au BIPM au mois de novembre 1997.

2.4 Publications, conférences et voyages : section des longueurs

2.4.1 Publications extérieures

1. POPESCU G.H., CHARTIER J.-M., CHARTIER A., Iodine-stabilized He-Ne laser at $\lambda \approx 633$ nm: design and international comparison, *Opt. Eng.*, 1996, **35**, 1348-1352.
2. PICARD S., RAZET A., EDWARDS C.S., RODRIGUEZ-LLORENTE F., Calculation of hyperfine structure constants of the $^{127}\text{I}_2$ R(39) 7-4 transition at 637 nm, *Metrologia*, 1996, **33**, 569-571.
3. RAZET A., PICARD S., A test of new empirical formulas for the prediction of hyperfine component frequencies in $^{127}\text{I}_2$, *Metrologia*, 1997, **34**, 181-186.
4. CHARTIER J.-M., CHARTIER A., International comparisons of He-Ne lasers stabilized with $^{127}\text{I}_2$ at $\lambda \approx 633$ nm (July 1993 to September 1995), Part I: General, *Metrologia*, 1997, **34**, 297-300.
5. STÅHLBERG B., IKONEN E., HALDIN J., HU J., AHOLA T., RISKI K., PENDRILL L., KÄRN U., HENNINGSEN J., SIMONSEN H., CHARTIER A., CHARTIER J.-M., International comparisons of He-Ne lasers stabilized with $^{127}\text{I}_2$ at

- $\lambda \approx 633$ nm (July 1993 to September 1995), Part II: Second comparison of Northern European lasers at $\lambda \approx 633$ nm, *Metrologia*, 1997, **34**, 301-307.
6. HU J., RISKI K., CHARTIER A., CHARTIER J.-M., PICARD S., Comparison of $^{127}\text{I}_2$ -stabilized He-Ne lasers at 633 nm between the MIKES and the BIPM, *Metrologia*, 1997, **34**, 417-419.
 7. ROBERTSSON L., GOEBEL R., PICARD S., VITUSHKIN L., Comparison of two wavelength reference laser systems at $\lambda \approx 515$ nm, stabilized by different methods, *Metrologia*, 1997, **34**, 495-501.
 8. PETRU F., LAZAR J., ČIP O., POPESCU G., CHARTIER J.-M., Frequency comparison of He-Ne/iodine lasers at $\lambda \approx 633$ nm between the NILPRP and the ISI, and traceability through the BIPM, *Metrologia*, 1997, **34**, 515-518.
 9. TOUHARI D., ACEF O., CLAIRON A., ZONDY J.-J., FELDER R., HILICO L., DE BEAUVOIR B., BIRABEN F., NEZ F., Frequency measurement of the $5\text{S}_{1/2}(F=3) - 5\text{D}_{5/2}(F=5)$ two-photon transition in rubidium, *Opt. Commun.*, 1997, **133**, 471-478.
 10. VITUSHKIN L.F., VITUSHKIN A.L., ROBERTSSON L., CHARTIER J.-M., Measurements of free fall acceleration in the gravimetric micronetwork of the BIPM, Sèvres, by FG5-108 absolute gravimeter, *Izmeritel'naya Teknika*, 1997, **3**, 64-66 (en russe).
 11. ZARKA A., CHARTIER J.-M., ÅMAN J., JAATINEN E., Intracavity iodine cell spectroscopy with an extended cavity laser diode around 633 nm, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1997, **46**, 145-148.

2.4.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

J.-M. Chartier s'est rendu :

- à Courbevoie (France), le 18 septembre et le 7 novembre 1996, pour des réunions sur la métrologie dimensionnelle et les forces du groupe Métrologie d'Ile-de-France.
- au CEM, Madrid (Espagne), les 14 et 15 octobre 1996, pour une réunion d'EUROMET (longueurs).
- à l'ETCA, Arcueil (France), le 17 octobre 1996, pour comparer deux lasers à $\lambda \approx 543,5$ nm.
- au GUM, Varsovie (Pologne), du 9 au 11 décembre 1996, pour un exposé sur « The BIPM and the definition of the metre ».
- au CENAM, Queretaro (Mexique), du 4 au 15 mars 1997, pour participer à la comparaison NORAMET de lasers asservis à $\lambda \approx 633$ nm.
- au NIM, Beijing (Chine), du 7 au 18 juillet 1997, pour participer à la comparaison internationale de lasers asservis à $\lambda \approx 633$ nm.

J.-M. Chartier et L.F. Vitouchkine se sont rendus :

- au DFM, Lyngby (Danemark), les 21 et 22 octobre 1996, pour le 4^e Symposium international d'IMEKO.
- au DFM, Lyngby (Danemark), le 23 octobre 1996, pour une réunion du Groupe de travail du CCDM sur la métrologie dimensionnelle et un exposé « Report from the BIPM ».
- à Mulhouse (France), le 25 février 1997, pour visiter la compagnie HELMA.

R. Felder s'est rendu :

- au laboratoire du CNRS de Verrières-le-Buisson (France), le 4 novembre 1996.
- à la société Fichou, Fresnes (France), le 10 janvier 1997.
- au laboratoire Kastler-Brossel, Paris (France), le 16 janvier 1997.
- au BNM-LPTE, Paris (France), le 16 janvier 1997.

S. Picard s'est rendue au CEA, Saclay (France), le 4 février 1997.

L. Robertsson a séjourné au JILA, Boulder (États-Unis), d'août 1996 à août 1997, comme stagiaire dans l'équipe de J.L. Hall et s'est consacré principalement à des expériences sur le laser Nd:YAG et sa fréquence doublée.

L.F. Vitouchkine s'est rendu :

- à Hambourg (Allemagne), du 8 au 13 septembre 1996, pour assister à CLEO-Europe/EQEC'96.
- à Kharkov (Ukraine), du 14 au 17 octobre 1996, pour une session scientifique de l'Association d'État scientifique et industrielle sur la métrologie.
- à Genève (Suisse), le 22 novembre 1996, pour une réunion du Comité technique ALICE (A Large Ion Collider Experiment) au CERN.
- à la PTB, Braunschweig (Allemagne), du 12 au 14 février 1997, pour un exposé sur « Laser interferometric diffractometry for measurements of the spacings of diffraction gratings ».
- au NIST, Gaithersburg (États-Unis), les 27 et 28 février 1997.
- à Saint-Augustine (États-Unis), du 3 au 5 mars 1997, pour le Chapman Microgal Gravimetry Meeting.
- à Boulder (États-Unis), du 7 au 25 mars 1997, pour des essais du gravimètre absolu FG5-108 du BIPM après réparation et modification.
- à Braunschweig (Allemagne), du 26 au 28 mai 1997, pour le 9^e International Precision Engineering Seminar et la 4^e Conference on Ultraprecision Manufacturing Engineering.
- à l'Institut de physique des lasers de l'Institut d'optique d'État S.I. Vavilov, Saint-Petersbourg (Féd. de Russie), du 15 juin au 2 juillet 1997, pour

participer à des recherches sur le laser Nd:YAG à 532 nm à fréquence doublée dans un cristal de KTP.

- au National Centre for Metrology and Standardization, Sofia (Bulgarie), le 7 août 1997, pour une conférence sur « Measurements of periodic line scales in nanometre range ».

A. Zarka s'est rendu à :

- l'université de Lille (France), le 13 février 1997.
- l'IGM, Bruxelles (Belgique), du 5 au 8 mars 1997.

2.5 Activités liées au travail des Comités consultatifs

J.-M. Chartier est secrétaire exécutif du CCDM et membre, avec L.F. Vitouchkine, du Groupe de travail du CCDM sur la métrologie dimensionnelle.

2.6 Visiteurs de la section des longueurs

- M. A. Castillo (CENAM), du 6 au 19 octobre 1996.
- M. M. Viliesid (CENAM), du 10 au 17 octobre 1996.
- M. A. Michel (ETCA), les 10 et 11 octobre 1996.
- MM. I. Fujima et K. Minoshima (NRLM), le 16 octobre 1996.
- M. G. Popescu (NILPRP), le 25 octobre 1996.
- M. J.G. Meilhac (MFQ, Ile-de-France, France), le 25 octobre 1996.
- M. Xu Gan (PSB), le 28 octobre 1996.
- M. P. Luc (Laboratoire Aimé Cotton, France), le 29 octobre 1996.
- MM. J. Blabla, P. Balling et P. Smydke (CMI), du 29 octobre au 7 novembre 1996.
- Mr V. Navratil (SMU), du 4 au 16 novembre 1996.
- M. N. Ito (NRLM), le 12 novembre 1996.
- MM. Wang Yi Giu (Université de Beijing, Chine), le 4 décembre 1996.
- MM. M. Gubin et S. Shelkovnikov (Institut Lebedev, Féd. de Russie), du 4 au 11 décembre 1996.
- MM. K. Riski (MRI) et Jianpei Hu (HUT), du 12 au 19 janvier 1997.
- M. F. Saraiva (IPQ), les 23 et 24 janvier 1997.
- M. Y. Millerioux (BNM-INM), les 24 et 27 janvier 1997.
- M. M. Têtu (Université Laval, Canada), le 24 janvier et le 28 mars 1997.
- M. Jie Xu (NIM), le 27 janvier 1997.
- M. O. Francis (ORB), du 4 au 18 février 1997.
- M. Plombin (Dumas, France), les 21 février, 26 mars et 15 mai 1997.
- M. D. Thierry (Université Paris VI, France), du 2 mars au 5 septembre 1997.

- MM. Guan Shenmin (BEST) et Zheng Qi (China National Petroleum Corporation, Chine), le 14 mars 1997.
- M. O. Becker (École supérieure d'électricité, Gif-sur-Yvette, France), du 1^{er} avril au 31 juillet 1997.
- MM. A. Abou-Zeid et F. Imkenberg (PTB), les 17 et 18 avril 1997.
- M. H. Simonsen (DFM), les 17 et 18 avril 1997.
- MM. Z. Ramotowski et J. Walczuk (GUM), du 21 avril au 2 mai 1997.
- M. E. Ikonen (MRI), le 28 avril 1997.
- M. D.G. Sporea (NILPRP), le 29 avril 1997.
- M. Cheon Il Eom (KRISS), du 5 mai au 4 juin 1997.
- M. H. Elandaloussie (BNM-INM), du 20 juin au 4 juillet 1997.
- MM. Huang Jingzhao, Liang Bingpei, Zhu Wenwet, Wang Hao, Yang Yanzhang et Chen Nengzhuo (Institut métrologique de Shenzhen, Chine), le 15 septembre 1997.

3 MASSE ET GRANDEURS APPARENTÉES (R.S. Davis)

La mission principale de la section des masses est d'effectuer pour les laboratoires des étalonnages de grande exactitude d'étalons de masse de 1 kg par rapport au prototype du kilogramme. La section conserve à cet effet des étalons secondaires fiables qui sont soigneusement comparés au prototype international du kilogramme. De plus, elle maintient et met au point des balances de portée un kilogramme à un haut niveau de perfection, et a entrepris de vérifier les principes de la métrologie des masses sur lesquels nos études sont fondées.

3.1 Étalons en acier inoxydable (R.S. Davis)

Tous les participants à la comparaison internationale d'étalons de 1 kg en acier inoxydable à l'exception de l'un d'entre eux ont terminé leurs mesures. Une paire d'étalons a circulé dans chacun des deux groupes de laboratoires pendant la comparaison dont le BIPM était le laboratoire pilote. De nombreux changements ont dû être apportés à l'organisation de la comparaison dont la durée s'est prolongée. La participation finale est la suivante :

Groupe 1	Groupe 2
BIPM	BIPM
NMi-VSL (Pays-Bas)	NIST (États-Unis)
NPL (Royaume-Uni)	NRC (Canada)
BIPM	<u>NRLM (Japon)</u>
VNIIM (Féd. de Russie)	BIPM
BIPM	CSIRO (Australie)
PTB (Allemagne)	BIPM
<u>SMU (Slovaquie)</u>	NIM (Chine)
BIPM	BIPM
KRISS (Rép. de Corée)	<u>IMGC (Italie)</u>
BIPM	BIPM
<u>BNM-INM (France)</u>	<i>CENAM (Mexique)</i>
<i>BIPM</i>	<i>BIPM</i>

Les noms en italique indiquent les laboratoires dont les mesures ne sont pas terminées. Les noms soulignés indiquent que le BIPM n'a pas encore reçu le rapport final, bien que les mesures soient terminées. La stabilité des étalons voyageurs est satisfaisante.

Des ré-étalonnages d'étalons de masse de 1 kg en acier inoxydable ont été effectués pour :

- *Mettler-Toledo AG (Greifensee, Suisse)* à la demande de l'*OFMET (Suisse)* ;
- le Bureau fédéral des mesures et métaux précieux (Yougoslavie).

Deux étalons de masse de 1 kg en acier inoxydable ont été étalonnés pour le CMI (Rép. tchèque).

Enfin, nous avons étudié les propriétés magnétiques de quatre étalons en acier inoxydable de 200 g appartenant au NIM (Chine).

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

La nouvelle balance à suspensions flexibles a été soumise à des essais de mise en service. Actuellement, l'écart-type d'une seule mesure de différence de masse est inférieur à 0,2 μg et la stabilité à plus long terme des mesures est meilleure que 0,5 μg pour une durée de 4 heures. Il semble que ces limites sont principalement dues à la convection de l'air à l'intérieur de l'enceinte de la balance et aux imperfections mécaniques du fléau et des suspensions flexibles. Un nouveau fléau et de nouvelles suspensions ont donc été fabriqués et une enceinte intérieure a été installée de manière à réduire la convection indésirable de l'air. De plus, la position du fléau peut être repérée avec une plus grande précision : la sensibilité du détecteur est maintenant de 2 mrad/V, et le bruit observé pour la position du fléau est de 10^{-8} radian pour des durées de 3 minutes. Le signal émis par le détecteur est utilisé pour asservir la position du fléau.

Nous envisageons d'étudier la stabilité des masses et les effets de surface d'objets en mono-cristal de silicium semblables à ceux utilisés lors des récentes déterminations de la constante d'Avogadro, quand les réglages finaux de la balance seront terminés.

3.3 **La balance du watt du NIST** (A. Picard)

Le Comité international a demandé aux laboratoires de poursuivre les recherches expérimentales entreprises afin de contrôler la stabilité de la masse du prototype international du kilogramme (Recommandation 4, CI-1993). Une

de ces méthodes est celle dite de la « balance du watt ». Pour permettre au BIPM d'acquérir des connaissances de première main sur les détails de l'expérience, A. Picard a travaillé pendant un an au NIST (Gaithersburg, États-Unis) avec l'équipe qui met au point cette méthode [2, 3]. Ses principales contributions à la balance du watt du NIST sont les suivantes :

- amélioration de l'analyse des données en temps réel ;
- élimination par asservissement des mouvements indésirables de l'appareil (l'incertitude occasionnée par ces mouvements a été réduite d'un facteur 20) ;
- conception d'un caisson à vide amagnétique pour cette expérience (il devrait être installé en septembre 1997) ;
- conception et essais d'une « balance double » fondée sur des suspensions flexibles (le nouveau système a été essayé et remplacera la balance à couteaux actuellement utilisée ; nous espérons ainsi éliminer la plupart des problèmes occasionnés par le comportement imparfait des couteaux).

3.4 Balance à torsion pour la mesure de la constante gravitationnelle, G (T.J. Quinn, R.S. Davis, J.W. Chung*, S. Richman**)

Nous avons mis au point une nouvelle balance de torsion prototype pour la mesure de la constante gravitationnelle de Newton, G [5]. L'élément servant à la torsion est un ruban en cuivre-béryllium de 30 μm d'épaisseur, d'une largeur de 1,25 mm et d'une longueur de 80 mm. Nous avons montré l'an passé qu'en soumettant ce ruban aux deux-tiers de la contrainte maximale, la constante de torsion ne varie pratiquement plus en fonction des propriétés du matériau dans lequel est fait le ruban mais presque uniquement en fonction de la charge [1] ; M. J.W. Chung poursuit ces travaux. Le ruban se comporte donc comme une suspension presque sans perte et présente une dérive de zéro négligeable. Pour la mesure de G , un disque est suspendu au ruban et quatre masses d'essai de 0,5 kg sont placées de manière symétrique sur ce disque. Quatre masses « source » de 10 kg sont placées de manière symétrique sur un carrousel autour de la balance de torsion. En faisant tourner le carrousel avec un angle de 45°, on peut appliquer à la balance une torsion gravitationnelle d'environ $2 \times 10^{-9} \text{ N} \cdot \text{m}$. Cette torsion est de trois ordres de grandeur supérieure à la torsion gravitationnelle généralement employée dans les expériences de ce type. Les résultats obtenus avec la balance de torsion prototype nous confortent dans nos prévisions quant au comportement de la suspension flexible. Nous pensons que certaines incohérences dans les diverses mesures de G , de

* Stagiaire du KRISS.

** Chercheur associé.

l'ordre de 0,6 %, proviennent du fait que le rapport entre le signal gravitationnel et les perturbations non-gravitationnelles est souvent trop faible. Le travail se poursuit afin de construire un système pour mesurer G avec une incertitude relative inférieure à 10^{-3} ; M. S. Richman met au point un appareil destiné à la mesure de G dont l'incertitude relative est meilleure que 1×10^{-3} .

3.5 Prototypes en platine iridié de 1 kg (R.S. Davis, T.J. Quinn)

Le prototype n° 53, appartenant aux Pays-Bas, a été étalonné en janvier 1997. On a constaté que sa masse avait augmenté de 44 μg depuis la troisième vérification périodique des étalons nationaux du kilogramme, avant nettoyage-lavage au BIPM. Le NMi-VSL (Delft) avait pressenti cette augmentation inhabituelle, et avait donc demandé ce ré-étalonnage. Après trois nettoyages-lavages successifs selon la méthode du BIPM, la masse du prototype n° 53 était encore supérieure de 16 μg à la masse constatée pendant la troisième vérification. Ni l'augmentation de masse inhabituelle ni sa résistance au nettoyage-lavage n'ont pu être expliquées.

Les prototypes n° 81 et n° 82 sont provisoirement considérés comme achevés ; ils sont actuellement au NPL où ils servent à des études dans le vide.

Nous espérons la livraison au printemps 1998 d'un nouveau tour à outil de diamant pour usiner les prototypes en platine iridié. Ce système sera entièrement automatisé et remplacera le tour que nous utilisons actuellement et qui n'est plus adapté à nos besoins. Le système est conçu pour nous par M. S. Ueno de l'Institut de recherche technique de la Japan Society for the Promotion of Machine Industry et il nous est offert par le Gouvernement du Japon.

3.6 Nouvelle balance hydrostatique (R.S. Davis)

La balance hydrostatique actuellement utilisée pour déterminer la masse volumique d'étalons de masse date de plus de vingt ans et est d'une conception ancienne. Un programme est en cours pour la remplacer par une balance moderne, automatisée, qui peut utiliser, comme étalon de masse volumique de référence, l'eau ou un solide. Un algorithme de mesure simple pour ce nouveau système a été mis au point avec l'aide de Mme Z.J. Jabbour*. Plus récemment, M. R. Spurný** nous a aidé à mettre au point la conception détaillée et les plans de fabrication de l'appareil. L'assemblage de l'appareil est prévu pour octobre 1997, après quoi on procédera à des essais.

* Stagiaire du NIST.

** Stagiaire du SMU.

3.7 Publications, conférences et voyages : section des masses

3.7.1 Publications extérieures

1. QUINN T.J., DAVIS R.S., SPEAKE C.C., BROWN L.M., The restoring torque and damping in wide Cu-Be torsion strips, *Phys. Lett.*, 1997, **A228**, 36-42.
2. STEINER R.L., GILLESPIE A.D., FUJII K.-I., WILLIAMS E.R., NEWELL D.B., PICARD A., STENBAKKEN G.N., OLSEN P.T., The NIST watt balance: Progress toward monitoring the kilogram, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1997, **46**, 601-604.
3. GILLESPIE A.D., FUJII K.-I., NEWELL D.B., OLSEN P.T., PICARD A., STEINER R.L., STENBAKKEN G.N., WILLIAMS E.R., Alignment uncertainties of the NIST watt experiment, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1997, **46**, 605-608.
4. ARMITAGE D., DAVIS R., GLÄSER M., PENDRILL L., European comparison of air density determination with buoyancy artefacts, *Proc. XIV IMEKO World Congress*, 1997, **III**, 37-42.
5. QUINN T.J., SPEAKE C.C., DAVIS R.S., Novel torsion balance for the measurement of the Newtonian gravitational constant, *Metrologia*, 1997, **34**, 245-249.

3.7.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

R.S. Davis s'est rendu :

- à Greifensee (Suisse), le 2 décembre 1996, avec M.-J. Coarasa, pour une visite de la société Mettler-Toledo AG.
- au NMi-VSL, Delft (Pays-Bas), du 3 au 7 février 1997, pour une réunion de spécialistes des masses et grandeurs apparentées d'EUROMET.

A. Picard s'est rendu au NIST, Gaithersburg (États-Unis), du 14 juillet 1995 au 14 juillet 1996 et du 14 avril au 9 mai 1997, pour collaborer à l'expérience sur la balance du watt du NIST.

3.8 Activités liées au travail des Comités consultatifs

R.S. Davis est secrétaire exécutif du CCM et du CCQM.

3.9 Visiteurs de la section des masses

- M. C. Sutton (IRL), le 19 février 1997.
- M. W. Beer (OFMET), le 12 mars 1997.
- M. R. Spurný (SMU), du 3 au 29 mars et du 5 au 30 mai 1997.
- M. J.W. Chung (KRISS), à dater du 26 mars 1997 pour une période d'un an.
- M. W. Bich (IMGC), le 23 mai 1997.
- M. J.-Y. Do (KRISS), le 30 mai 1997.
- M. A. Ooiwa (NRLM), le 6 juin 1997.

4 TEMPS (C. Thomas)

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

Les échelles de temps de référence TAI et UTC ont été régulièrement établies et publiées chaque mois dans la *Circulaire T*. Les résultats définitifs de l'année 1996 sont disponibles depuis le 22 février 1997 sous la forme de fichiers informatiques accessibles par le réseau Internet, dans le « FTP anonyme » de la section du temps du BIPM. Les volumes imprimés du *Rapport annuel de la section du temps du BIPM* pour 1996 (volume 9) ont été distribués en avril 1997.

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

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

4.2.1 Stabilité de l'EAL

Depuis janvier 1996, le TAI et l'UTC sont accessibles aux dates MJD (Jour Julien modifié) se terminant en 4 et 9. Ceci correspond, pour les échelles de temps de référence, à une période de révision de 5 jours au lieu de 10 jours précédemment. Le remplacement généralisé des anciennes horloges commerciales par les nouvelles HP 5071A se poursuit et s'accompagne d'une amélioration de la stabilité de l'échelle atomique libre EAL, première étape du calcul du TAI. La stabilité à moyen terme de l'EAL est estimée, au moyen de l'écart-type d'Allan relatif σ_y , à $1,3 \times 10^{-15}$ pour des moyennes calculées sur 40 jours. Cela permet de mieux prédire l'UTC sur des durées d'extrapolation de 1 à 2 mois. Les instituts responsables de la distribution d'échelles de temps produites en temps réel considèrent cela comme l'une des qualités fondamentales de l'échelle.

Il se peut que l'algorithme de stabilité qui produit l'EAL ait besoin d'être revu afin d'améliorer encore ces résultats. Dans ce but, nous poursuivons différentes études, en utilisant les données réelles rassemblées au BIPM, afin de montrer comment l'utilisation simultanée d'une limite supérieure imposée à la contribution relative des horloges, plutôt qu'à leur poids absolu, et d'un traitement des données par période de un mois, plutôt que de deux mois, pourrait encore améliorer la stabilité de l'EAL. Le BIPM a l'intention de rédiger un rapport à propos de ces études et de l'adresser aux membres du Groupe de travail du CCDS sur le TAI, en proposant d'implanter ces changements dans le logiciel dès janvier 1998.

4.2.2 Exactitude du TAI

L'exactitude du TAI est caractérisée par les estimations de la différence relative, et de son incertitude, entre la durée de l'intervalle d'échelle du TAI et la seconde du SI telle qu'elle est produite, sur le géoïde en rotation, par les étalons primaires de fréquence. Depuis juillet 1996, trois étalons primaires de fréquence ont fourni des mesures individuelles de la fréquence du TAI. Il s'agit de :

- NIST-7, qui est l'étalon primaire à pompage optique développé au NIST, Boulder. Cet étalon n'a délivré que deux mesures de la fréquence du TAI durant la période considérée dans ce rapport. Il s'agit de moyennes durant 10 jours en décembre 1996 et en juin 1997. L'incertitude-type de type B de NIST-7 est de 7×10^{-15} pour ces mesures particulières (1σ).
- PTB CS2 et PTB CS3, qui sont des étalons de fréquence classiques fonctionnant de plus de manière continue, comme des horloges, à la PTB. La fréquence moyenne du TAI est mesurée par ces étalons durant des périodes successives de 2 mois ; ils présentent des incertitudes-types de type B respectivement égales à $1,5 \times 10^{-14}$ et $1,4 \times 10^{-14}$ (1σ).

La fréquence de PTB CS3 a été affectée de sauts importants en septembre 1996 (environ 3×10^{-14}) et en mars 1997 (environ $1,5 \times 10^{-14}$), si bien que les résultats fournis par cet étalon ne sont pas encore utilisés. De plus, la fontaine à césium LPTF-FO1, mise au point au BNM-LPTF et dont l'incertitude de type B est de 2×10^{-15} , n'a fourni aucune nouvelle mesure depuis mai 1996. Il s'ensuit que de juillet 1996 à septembre 1997, l'estimation de l'exactitude du TAI n'est pratiquement fondée que sur deux étalons primaires de fréquence, NIST-7 et PTB CS2. Cette situation est la pire que nous ayons connue depuis plusieurs années : en 1994 et 1995 nous disposions de cinq étalons primaires de fréquence très exacts (ceux cités plus haut et PTB CS1).

Le traitement global des mesures individuelles fournies par les étalons primaires [6] conduit à une différence relative, entre la durée de l'intervalle d'échelle du TAI et la seconde du SI sur le géoïde en rotation, estimée à $2,0 \times 10^{-14}$, avec une incertitude de $1,0 \times 10^{-14}$, pour juillet-août 1997. Cet écart est égal à celui qu'avait introduit, en 1995, l'application uniforme de la correction pour le décalage de fréquence dû au rayonnement du corps noir, écart pour lequel nous avons mis immédiatement en œuvre un processus de compensation qui est toujours en service (accumulation de corrections de pilotage de fréquence, chacune d'amplitude relative 1×10^{-15} , appliquées à des dates distantes de 60 jours). Les résultats actuels montrent que le processus appliqué n'a fait que compenser la dérive naturelle de fréquence de l'échelle et qu'il convient donc de le renforcer, sans toutefois altérer de façon significative la stabilité à moyen terme de l'échelle. En conséquence, l'amplitude relative des corrections de pilotage bimestrielles a été portée à 2×10^{-15} depuis le mois de mai 1997.

Le tout nouveau Groupe de travail du CCDS sur l'expression des incertitudes dans les étalons primaires de fréquence a commencé certains travaux. Le but en est une meilleure compréhension entre les laboratoires qui évaluent l'exactitude de leurs étalons primaires de fréquence et le BIPM qui utilise les mesures fournies par ces étalons. Les premiers problèmes à résoudre concernent le choix de la durée sur laquelle doivent porter les moyennes des mesures et la classification des différentes composantes de l'incertitude selon les types A et B suivant les recommandations du *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure* de l'ISO.

4.3 Liasons horaires (J. Azoubib, W. Lewandowski, J. Nawrocki*, G. Petit, C. Thomas)

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

4.3.1 Global Positioning System (GPS)

Le BIPM continue à produire, deux fois par an, des programmes internationaux de vues simultanées du GPS. Les programmes n° 28 et n° 29 ont été

* Stagiaire de l'AOS (Pologne).

implantés dans les récepteurs du temps du GPS les 3 janvier et 1^{er} octobre 1997. La récolte et le traitement des données brutes du GPS sont effectués régulièrement selon des procédés maintenant bien connus. Le BIPM utilise un réseau international de liaisons par le GPS qui est constitué de deux liens à longue distance, entre le NIST et l'OP et entre le CRL et l'OP, complétés par des réseaux locaux en étoile à l'échelle des continents. Pour les comparaisons à longue distance, les données sont corrigées à l'aide des mesures ionosphériques prises sur place et des éphémérides précises des satellites produites après coup. L'utilisation exclusive de vues simultanées strictes permet d'éliminer en majeure partie les effets provenant de la dégradation appliquée aux signaux du GPS pour en assurer l'accès sélectif.

Le BIPM publie aussi, dans la *Circulaire T*, une évaluation des différences de temps quotidiennes [*UTC – temps du GPS*]. Ces différences sont obtenues en lissant les données, collectées à l'OP, d'une sélection de satellites qui ont une élévation supérieure à 30°. Les écarts-types journaliers sont de l'ordre de 10 ns, car l'effet de la dégradation n'est pas complètement éliminé dans ce traitement.

Une part importante de nos activités courantes consiste en la vérification des retards internes différentiels entre les récepteurs du temps du GPS fonctionnant de manière régulière dans les laboratoires qui participent au TAI, ou, sur demande spéciale, dans d'autres laboratoires. D'août à novembre 1996, les équipements de réception du temps du GPS, en fonctionnement au CRL et dans les principaux laboratoires de temps australiens et néo-zélandais, ont été étalonnés de manière différentielle par rapport au récepteur de l'OP [21]. Une nouvelle campagne d'étalonnage différentiel des récepteurs du temps du GPS, fonctionnant à l'OP et dans les laboratoires européens équipés de stations à deux voies, a été réalisée de juin à août 1997 [23].

Des comparaisons de temps et de fréquences peuvent aussi être réalisées en utilisant des mesures de la phase des deux fréquences porteuses des signaux émis par les satellites du GPS. L'incertitude attendue est de l'ordre de 10^{-15} pour les comparaisons de fréquences moyennes sur une durée d'un jour. Le récepteur Allen Osborne Associates TTR-4P qui est en fonctionnement au BIPM délivre ce genre de données. Une première expérience utilisant ce récepteur et d'autres récepteurs similaires, a révélé les possibilités très séduisantes de cette technique appliquée aux comparaisons de fréquences ; elle a aussi montré que ces possibilités sont limitées par la sensibilité du matériel aux changements des conditions ambiantes [7]. Nous avons récemment acheté un récepteur du type Ashtech Z12-T, qui devrait être mieux adapté au travail

de haut niveau métrologique et nous commençons à établir des contacts avec d'autres laboratoires équipés de récepteurs du même type. Nous pensons être en mesure de démontrer les performances de cette technique, et ensuite de l'appliquer aux comparaisons d'étalons primaires de fréquence.

Les directives techniques agréées en 1993 pour unifier les logiciels utilisés par les récepteurs du temps du GPS sont maintenant largement mises en œuvre. En mai 1997, plus de la moitié des laboratoires de temps participant au TAI fournissaient des données organisées selon le nouveau format. Dans le cadre du Sous-groupe de travail du CCDS sur la normalisation des comparaisons d'horloges utilisant le GPS et le GLONASS, le BIPM est impliqué dans des travaux de recherche visant à réduire la sensibilité à la température extérieure de plusieurs types de récepteurs en fonctionnement de routine. Le BIPM a construit trois enceintes à température régulée pour protéger les antennes ; nous avons pu montrer qu'il en résulte une amélioration des données de comparaison d'horloges [8, 9]. De plus, l'un des récepteurs du BIPM de type 3S Navigation va bientôt être équipé d'une antenne thermo-régulée du commerce.

Le BIPM étudie aussi les récepteurs à canaux multiples : un logiciel qui tient compte de toutes les normes agréées pour les comparaisons d'horloges à haute exactitude est en cours de mise au point pour l'un d'entre eux, le récepteur de type Motorola Oncore à 8 canaux [10].

4.3.2 Global Navigation Satellite System (GLONASS)

Le BIPM produit, deux fois par an, des programmes internationaux de vues simultanées du GLONASS. Les programmes n° 3 et n° 4 ont été implantés dans les récepteurs du temps du GLONASS les 3 janvier et 1^{er} octobre 1997. Les données brutes du GLONASS récoltées dans huit laboratoires de temps sont étudiées au BIPM, mais ne sont pas encore utilisées pour le calcul de routine du TAI.

Depuis janvier 1997, le BIPM publie, dans la *Circulaire T*, une évaluation des différences de temps quotidiennes [$UTC - \text{temps du GLONASS}$]. Ces différences sont obtenues en lissant les données, collectées au NMi-VSL, d'une sélection de satellites à haute élévation. Les écarts-types journaliers sont de l'ordre de 5 ns et donc plus faibles que ceux obtenus dans le cas du GPS, principalement parce que les signaux du GLONASS ne sont pas affectés d'une dégradation intentionnelle comparable à celle qui est appliquée au GPS pour cause d'accès sélectif. Cependant l'incertitude-type composée des différences de temps quotidiennes [$UTC - \text{temps du GLONASS}$] n'est pas meilleure que

quelques centaines de nanosecondes car on ne dispose pas de récepteurs du temps du GLONASS qui soient étalonnés de manière absolue.

Le BIPM est équipé de deux récepteurs du temps du GLONASS commercialisés par la compagnie 3S Navigation. L'un a deux canaux, travaille sur une seule fréquence des signaux du GLONASS et utilise le code C/A. L'autre est un récepteur mixte du GPS et du GLONASS et possède des canaux multiples : deux canaux pour la réception des deux fréquences des signaux du GLONASS avec utilisation du code P, et douze autres canaux pour la réception d'une seule fréquence des signaux du GPS ou du GLONASS avec utilisation du code C/A. Les résultats provenant de ces récepteurs permettent d'entreprendre des travaux de recherche dans le domaine des comparaisons internationales d'horloges effectuées à l'aide des signaux du GPS et du GLONASS observés sur un seul canal ou simultanément [11, 12]. Une étude récente a montré que l'on obtient un gain en stabilité, pour des durées moyennes plus petites que 10^4 s, quand on observe simultanément les satellites du GPS et du GLONASS à l'aide d'un récepteur présentant de multiples canaux, plutôt que les satellites du GPS seul à l'aide de récepteurs n'ayant qu'un seul canal [13].

Dans le cadre du Sous-groupe de travail du CCDS sur la normalisation des comparaisons d'horloges utilisant le GPS et le GLONASS, le BIPM a contribué à adapter le format normalisé des données du GPS au cas de la réception de l'une ou des deux fréquences émises par les satellites d'un système unique ou du système mixte, et avec utilisation de l'un ou l'autre code [14].

4.3.3 Comparaisons horaires par aller et retour

Le Groupe de travail du CCDS sur les comparaisons horaires par aller et retour sur satellite s'est réuni pour la 4^e fois à Turin (Italie), les 3 et 4 octobre 1996. De plus, une réunion plus technique des représentants des stations européennes actives dans ce domaine a eu lieu le 5 mars 1997 à Neuchâtel (Suisse), pendant le 11^e EFTF. Lors de ces réunions, on a discuté principalement de la préparation à un fonctionnement de routine, des problèmes d'étalonnage des stations, et du nouveau format des données. Des sessions régulières de comparaisons d'horloges par aller et retour sur le satellite INTELSAT 706, dont l'utilisation n'est plus gratuite, sont effectuées depuis le 20 janvier 1997. Les premiers mois de fonctionnement sont destinés à effectuer un certain nombre d'essais. Le BIPM participe à l'étalonnage des liaisons horaires par aller et retour, en comparant les résultats avec ceux obtenus par la technique des vues simultanées des satellites du GPS.

4.4 Application de la relativité générale à la métrologie du temps

(G. Petit, C. Thomas, P. Wolf)

Un résumé des travaux de recherche effectués depuis quatre ans à la section du temps du BIPM et concernant la relativité générale et la métrologie du temps a été publié sous la forme d'une thèse de doctorat rédigée par P. Wolf. Ce travail a été présenté et accepté pour le diplôme de doctorat au Queen Mary and Westfield College (Université de Londres) le 30 mars 1997 [15]. Ce texte est aussi publié en tant que *Monographie* du BIPM [22].

Un nouveau test concernant le second postulat de la relativité restreinte (l'universalité de la vitesse de la lumière) a été réalisé en utilisant des résultats de comparaisons d'horloges, entre des masers à hydrogène sur la terre et des horloges à césium et à rubidium à bord des 25 satellites du GPS [17, 18, 19]. Les horloges sont comparées en utilisant des mesures de phase des fréquences porteuses des signaux du GPS, qui proviennent de récepteurs géodésiques de type Rogue et Allen Osborne Associates Turbo-Rogue en fonctionnement dans plusieurs stations de l'International GPS Service for Geodynamics (IGS), stations situées partout dans le monde. Une violation du second postulat se traduirait par une anisotropie de la vitesse de la lumière, c , le long d'un axe spatial spécifié, et les expériences permettent de fixer une limite de la valeur de $\delta c/c$ le long de cet axe. Dans le cadre de ce modèle, notre expérience est sensible à une anisotropie éventuelle selon n'importe quelle direction spatiale et à une échelle dimensionnelle bien supérieure à celle d'un laboratoire (distance de base $\geq 20\,000$ km). Les résultats de cette expérience fixent une limite supérieure à la variation relative $\delta c/c$ égale à 5×10^{-9} quand on considère toutes les directions spatiales, et à 2×10^{-9} quand on ne considère que la composante de la vitesse de la lumière située dans le plan équatorial. Il s'agit là des limites les plus étroites jamais atteintes pour ce paramètre.

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

Les pulsars-milliseconde peuvent être considérés comme des horloges stables, dont on peut traiter les données par un algorithme optimisé pour la stabilité. Les travaux mis en œuvre ces dernières années et visant à comprendre comment une telle échelle de temps des pulsars peut être réalisée et quel intérêt elle pourrait avoir du point de vue du temps atomique donnent continuellement matière à exposés. Une collaboration est engagée avec différents groupes de radioastronomes qui font des observations de pulsars et en analysent les résultats. La section du temps leur a fourni, en avril 1997, la dernière version

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

de sa réalisation en temps différé du temps terrestre, TT(BIPM97). Cette collaboration va se poursuivre dans le cadre du Groupe de travail sur le chronométrage des pulsars de la Commission 31 (Temps) de l'UAI, dont G. Petit est le président.

Une nouvelle technique qui pourrait être utilisée dans les observatoires radio-astronomiques pour obtenir plus de données relatives aux pulsars est actuellement en cours de mise au point en collaboration avec le Centre national d'études spatiales, CNES (France). L'application de cette technique à la recherche de nouveaux pulsars constitue le sujet du travail de thèse de doctorat de B. Rougeaux, en collaboration avec le CNES, l'Observatoire Midi-Pyrénées, Toulouse (France), et l'Observatoire de Paris, OP, Meudon (France). Nous avons réalisé des observations à titre d'essais et nous en avons traité les résultats.

4.6 Références spatio-temporelles (G. Petit, P. Wolf)

Nous avons commencé des études visant à unifier les travaux relatifs aux références spatio-temporelles qui ont été effectués d'une part au BIPM, dans le cadre du Groupe de travail du CCDS sur l'application de la relativité à la métrologie, et d'autre part dans le cadre d'un certain nombre de groupes de travail de l'UAI, de l'UGGI et de l'IERS.

L'UAI et le BIPM ont créé un Comité mixte sur la relativité générale dans les domaines des systèmes de référence spatio-temporels et de la métrologie [Résolution B3 (1997) de l'UAI]. On est en train de mettre au point la liste des membres de ce Comité mixte qui commencera à travailler sous la présidence de G. Petit. Les premiers pas vers une extension de cette collaboration à l'AIG sont déjà faits.

4.7 Publications, conférences et voyages : section du temps

4.7.1 Publications extérieures

1. THOMAS C., Impact of New Clock Technologies on the Stability and Accuracy of the International Atomic Time, *IEEE Trans. Ultras. Fer. Freq. Cont.*, 1997, **44**, 696-700.
2. THOMAS C., TAVELLA P., Time Scales, *Selection and Use of Precise Frequency and Time Systems*, ITU Handbook, Chapter VI, Genève, 1997, 119-149.
3. THOMAS C., Impact of international decisions on TAI generation, *Proc. 28th PTTI*, 1996, 25-36.
4. THOMAS C., The CCDS Working Groups, *Proc. 28th PTTI*, 1996, 327-330.

5. FERRE-PIKAL E.S., VIG J.R., CAMPARO J.C., CUTLER L.S., MALEKI L., RILEY W.J., STEIN S.R., THOMAS C., WALLS F.L., WHITE J.D., Revision of IEEE STD 1139-1988 standard definitions of physical quantities for fundamental frequency and time metrology, *Proc. 51st FCS*, 1997, 338-357.
6. THOMAS C., The accuracy of the international atomic time TAI, *Proc. 11th EFTF*, 1997, 283-289.
7. PETIT G., Frequency Comparison Using GPS Carrier Phase: Some Experimental Results, *Proc. 11th EFTF*, 1997, 336-340.
8. LEWANDOWSKI W., MOUSSAY P., GUERIN P., MEYER F., VINCENT M., Testing Motorola Oncore GPS Receiver and Temperature-Stabilized Antennas for Time Metrology, *Proc. 28th PTTI*, 1996, 387-396.
9. LEWANDOWSKI W., MOUSSAY P., DANAHER J., GERLACH R., LEVASSEUR E., Temperature-Protected Antennas for Satellite Time Transfer Receivers, *Proc. 11th EFTF*, 1997, 498-503.
10. LEWANDOWSKI W., MOUSSAY P., GUERIN P., MEYER F., VINCENT M., Testing Motorola Oncore GPS Receiver for Time Metrology, *Proc. 11th EFTF*, 1997, 493-497.
11. LEWANDOWSKI W., AZOUBIB J., GEVORKYAN A.G., BOGDANOV P.P., DE JONG G., HAHN J., First Results From GLONASS Common-View Time Comparisons Realized According to the BIPM International Schedule, *Proc. 28th PTTI*, 1996, 357-366.
12. LEWANDOWSKI W., AZOUBIB J., WEISS M., ZHANG V., HANNS V., GEVORKYAN A.G., BOGDANOV P.P., TUTOLMIN N., DANAHER J., DE JONG G., HAHN J., MIRANIAN M., GLONASS Time Transfers and Its Comparison with GPS, *Proc. 11th EFTF*, 1997, 187-193.
13. LEWANDOWSKI W., AZOUBIB J., DE JONG G., NAWROCKI J., DANAHER J., A New Approach to International Satellite Time and Frequency Comparisons: 'All-in-View' Multichannel GPS+GLONASS Observations, *Proc. ION GPS'97*, 1997, 1085-1091.
14. LEWANDOWSKI W., AZOUBIB J., GEVORKYAN A.G., BOGDANOV P.P., KLEPCZYNSKI W.J., MIRANIAN M., DANAHER J., KOSHELYAEVSKY N.B., ALLAN D.W., A Contribution to the Standardization of GPS and GLONASS Time Transfers, *Proc. 28th PTTI*, 1996, 367-383.
15. WOLF P., *Relativity and the Metrology of Time*, Ph.D. Thesis, Queen Mary and Westfield College, University of London, 1997, 169 p.
16. PETIT G., WOLF P., Computation of the Relativistic Rate Shift of a Frequency Standard, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1997, **46**, 201-204.
17. PETIT G., WOLF P., Tester la Relativité sans Quitter son Fauteuil, *La Recherche*, avril 1997, 38-39.

18. WOLF P., PETIT G., A Test of Special Relativity Using the GPS System, *Proc. 11th EFTF*, 1997, 298-302.
19. WOLF P., PETIT G., Satellite test of special relativity using the Global Positioning System, *Phys. Rev. A*, 1997, **56**, 4405-4409.

4.7.2 Publications du BIPM

20. LEWANDOWSKI W., MOUSSAY P., Determination of the differential time correction between GPS time equipment located at the Observatoire de Paris, Paris, France, and the United States Naval Observatory, Washington DC, U.S.A., *Rapport BIPM-96/10*, 1996, 9 p.
21. LEWANDOWSKI W., MOUSSAY P., Determination of the differential time corrections between GPS time equipment located at the Observatoire de Paris, Paris, France, the National Measurement Laboratory, Sydney, Australia, the Orroral Geodetic Observatory, Belconnen, Australia, the Measurement Standards Laboratory, Lower Hutt, New Zealand, and the Communications Research Laboratory, Tokyo, Japan, *Rapport BIPM-97/1*, 1997, 11 p.
22. WOLF P., Relativity and the Metrology of Time, *Monographie BIPM 97/1*, 1997, 169 p.
23. LEWANDOWSKI W., MOUSSAY P., Determination of the differential time corrections between GPS time equipment located at the OP, NPL, VSL, DTAG, PTB, TUG, IEN and OCA, *Rapport BIPM-97/5*, 1997, 14 p.

4.7.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

C. Thomas s'est rendue :

- chez Sextant Avionique, Toulouse (France), le 13 novembre 1996 et le 10 septembre 1997.
- à Reston (Virginie, États-Unis), du 2 au 6 décembre 1996, pour assister à la 28^e réunion du PTTI, exposés sur « Impact of international decisions on TAI generation » et sur « The CCDS working groups », et pour assister au forum sur la normalisation du GPS organisé par le Sous-groupe du CCDS sur la normalisation des comparaisons d'horloges par le GPS et le GLO-NASS, présentation orale sur « Implementation of the Technical Directives for GPS receiver software ».
- au CRL, Tokyo (Japon), du 16 au 21 décembre 1996, à l'occasion du premier CRL External Review Committee.
- à l'OP, Paris (France), le 22 janvier 1996, pour la présentation du projet PHARAO.
- à Neuchâtel (Suisse), du 4 au 6 mars 1997, pour assister au 11^e EFTF, exposé sur « The accuracy of the International Atomic Time TAI », et à la

première réunion du Groupe de travail du CCDS sur l'expression des incertitudes dans les étalons primaires de fréquence.

J. Azoubib s'est rendu à Neuchâtel (Suisse), du 4 au 6 mars 1997, pour assister au 11^e EFTF.

W. Lewandowski s'est rendu :

- à Turin (Italie), les 3 et 4 octobre 1996, pour assister à la 4^e réunion du Groupe de travail du CCDS sur les comparaisons d'horloges par aller et retour sur satellite.
- à Reston (Virginie, États-Unis), du 2 au 6 décembre 1996, pour assister à la 28^e réunion du PTTI, exposé sur « First results from GLONASS common-view time comparisons realized according to the BIPM international schedule », et présentation des posters « A contribution to the standardization of GPS and GLONASS time transfers » et « Testing Motorola Oncore GPS receiver and temperature-stabilized antennas for time metrology », et pour assister au forum sur la normalisation du GPS organisé par le Sous-groupe du CCDS sur la normalisation des comparaisons d'horloges par le GPS et le GLONASS, présentation orale sur « Recent research on GPS and GLONASS time receivers ».
- à Neuchâtel (Suisse), du 4 au 7 mars 1997, pour assister au 11^e EFTF, exposé sur « GLONASS time transfer and its comparison with GPS », et présentation des posters « Temperature-protected antennas for satellite time transfer receivers » et « Testing Motorola Oncore GPS receiver for time metrology », et à la réunion technique des représentants des laboratoires équipés de stations à deux voies, organisée par le Groupe de travail du CCDS sur les comparaisons d'horloges par aller et retour sur satellite.
- à Alexandria (Virginie, États-Unis), du 17 au 22 mars 1997, pour assister à la 29^e réunion du Comité civil du GPS, exposé sur « Recent studies in GPS, GLONASS and two-way satellite time transfers ».
- à Vernon (France), le 5 juin 1997, pour assister à la réunion du Groupe de travail permanent du CNIG Positionnement statique et dynamique, exposé sur « GLONASS time transfer ».
- à Kansas City (Missouri, États-Unis), du 14 au 19 septembre 1997, pour assister à la 30^e réunion du Comité civil du GPS, exposé sur « Common use of GPS and GLONASS for time and frequency transfer » et à la réunion ION GPS'97, exposé sur « A New Approach to International Time and Frequency Comparisons: 'All-in-View' Multichannel GPS+GLONASS Observations ».

G. Petit s'est rendu :

- à Amsterdam (Pays-Bas), le 24 septembre 1996, pour le Royal Academy Colloquium on Pulsar Timing, General Relativity and the Internal Structure of Neutron Stars, exposé sur « The stability of atomic time scales versus millisecond pulsars ».
- à Paris (France), les 14 et 15 octobre 1996, pour l'Atelier de l'IERS.
- à Nançay (France), les 4 et 5 novembre 1996 et les 27 et 28 janvier 1997, pour observer des signaux de pulsars.
- à l'université de Lille, Lille (France), le 19 novembre 1996, exposé sur « Histoire de la mesure du temps ».
- à l'IAUB et à l'OFMET, Wabern (Suisse), les 9 et 10 décembre 1996.
- à Neuchâtel (Suisse), du 4 au 7 mars 1997, pour assister au 11^e EFTF, exposé sur « Frequency comparison using GPS carrier phase: some experimental results ».
- à Vienne (Autriche), le 24 avril 1997, pour assister au Directoire de l'IERS.
- à l'OP, Meudon (France), le 16 mai 1997, exposé sur « Pulsars et échelles de temps ».
- Kyoto (Japon), du 19 au 27 août 1997, pour l'Assemblée générale de l'UAI.

P. Wolf s'est rendu :

- à Gif-sur-Yvette (France), les 10 et 11 octobre 1996, pour assister à une réunion du GREX (Groupe de recherche du CNRS : gravitation et expériences), exposé sur « Test de la relativité restreinte à l'aide du système GPS ».
- au Queen Mary and Westfield College, université de Londres, Londres (Royaume-Uni), du 21 au 24 janvier 1997, et les 29 et 30 avril 1997 pour la soutenance de son doctorat.
- à Neuchâtel (Suisse), du 4 au 7 mars 1997, pour assister au 11^e EFTF, exposé sur « A test of special relativity using the GPS system ».
- à l'OP, Meudon (France), le 14 mars 1997, exposé sur « Test de la relativité restreinte à l'aide du système GPS ».
- au BNM-LPTF, Paris (France), du 23 au 26 juin 1997.
- aux Houches (France), les 25 et 26 septembre 1997, pour participer à l'atelier du CNRS « Gravitation et expériences ».

4.8 Activités en liaison avec des organisations extérieures

C. Thomas est membre de la Commission 31 (Temps) de l'UAI, du Comité national français de géodésie et géophysique, et membre du CRL External Review Committee (Japon).

W. Lewandowski est le représentant du BIPM au Comité civil du GPS et président de son sous-comité sur le temps.

G. Petit participe aux travaux de l'UAI en tant que vice-président de la Commission 31 (Temps), président du Groupe de travail de la Commission 31 sur le chronométrage des pulsars et président du Comité mixte BIPM/UAI sur les systèmes de référence spatio-temporels et la métrologie dans le cadre de la relativité générale. Il est membre du Conseil scientifique du GRGS (France) et du bureau central de l'IERS (France). Il est aussi membre du Comité national français de géodésie et géophysique.

P. Wolf est membre du GREX (Groupe de recherche du CNRS : gravitation et expériences).

4.9 Activités liées au travail des Comités consultatifs

C. Thomas est secrétaire exécutive du CCDS. Elle est secrétaire des Groupes de travail du CCDS sur l'application de la relativité générale à la métrologie du temps et sur l'expression des incertitudes dans les étalons primaires de fréquence. Elle est aussi secrétaire du Sous-groupe de travail du CCDS sur la normalisation des comparaisons d'horloges par le GPS et le GLONASS et membre du Groupe de travail du CCDS sur le TAI.

W. Lewandowski est secrétaire du Groupe de travail du CCDS sur les comparaisons d'horloges par aller et retour sur satellite et membre du Sous-groupe de travail du CCDS sur la normalisation des comparaisons d'horloges par le GPS et le GLONASS.

G. Petit est membre du Groupe de travail du CCDS sur l'application de la relativité à la métrologie et membre du Sous-groupe de travail du CCDS sur la normalisation des comparaisons d'horloges par le GPS et le GLONASS.

P. Wolf est membre du Groupe de travail du CCDS sur l'application de la relativité à la métrologie.

4.10 Visiteurs de la section du temps

- M. T. Morikawa (CRL), le 21 octobre 1996.
- M. M. Lawn (CSIRO-NML), du 12 novembre au 6 décembre 1996.
- M. M. Seville (Écosse), le 28 janvier 1997.
- Mlle V. Molina Lopez (CENAM), du 10 au 19 mars 1997 et du 26 au 28 mars 1997.
- MM. H.A. Chua et Z. Dai (PSB), le 21 avril 1997.
- M. J. Nawrocki (AOS), du 4 mai au 31 juillet 1997.

5 ÉLECTRICITÉ (T.J. Witt)

5.1 Potentiel électrique : effet Josephson (D. Reymann)

Une nouvelle comparaison d'étalons de tension de 1 V à réseau de jonctions de Josephson a eu lieu en novembre 1996. Nous avons transporté notre équipement à l'IEN (Italie) et avons comparé les étalons de Josephson de manière directe et indirecte. Le résultat de la comparaison, exprimé sous forme d'une différence entre les valeurs attribuées par les deux laboratoires à un étalon de 1,018 V, et de l'incertitude-type composée, u_c , des incertitudes de type A et B, est :

$$U_{\text{IEN}} - U_{\text{BIPM}} = +0,1 \text{ nV} ; u_c = 0,2 \text{ nV}. \quad (1)$$

Un autre travail généralement réalisé lors de nos comparaisons de Josephson consiste à comparer les résultats d'étalonnages d'un étalon secondaire de tension effectués à l'aide des deux étalons de Josephson. Cette fois, l'étalon secondaire était un étalon à diode de Zener apporté à l'IEN le 24 octobre 1996 pour une comparaison bilatérale d'essai d'étalons de tension. Le but était de vérifier la reproductibilité de la diode de Zener comme étalon voyageur dans une situation similaire à une comparaison bilatérale. La diode de Zener a été étalonnée à plusieurs reprises à l'aide de l'étalon de Josephson de l'IEN au cours des semaines qui ont précédé la comparaison d'étalons de Josephson. Elle l'a été aussi, à l'aide des étalons de Josephson de l'IEN et du BIPM, tout au long de la journée du 27 novembre 1996. La différence entre les valeurs déduites des étalonnages de Josephson du 27 novembre 1996, et son incertitude-type u , de type A, sont :

$$U_{\text{IEN}} - U_{\text{BIPM}} = -4,2 \text{ nV} ; u = 1,6 \text{ nV}. \quad (2)$$

Il convient de comparer ce résultat à celui obtenu selon la procédure habituelle des comparaisons bilatérales, résultat mentionné à la Section 5.4.

Une autre nouveauté de cette comparaison est l'emploi par l'IEN d'une technique de stabilisation de fréquence qui permet d'obtenir un véritable asservissement en phase de la source d'ondes millimétriques dont la largeur de bande est bien inférieure à celle de la source du BIPM. L'IEN nous a demandé de faire une analyse spectrale à basse fréquence du signal de sortie de notre détecteur pour les deux étalons de Josephson afin de comparer les effets des spectres à haute fréquence des deux sources d'ondes millimétriques. Aucune différence notable n'a été observée quant aux spectres à basse fréquence, probablement parce que les effets étaient masqués par la dérive du dispositif de transfert de tension et par le bruit du détecteur en courant continu. Cependant, les analyses spectrales des comparaisons directes et indirectes de réseaux nous ont permis de comparer les niveaux de bruit aux estimations *a priori*. Après correction pour les dérives de premier et second ordre (ce qui est fait systématiquement dans l'analyse des données), le niveau de bruit moyen est d'environ $2,3 \text{ nV} \cdot \text{Hz}^{-1/2}$ pour les comparaisons indirectes et d'environ $1,1 \text{ nV} \cdot \text{Hz}^{-1/2}$ pour les comparaisons directes. La largeur de la bande de fréquence du détecteur est d'environ 1 Hz. En tenant compte du bruit de notre détecteur, équivalent à celui d'une résistance d'environ 35Ω , et de la résistance de 16Ω des fils et des filtres des circuits des deux réseaux, nous avons calculé un niveau de bruit thermique de $0,9 \text{ nV} \cdot \text{Hz}^{-1/2}$ pour les comparaisons directes. Le niveau de bruit observé est donc très proche de la limite estimée.

Au cours des différentes comparaisons de réseaux nous avons observé occasionnellement une augmentation du bruit du détecteur, bruit dû à des interférences électromagnétiques. Cela se traduit par une différence faible, mais décelable, dans les résultats de mesures obtenus pour chacune des polarités du détecteur. Pour élucider cet effet, nous avons effectué plusieurs comparaisons au BIPM entre deux de nos réseaux de 1 V. Le résultat de ces comparaisons et l'incertitude-type de type A sont :

$$U_{\text{réseau 1}} - U_{\text{réseau 2}} = +0,10 \text{ nV} ; u = 0,13 \text{ nV}. \quad (3)$$

Ce résultat est parfaitement compatible avec le résultat (1) et il représente la limite de l'incertitude que nous pouvons espérer obtenir dans les comparaisons de réseaux de 1 V avec notre équipement actuel.

Après les essais à 1 V, nous avons examiné la limite de l'incertitude de type A que nous pourrions obtenir avec notre équipement dans les comparaisons de réseaux de 10 V. Cela nous a aussi permis de faire des essais avec la sonde cryogénique que nous avons fabriquée récemment. Les deux réseaux de 10 V du BIPM nous ont été offerts par les laboratoires qui les ont fabriqués, le NIST et la PTB. Après des mesures préliminaires utilisant un dispositif de transfert

à 10 V, nous avons effectué des mesures directes de façon manuelle et à l'aide d'un système d'acquisition de données assisté par ordinateur. Cette dernière méthode impliquait l'utilisation d'un voltmètre numérique qui, tout comme l'ordinateur, est source d'interférences électromagnétiques. Les résultats, avec l'incertitude-type de type A associée, sont :

$$U_{\text{réseau du NIST}} - U_{\text{réseau de la PTB}} = +0,00 \text{ nV} ; u = 0,17 \text{ nV} \quad (4)$$

(mesures manuelles)

$$U_{\text{réseau du NIST}} - U_{\text{réseau de la PTB}} = +0,05 \text{ nV} ; u = 0,11 \text{ nV} \quad (5)$$

(mesures assistées par ordinateur).

Nous avons donc obtenu ainsi une incertitude relative de type A de presque 1×10^{-11} pour les comparaisons de réseaux de 10 V.

Dans certaines de nos comparaisons d'étalons de Josephson passées, nous avons observé des variations inexplicables dans les valeurs d'étalons à diode de Zener mesurées après des changements apparemment sans conséquence de mise à la terre d'une borne de sortie ou du châssis. Ces changements ne peuvent être attribués à la résistance de fuite que nous avons mesurée. Nous avons consacré beaucoup d'efforts à l'étude de ces effets et examiné en détail plusieurs diodes de Zener au BIPM. Dans un cas, les modifications apportées à la mise à la terre ont provoqué un changement de 80 nV de la tension de sortie de 1,018 V de la diode de Zener. Nous pensons que de tels changements sont liés à la réponse de notre détecteur aux interférences électromagnétiques venant des instruments auxiliaires et des diodes de Zener proprement dites. Nous envisageons de poursuivre cette étude.

Lors de leur réunion du mois de mai, les spécialistes d'EUROMET dans le domaine de l'effet Josephson ont proposé d'organiser une comparaison d'étalons de référence de 10 V à l'aide d'étalons voyageurs à diode de Zener. Le BIPM a l'intention de participer à cette comparaison. Pour aider à évaluer les différentes techniques, nous avons effectué une comparaison bilatérale préliminaire avec le BNM-LCIE (France). Dans la matinée des 10 et 11 juillet, deux étalons de Zener du BIPM ont été mesurés au BIPM alors que deux étalons de Zener du BNM-LCIE étaient mesurés dans leur laboratoire. Les étalons voyageurs étaient mesurés directement avec les étalons de Josephson. Nous avons échangé les étalons et avons respectivement mesuré les étalons de l'autre laboratoire l'après-midi. Ensuite, le même jour, les étalons de Zener ont été à nouveau échangés et des mesures retour ont été effectuées. Pour ces mesures, les étalons du BIPM étaient alimentés par des accumulateurs internes alors que les étalons du BNM-LCIE étaient alimentés par le secteur. Les dif-

férences relatives observées $U_{\text{BNM-LCIE}} - U_{\text{BIPM}}$ allaient de -2×10^{-8} à $+3 \times 10^{-8}$ avec une valeur moyenne inférieure à 1×10^{-8} en valeur relative.

Pour préparer la comparaison EUROMET, nous avons aussi mesuré, au BIPM, les sorties à 10 V de quatre étalons à diode de Zener appartenant au NMI (Pays-Bas) à la fois avec notre équipement de Josephson et avec notre système d'étalonnage habituel. Les coefficients de pression et de température ont aussi été mesurés.

5.2 Résistance électrique et impédance (F. Delahaye, J. Melcher*)

5.2.1 Mesures de la résistance de Hall quantifiée à des fréquences de l'ordre du kilohertz

Lors de mesures de résistance de Hall, nous avons observé des différences relatives de l'ordre de 2×10^{-7} à des fréquences proches de 1,6 kHz lorsque l'on utilise des échantillons différents ou des plateaux différents. Nous avons étudié ce phénomène sur des échantillons de Hall ayant une géométrie spéciale, fabriqués pour nous par la PTB. Ces échantillons comportent une fenêtre centrale dans la barrette de Hall de telle manière que le gaz électronique bi-dimensionnel soit confiné entre les bordures extérieure et intérieure. Les contacts pour le courant et la tension sont disposés sur les deux bordures de manière à ce que deux résistances de Hall quantifiées bien isolées soient accessibles, l'une correspond à la bordure extérieure et l'autre à la bordure intérieure. Le but de ce dispositif est de réduire les pertes en courant alternatif au centre de l'échantillon en faisant passer un courant convenable à travers la résistance intérieure, afin que la bordure intérieure forme une garde. En fait, en utilisant cette garde, nous observons que la forme du plateau de la résistance est quelque peu améliorée mais qu'il subsiste des imperfections. En particulier, la sensibilité de la résistance de Hall au courant résiduel, observée dans les échantillons sans fenêtre, subsiste dans les échantillons avec garde. Les valeurs de la résistance de Hall quantifiée mesurées à 1,6 kHz sur des échantillons avec garde sont en accord à 1×10^{-7} près avec les valeurs mesurées sur des échantillons sans fenêtre.

Une autre direction de recherche est l'étude de la sensibilité résiduelle à la température de la résistance de Hall quantifiée mesurée à des fréquences de l'ordre du kilohertz. Le BIPM a acquis récemment et mis en service un nouvel aimant (15 T à 4,2 K) et un cryostat équipé d'un système de refroidissement à hélium 3 capable de refroidir un échantillon de Hall à 0,3 K. Un soin

* Chercheur associé de la PTB.

particulier a été apporté à la conception et au câblage de la sonde de l'échantillon, afin d'augmenter la durée de la charge d'hélium 3 liquide. À l'aide de câbles coaxiaux de faible conductivité thermique, ancrés thermiquement à l'étage 1 K du système de refroidissement à hélium 3 liquide, nous pouvons obtenir une durée de la charge d'hélium 3 liquide de 8 heures. Une première série de mesures montre que la résistance de Hall quantifiée mesurée à 1,6 kHz pour le plateau $i = 2$ de l'échantillon sans fenêtre diminue de 4×10^{-8} en valeur relative quand la température passe de 1,7 K à 0,3 K.

5.2.2 Mise au point de ponts en courant alternatif pour l'étalonnage d'étalons de capacité

Des progrès considérables ont été réalisés dans la mise au point d'une chaîne d'étalonnage reliant des étalons de capacité de 10 pF à la résistance de Hall quantifiée. Une partie essentielle de cette chaîne est le pont d'impédance, fondé sur un transformateur de tension, qui est maintenant installé et vérifié. Le pont nous permet d'étalonner des rapports d'impédance qui diffèrent légèrement des rapports entiers. Nous sommes particulièrement intéressés par les rapports de valeur nominale 10. En plus du pont, le dispositif d'étalonnage nécessaire pour déterminer les petites corrections au transformateur de tension pour ces rapports entiers est maintenant prêt à l'emploi.

Afin de vérifier le pont d'impédance et le dispositif d'étalonnage, nous avons effectué une comparaison bilatérale de rapports de capacité avec la PTB, qui a fourni les étalons voyageurs. Il s'agit de deux capacités, de valeur nominale 10 pF et 100 pF, dans des enceintes thermorégulées. La PTB a déterminé le rapport de capacité r à 1592 Hz avant et après leur transport au BIPM. La PTB a observé un écart relatif à la valeur nominale ($r_n = 10$) de $(r - r_n)/r_n = 49,9 \times 10^{-8}$ avec une incertitude-type composée, u_c , d'environ 3×10^{-8} . Ce résultat est en bon accord avec celui du BIPM, obtenu avec le nouveau dispositif d'étalonnage, de $(r - r_n)/r_n = 48,2 \times 10^{-8}$, avec u_c environ égale à 1×10^{-8} .

5.2.3 Passage à 23 °C de la température de référence pour les étalons de résistance

Conformément aux réponses à un questionnaire envoyé en mars 1995 à propos d'un éventuel changement de la température de conservation et de référence des étalons électriques du BIPM (document CCE/95-6), et en accord avec le CCE, le BIPM a changé la température de référence utilisée pour les étalons de résistance. Ce changement est effectif depuis avril 1997 et la nouvelle température de référence est de 23 °C. Dorénavant, tous les étalonnages de résistances effectués au BIPM se référeront à cette température. En raison de la diminution très marquée du nombre d'étalonnages de piles étalons qui

sont effectués et des problèmes liés au changement de la température de nos bains d'air, la température de référence des piles étalons reste inchangée à 20 °C.

5.3 Mesure des coefficients de température et de pression des étalons électriques (T.J. Witt)

Depuis plusieurs années nous estimons le coefficient de pression des résistances étalons qui nous sont envoyées pour étalonnage. Comme la résistance peut varier en fonction de la pression et aussi dériver en fonction du temps, nous utilisons pour nos calculs une régression linéaire multiple. Nos étalons de travail de 10 k Ω sont des résistances du type SR-104 dans des enceintes thermorégulées. Les valeurs des résistances sont liées à la résistance de Hall quantifiée au moyen d'un étalon de résistance de 100 Ω . Bien qu'elles soient scellées, les résistances SR-104 peuvent parfois être un peu sensibles à la pression. Pour vérifier cet effet sur nos étalons de 10 k Ω , nous avons mis au point et construit, dans notre atelier de mécanique, une enceinte sous pression capable de contenir deux enceintes thermorégulées du BIPM contenant chacune deux résistances de type SR-104. L'enceinte peut aussi contenir un étalon de tension à diode de Zener d'une taille aussi grande que celle du modèle 732A. Elle est équipée de bobines en cuivre qui permettent de réguler la température intérieure au moyen d'eau qui circule dans un circuit fermé depuis un petit bain thermorégulé. Les mesures des coefficients de pression de quatre résistances SR-104 montrent que l'une a un coefficient de pression de $-6,3 \times 10^{-10}$ /hPa alors que les trois autres ont des coefficients allant de $-1,9 \times 10^{-10}$ /hPa à $-2,5 \times 10^{-10}$ /hPa. L'incertitude de type A sur ces valeurs est de $0,4 \times 10^{-10}$ /hPa.

Nous avons ensuite transporté cette enceinte dans le laboratoire des étalons de tension pour étudier les coefficients de pression des étalons à diode de Zener. Ces mesures sont maintenant automatisées ce qui permet de contrôler les variations de pression au moyen d'un ordinateur personnel. En ajoutant une isolation thermique autour de l'enceinte de pression, nous avons fait en sorte que la température intérieure soit suffisamment bien régulée par le bain d'eau pour être utilisable pour mesurer les coefficients de température des étalons à diode de Zener. Ces mesures des coefficients de température sont aussi complètement automatisées. Les résultats montrent des coefficients de pression significatifs pour la plupart des étalons à diode de Zener et des coefficients de température faibles, mais statistiquement significatifs, pour environ la moitié des étalons à diode de Zener étudiés jusqu'à maintenant. Un rapport complet sur les résultats sera publié en temps utile.

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

Comme cela avait été annoncé l'an passé, nous mettons au point un nouveau schéma de comparaisons bilatérales afin de rendre compte rigoureusement de la traçabilité des étalons électriques de base à ceux du BIPM. Nous achetons, ou cherchons à acheter, des étalons voyageurs de la plus haute qualité qui seront utilisés par les laboratoires nationaux de métrologie dans les comparaisons bilatérales. Ce schéma présente plusieurs avantages par rapport à la méthode traditionnelle qui consiste pour les laboratoires nationaux à envoyer leurs étalons au BIPM : 1) les étalons voyageurs sont étudiés par le BIPM avant leur mise en service, 2) ils sont mesurés au BIPM avant et après chaque comparaison afin d'avoir une idée de leur comportement pendant la comparaison et 3) il n'est pas nécessaire que les laboratoires envoient au BIPM leurs propres étalons, qui font parfois partie de leur groupe national de référence. Nous avons maintenant ajouté quatre étalons de tension du nouveau type 732B aux deux étalons que nous possédions déjà. Ils ont été étudiés en détail et sont à la disposition des laboratoires nationaux pour les comparaisons bilatérales. L'an passé, nous avons présenté un rapport sur la première comparaison bilatérale de ce type, effectuée en mars 1996 avec l'IEN. Les résultats étaient meilleurs que prévu. Pour vérifier la reproductibilité de ces résultats, nous avons demandé à l'IEN de participer à une deuxième comparaison bilatérale d'étalons de tension entre septembre 1996 et janvier 1997. Comme dans la première comparaison, un étalon à diode de Zener du BIPM du type 732B a été utilisé et des corrections ont été apportées pour tenir compte des effets de température et de pression. Celles-ci ont amélioré l'accord entre les résultats des deux laboratoires de 90 nV. Les résultats obtenus durant la comparaison nous permettent d'estimer la stabilité de l'étalon voyageur à diode de Zener. De plus, les comparaisons d'étalons de Josephson de novembre 1996 fournissent une vérification complémentaire. Le résultat de la comparaison bilatérale d'essai, rapportée à la date centrale du 17 novembre 1996, est :

$$U_{\text{IEN}} - U_{\text{BIPM}} = -4 \text{ nV} ; u = 22 \text{ nV}, \quad (6)$$

où u est l'incertitude-type de type A estimée à partir de la dispersion des résultats quotidiens. Les résultats en (6) doivent être comparés à ceux cités en (2) qui se rapportent à des étalonnages simultanés de l'étalon voyageur avec les étalons de Josephson.

Une comparaison bilatérale avec le NML (Irlande) a été effectuée avec deux étalons voyageurs à diode de Zener du BIPM. Les résultats, donnés dans le tableau ci-dessous, sont excellents et montrent que les comparaisons bilatérales sont efficaces pour maintenir des étalons de référence de tension exacts

dans les laboratoires nationaux. Nous espérons voir se développer ce type de comparaisons bilatérales, mais nous continuerons, bien sûr, à effectuer des comparaisons bilatérales de type traditionnel avec des étalons voyageurs appartenant aux laboratoires nationaux.

Étalons de tension

Laboratoire	Date	1,018 V		10 V		Change- ment
		$(U_{\text{LAB}} - U_{\text{BIPM}})/\mu\text{V}$	$u_c/\mu\text{V}$	$(U_{\text{LAB}} - U_{\text{BIPM}})/\mu\text{V}$	$u_c/\mu\text{V}$	
NML (Dublin)	1997-03-30	0,02	0,50	0,73	2,50	non

Nous avons aussi amélioré l'équipement du BIPM en étalons de résistance voyageurs de 10 k Ω de première classe. Après évaluation de leur stabilité, nous avons acheté six résistances de type SR-104. Elles seront montées dans des enceintes transportables thermorégulées et la sensibilité de leur résistance à la température et à la pression sera évaluée avant de les mettre en service pour des comparaisons bilatérales.

5.5 Étalonnages de routine

Cette année, les étalonnages suivants ont été effectués : diodes de Zener de 1,018 V et de 10 V pour la Belgique, le Portugal et la République tchèque ; résistances de 1 Ω pour l'Afrique du Sud, la Belgique, l'Espagne, l'Irlande, la Norvège, la Slovaquie, la République tchèque, Singapour et la Turquie ; résistances de 10 k Ω pour la Belgique, le Danemark, l'Espagne, l'Irlande, la Norvège, la Slovaquie, la République tchèque et Singapour.

5.6 Publications, conférences et voyages : section d'électricité

5.6.1 Publications extérieures

1. REYMANN D., WITT T.J., EKLUND G., PAJANDER H., NILSSON H., Comparison of the Josephson Voltage Standards of the SP and the BIPM, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1997, **46**, 220-223.
2. DELAHAYE F., WITT T.J., PESEL E., SCHUMACHER B., WARNECKE P., Comparison of the quantum Hall effect resistance standards of the PTB and the BIPM, *Metrologia*, 1997, **34**, 211-214.
3. DELAHAYE F., MELCHER J., Impedance metrology and the ac quantum Hall effect, *1997 NCSL workshop and symposium: Success in the 21st century depends on modern metrology*, 1997, **2**, 737-741.
4. WITT T.J., Low-frequency spectral analysis of dc nanovoltmeters and voltage reference standards, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1997, **46**, 220-223.

5.6.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

T.J. Witt s'est rendu :

- au CMI, à l'université technique tchèque et à l'Académie des sciences tchèque, Prague et Brno (Rép. tchèque), du 13 au 15 novembre 1996, pour un exposé à l'Association tchèque des laboratoires d'étalonnage sur « International Comparisons of Electrical Standards at the BIPM ».
- à l'IEN, Turin (Italie), le 18 novembre 1996, le 26 février et le 17 juillet 1997 pour assister à des réunions du Conseil scientifique de l'IEN.

T.J. Witt et D. Reymann se sont rendus à l'IEN, Turin (Italie), du 24 au 29 novembre 1996, pour des comparaisons sur place d'étalons de tension à réseau de Josephson ; T.J. Witt y a présenté un exposé sur « BIPM comparisons of Josephson voltage standards ».

F. Delahaye s'est rendu à Varsovie (Pologne), du 22 au 26 avril 1997, pour des réunions du Groupe de travail de la CEI sur les concepts généraux en électrotechnique.

F. Delahaye et J. Melcher se sont rendus à :

- l'université de Genève, Genève (Suisse), le 25 mars 1997, où F. Delahaye a fait un exposé sur « Accurate ac measurements of the quantized Hall resistance at kilohertz frequencies ».
- l'INETI, Lisbonne (Portugal), le 27 mai 1997, pour une réunion d'experts d'EUROMET dans le domaine de l'effet Hall quantique.

J. Melcher s'est rendu à la PTB, Braunschweig (Allemagne), du 10 au 12 février 1997.

D. Reymann s'est rendu à l'INETI, Lisbonne (Portugal), le 28 mai 1997, pour une réunion d'experts d'EUROMET dans le domaine de l'effet Josephson.

5.7 Activités en liaison avec des organisations extérieures

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

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

5.8 Activités liées au travail des Comités consultatifs

T.J. Witt est secrétaire exécutif du CCE, membre du Groupe de travail du CCE sur les comparaisons clés et participe aux réunions du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences.

5.9 Visiteurs de la section d'électricité

- M. P. Vrabček (SMU), le 2 décembre 1996.
- M. D. Jarrett (NIST), le 14 janvier 1997.
- M. J. Nicolas (IGM), le 6 février 1997.
- MM. H.A. Chua et Z. Dai (PSB), le 21 avril 1997.
- MM. A. Šebela et P. Chrobok (CMI), le 23 avril et le 2 juillet 1997.
- MM. T. Sørdsal et P.O. Hetland (Justervesenet, Oslo), le 6 mai 1997.
- M. F. Hernández (CENAM), le 22 mai 1997.
- M. R.L. Kautz (NIST), le 6 juin 1997.

6 RADIOMÉTRIE, PHOTOMÉTRIE, THERMOMÉTRIE ET MANOMÉTRIE (R. Köhler)

6.1 Radiométrie, photométrie (R. Köhler, R. Goebel, M. Stock, P. Martin*)

À l'heure actuelle, la plupart des travaux de la section de radiométrie et photométrie porte sur les comparaisons internationales approuvées lors de la 13^e session du CCPR en 1994. La comparaison de radiomètres cryogéniques à l'aide de récepteurs à piège, dont le laboratoire pilote est le BIPM, suit son cours conformément au programme ; elle est fondée sur la circulation de récepteurs de transfert construits au BIPM. Il est prévu que cette comparaison s'effectue en trois groupes séparés, chacun étant constitué de cinq laboratoires participants. Une comparaison additionnelle, impliquant un plus grand nombre de laboratoires, et aussi quelques comparaisons bilatérales sont à l'étude. Au cours de la première étape de la comparaison, les caractéristiques des récepteurs à piège ont été déterminées. Ceux-ci ont aussi été comparés à un groupe de récepteurs de référence et au radiomètre cryogénique du BIPM. Ils ont ensuite été envoyés aux participants du premier groupe : le CSIRO (Australie), l'HUT (Finlande), le NIST (États-Unis), le NPL (Royaume-Uni) et le SP (Suède). À leur retour au BIPM, les récepteurs ont été comparés au radiomètre cryogénique du BIPM et les résultats ont été analysés. La comparaison est donc terminée pour ce qui concerne le premier groupe de cinq laboratoires. Les récepteurs de transfert ont été ensuite envoyés au deuxième groupe de participants. Les résultats obtenus par le premier groupe n'ont pas été présentés à la session du CCPR qui s'est tenue au mois de juin 1997 afin que tous les participants soient traités de la même manière. Il est déjà clair que les récepteurs de transfert se sont comportés de manière satisfaisante jusqu'à maintenant et les résultats préliminaires montrent la faisabilité de comparaisons internationales exactes à l'aide de récepteurs à piège de transfert. Des expériences pour améliorer les récepteurs de transfert et les étalonnages par rapport au radiomètre cryogénique du BIPM sont en cours.

* Chercheur associé de l'université de Colombie britannique, Canada.

La comparaison internationale de sensibilité lumineuse de photomètres, dont le laboratoire pilote est aussi le BIPM, est terminée. Les quinze laboratoires participants ont envoyé au total trente-trois photomètres au BIPM. Tous les photomètres avaient déjà été étalonnés pour la sensibilité lumineuse dans leur laboratoire d'origine avant d'être comparés au groupe de référence du BIPM. Ils font apparaître un bon accord général. Lors du retour dans leur laboratoire les photomètres ont été soumis à une vérification finale pour s'assurer qu'ils étaient restés stables au cours de la comparaison. Ce n'est qu'alors que les résultats définitifs ont été obtenus et publiés. Ces comparaisons se sont effectuées dans les délais prévus.

Quatre photomètres du commerce ont été modifiés pour les adapter aux ouvertures de précision étalonnées et achetées auprès du NPL. Des mesures spectroradiométriques ont alors permis de les étalonner en tant que luxmètres, fournissant ainsi une réalisation radiométrique directe de la candela. C'est la première fois que le BIPM réalise une unité photométrique directement, les représentations précédentes des unités photométriques étant conservées au moyen d'un groupe de lampes dont la valeur moyenne était liée aux résultats de la dernière comparaison internationale. Le résultat de cette nouvelle réalisation a été comparé aux résultats obtenus pendant la comparaison internationale de photomètres et aussi avec la candela obtenue à partir de la comparaison internationale d'intensité lumineuse de 1985 et conservée depuis ; l'accord s'est révélé excellent. Cette nouvelle réalisation devrait améliorer la stabilité de la candela conservée au BIPM.

6.2 Thermométrie et manométrie (R. Köhler, M. Stock)

Une balance de pression appartenant au VNIIMS (Féd. de Russie) a été étalonnée dans le domaine de pressions de 2 kPa à 100 kPa par rapport au manobaromètre étalon primaire du BIPM. Cet étalon de transfert sera comparé au manobaromètre du VNIIMS. Au cours de ce travail, les incertitudes sur les mesures de pression effectuées avec le manobaromètre du BIPM, mis au point vers 1965, ont été réexaminées. Les sources d'incertitude les plus grandes viennent de la détermination de la température du mercure et de la mesure de la pression résiduelle dans la colonne de vide. Le travail en cours devrait réduire considérablement ces deux sources d'incertitude, et donner une incertitude totale de 0,3 Pa à la pression atmosphérique, correspondant à une incertitude relative de 3×10^{-6} . Un nouveau programme informatique pour le traitement des données a été mis au point, permettant de calculer avec plus d'exactitude les corrections instrumentales. Une comparaison internationale d'étalons de pression dans le domaine allant de 10 kPa à 140 kPa débutera en 1998. Dans le

cadre de la préparation de cette comparaison, une balance de pression du commerce a été modifiée pour être optimisée en vue de son utilisation comme étalon de transfert dans une comparaison pilote entre le BIPM et le NPL.

6.3 Travaux d'étalonnage

Vingt-cinq thermomètres à résistance de platine ont été étalonnés au point triple de l'eau et au point de fusion du gallium pour les sections d'électricité, des masses, des longueurs et de radiométrie. Plusieurs ponts de résistance pour la thermométrie de précision (Guildline, ASL et Hart Scientific) ont été comparés à la température ambiante et les résultats obtenus sont en accord avec les incertitudes de mesure des ponts. Des cellules à point triple de l'eau appartenant à l'INMETRO (Brésil), au BNM-INM (cellule utilisée pour la comparaison EUROMET), au NMI-VSL (Pays-Bas) et au VNIIM (Féd. de Russie) ont été comparées à deux cellules du BIPM.

Quarante et une lampes étalons soit de température de couleur, soit de flux lumineux, soit d'intensité lumineuse ont été étalonnées : trois de température de couleur, sept d'intensité lumineuse et sept de flux lumineux appartenant à l'INM (Roumanie) ; quatre d'intensité lumineuse et quatre de flux lumineux appartenant au PSB (Singapour) ; trois de température de couleur, trois d'intensité lumineuse et trois de flux lumineux appartenant au Marmara Research Centre de l'UME (Turquie) ; sept d'intensité lumineuse appartenant au BFMMMP (Yougoslavie). L'étalonnage courant de jauges de pression pour les sections des masses, d'électricité et des rayonnements ionisants se poursuit.

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

Un ingénieur système (L. Le Mée) a été engagé pour mettre au point les services accessibles par le réseau informatique interne et aider le personnel du BIPM en matière d'équipement informatique et de logiciels. À travers ce réseau, le BIPM modernise son système d'échange, de stockage, de sauvegarde et de traitement des données. Sur la base de ces premiers travaux, un serveur Internet sera élaboré qui permettra de faire connaître à la communauté scientifique les activités du BIPM par le biais du « Web ».

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

6.5.1 Publications extérieures

1. GOEBEL R., PELLO R., STOCK K.D., HOFFER H., Direct comparison of cryogenic radiometers from the BIPM and the PTB, *Metrologia*, 1997, **34**, 257-259.

2. PELLO R., GOEBEL R., KÖHLER R., Results of an international comparison of water triple-point cells, *Metrologia*, 1997, **34**, 393-400.
3. QUINN T.J., The Comité Consultatif de Thermométrie and International Temperature Scales from 1939 to the Present, *Proc. TempMeko'96*, Levrotto & Bella, Torino, 1997, 3-6 (The Luigi Crovini Memorial Lecture).

6.5.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

R. Köhler s'est rendu :

- au NMi-VSL, Delft (Pays-Bas), les 20 et 21 février 1997, pour une réunion du Groupe de travail du CCPR sur les comparaisons clés.
- au FORBAIRT, Dublin (Irlande), les 10 et 11 mars 1997, pour une réunion de spécialistes d'EUROMET dans le domaine de la thermométrie.
- à Göteborg (Suède), les 17 et 18 mars 1997, pour une réunion de spécialistes d'EUROMET dans les domaines de la radiométrie et de la photométrie.
- au NPL, Teddington (Royaume-Uni), du 24 au 26 mars 1997, pour assister à une réunion de la CIE sur « Visual scales ».
- à l'IMMR, Geel (Belgique), les 23 et 24 juin 1997, pour un exposé sur « Radiometry and photometry at BIPM ».

R. Köhler et R. Goebel se sont rendus au NPL, Teddington (Royaume-Uni), les 11 et 12 novembre 1996, pour assister à un atelier sur la radiométrie cryogénique.

R. Pello s'est rendu au BNM-INM, Paris (France), le 23 avril et le 28 mai 1997.

M. Stock s'est rendu :

- à la PTB, Berlin (Allemagne), du 11 novembre au 6 décembre 1996 et les 14 et 15 avril 1997.
- à l'université d'Osnabrück (Allemagne), pour un exposé intitulé « Strahlungs-thermometrie-Temperaturmessung mit der Planckschen Strahlungsformel ».

6.6 Activités liées au travail des Comités consultatifs

R. Köhler est secrétaire exécutif du CCT et du CCPR, membre du Groupe de travail commun CCT/CCPR sur la mesure des hautes températures, secrétaire du Groupe de travail du CCPR sur les comparaisons clés et du Groupe de travail 3 du CCT.

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

- M. L. Cipriano (INMETRO), du 19 au 22 octobre 1996.
- Mme S. Novikova (VNIIMS), du 22 octobre au 5 novembre 1996.
- Mme E. Filipe (IPQ), le 25 octobre 1996.
- M. P. Carré (retraité du BIPM), en décembre 1996 et janvier 1997.
- M. M. Simionescu (INM, Roumanie), le 3 janvier 1997.
- M. M. Nogueira Frota (INMETRO), les 17 et 19 février 1997.
- M. M. El Sherif (NIS), du 3 au 7 mars 1997.
- M. G. Bonnier (BNM-INM), le 8 mars 1997.
- M. M. Videt (étudiant, stagiaire), avril-juin 1997.
- M. G. Andor (OMH), 8 avril 1997.
- M. P. Rullhusen (IMMR), le 11 avril 1997.
- M. E. Ikonen (HUT), le 28 avril 1997.
- M. D. Sporea (IAP), le 29 avril 1997.
- M. E. Méndez Lango (CENAM), le 6 juin 1997.
- M. Voukradin (BFMMP), du 16 au 20 juin 1997.

7 RAYONNEMENTS IONISANTS (M. Boutillon)

7.1 Rayons x et γ (M. Boutillon, P.J. Allisy-Roberts, D.T. Burns)

7.1.1 Facteurs de correction dans les chambres à paroi d'air

On a utilisé le programme de calcul de Monte Carlo EGS4 pour calculer les facteurs de correction pour la perte des électrons, k_e , et pour la diffusion des photons, k_{sc} , dans les chambres à paroi d'air pour des qualités de faisceau allant jusqu'à 300 kV. La géométrie utilisée, formée d'une série de cylindres concentriques, a permis d'étudier k_e et k_{sc} en fonction de l'espacement des plaques et de la largeur de la plaque de mesure des chambres à paroi d'air. Les effets de diffusion des parois et l'impact de la longueur d'atténuation dans l'air ont aussi été étudiés. Cette approche très souple permet de calculer les valeurs de k_e et de k_{sc} pour toute chambre de section circulaire ou rectangulaire. Des valeurs ont été obtenues pour toutes les chambres à paroi d'air qui avaient été comparées aux chambres du BIPM, et pour les qualités de faisceau utilisées pour les comparaisons au BIPM. Lorsqu'on les applique aux résultats des comparaisons internationales pour les rayons x d'énergie moyenne, on améliore de façon significative la cohérence des résultats obtenus pour différentes qualités de faisceau. Ceci résulte principalement de l'utilisation dans le passé d'une valeur pour la correction de perte des électrons dans la chambre du BIPM inférieure à la valeur utilisée maintenant.

7.1.2 Coefficient de recombinaison

Une détermination expérimentale du coefficient de recombinaison m^2 a été effectuée dans des conditions aussi proches que possible de celles requises pour une application stricte des équations de base. Deux chambres à paroi d'air de dimensions différentes ont été utilisées. Dans des conditions normales, le coefficient de recombinaison ainsi obtenu est de $3,97 \times 10^{14} \text{ s m}^{-1} \text{ C}^{-1} \text{ V}^2$ (écart-type relatif de la moyenne $s = 2,5 \%$). L'influence de la masse volumique de l'air et

de l'humidité sur la valeur de m^2 a aussi été étudiée. Plusieurs chambres de différents types ont été employées pour distinguer les effets de recombinaison initiale et volumique. Les résultats montrent que le coefficient m^2 varie avec la masse volumique de l'air ρ selon la loi $\rho^{2,46}$. La recombinaison totale change de 3 % pour une variation de l'humidité relative de 10 %.

7.1.3 Comparaisons et étalonnages au BIPM

Une nouvelle comparaison a été faite avec l'étalon du NMi-VSL (Pays-Bas) [4] dans le domaine des rayons x de faible énergie. En utilisant les mêmes paramètres que ceux utilisés il y a vingt-cinq ans pour la même comparaison, la différence observée entre les deux étalons, d'environ 0,4 %, reste identique. Cependant, certains facteurs de correction ont été recalculés au NMi-VSL et les nouvelles valeurs réduisent la différence mentionnée ci-dessus. Les résultats définitifs seront évalués après la fin des calculs relatifs à l'étalon du BIPM, calculs décrits à la Section 7.1.1 ci-dessus.

Des comparaisons de kerma dans l'air dans le faisceau du rayonnement du ^{60}Co ont été faites avec l'ARL (Australie), le NMi-VSL et le NPL (Royaume-Uni). Les résultats sont en bon accord, compte tenu des incertitudes estimées, avec les résultats des comparaisons précédentes effectuées il y a quinze ans. Les comparaisons faites pour la première fois avec le GUM (Pologne) [5] et avec le VNIIM (Féd. de Russie) montrent que les étalons de ces laboratoires sont en bon accord avec l'étalon du BIPM.

Les comparaisons de dose absorbée dans l'eau du rayonnement du ^{60}Co avec l'ARL, le NIST (États-Unis) et le NPL sont terminées. L'accord entre les résultats est bon. La comparaison avec le NPL comprenait des mesures de dose absorbée dans le graphite.

Vingt-huit étalonnages d'étalons secondaires ont été effectués en vue de déterminer les grandeurs kerma dans l'air, dose absorbée dans l'eau et équivalent de dose ambiant. La collaboration se poursuit avec l'AIEA dans le cadre de leur programme international, par l'irradiation de dosimètres thermoluminescents. L'analyse des facteurs d'étalonnage obtenus jusqu'à présent a permis d'identifier des problèmes concernant trois des premiers étalonnages en dose absorbée dans l'eau ($N_{D,w}$) pour des étalons secondaires de type NE 2561. Ces étalonnages avaient été effectués au BIPM il y a de cela quatre à six ans. Depuis lors, les facteurs sont restés stables, dans les limites de leurs incertitudes. La relation expérimentale entre $N_{D,w}$ et le facteur d'étalonnage en kerma dans l'air N_K est maintenant utilisée pour vérifier la réponse des chambres.

Dans le cadre du projet en cours sur la dose absorbée de rayons x de haute énergie, le BIPM possède maintenant quatre chambres de transfert qui sont toutes mesurées périodiquement dans le faisceau de rayonnement du ^{60}Co du BIPM. Une série de mesures préliminaires est prévue dans un hôpital de la région : deux faisceaux d'accélérateurs linéaires seront utilisés à cinq énergies entre 10 MV et 25 MV. Un plan de travail sera alors établi pour utiliser ces chambres dans les laboratoires nationaux.

7.1.4 Comparaisons régionales et internationales

Dans le cadre des discussions en cours sur l'équivalence, les résultats de trois séries de comparaisons régionales de mesures de kerma dans l'air (APMP, COOMET et EUROMET) ont été analysés et comparés à ceux des comparaisons internationales. Pour les énergies des rayons x au-dessus de 100 kV la répartition des résultats est comparable, mais pour les énergies inférieures à 50 kV la dispersion des résultats des comparaisons régionales est à peu près double. Cela provient probablement de ce que l'utilisation d'instruments de transfert est plus problématique dans le domaine des faibles énergies, comme nous l'avons observé lors de travaux précédents au BIPM.

7.2 Radionucléides (G. Ratel, C. Michotte)

7.2.1 Mesures d'activité

i) *Comparaison préliminaire d'une solution de ^{192}Ir*

Les résultats de la comparaison préliminaire de mesures d'activité d'une solution de ^{192}Ir sont maintenant disponibles. Dix laboratoires (BIPM, BNM-LPRI, ETL, IIR, IMMR, IRA, KRISS, NPL, OMH et VNIIM) y ont pris part et seize résultats ont été obtenus avec cinq méthodes différentes. Ces résultats montrent une dispersion totale des valeurs de 2,5 % ($s = 0,4$ %) ce qui est considéré comme excessif et provient principalement des résultats obtenus avec la méthode $4\pi\beta\text{-}\gamma$. Les trois résultats obtenus avec la méthode $4\pi\gamma$ sont en bon accord. Pour les participants qui avaient envoyé précédemment des échantillons de ^{192}Ir pour le SIR, les résultats obtenus dans le cadre de cette étude se répartissent de façon comparable à celle des études précédentes, où l'on distinguait deux groupes de valeurs. L'évaluation de l'activité équivalente de la solution employée au BIPM après mesure dans la chambre du SIR semble confirmer les valeurs les plus basses.

Des problèmes restent à résoudre pour déterminer les concentrations d'activité de solutions de ^{192}Ir . Il faut étudier de plus près les réglages de la porte dans

la voie γ et analyser plus finement les composantes de l'incertitude pour rendre correctement compte de la répartition des résultats.

ii) *Comparaison internationale de mesures d'activité d'une solution de ^{204}Tl*

La comparaison internationale de mesures d'activité d'une solution de ^{204}Tl , pilotée par le BIPM, a commencé. La solution radioactive contenant une fraction massique nominale de 260 $\mu\text{g/g}$ de TlCl dans HCl 0,1 M, ayant une activité massique d'environ 70 kBq/g , a été préparée, mise en ampoule et envoyée par le BIPM à vingt-trois laboratoires. Les ampoules du type NBS ont été remplies d'environ 3,6 g de la solution active : la moitié des résultats était disponible dès juin 1997.

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

En 1996, huit laboratoires (BARC, BNM-LPRI, CNEA, IRA, NIRH, NIST, OMH et PSPKR) ont envoyé seize ampoules contenant neuf radionucléides (^{57}Co , ^{60}Co , ^{85}Sr , ^{131}I , ^{133}Ba , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{139}Ce et ^{140}Ba). L'activité équivalente du radionucléide ^{140}Ba a été mesurée pour la première fois ; le résultat est en bon accord avec la valeur prévue, calculée à partir de la courbe d'étalonnage de l'efficacité de la chambre d'ionisation et des données nucléaires contenues dans les tables du ^{140}Ba et du ^{140}La . Au cours des vingt et un ans d'existence du SIR, le nombre d'ampoules mesurées au BIPM a atteint la valeur de 681, avec au total 503 résultats indépendants. Les résultats obtenus en 1996 représentent ainsi environ 3 % du total, alors que le nombre d'ampoules reçues ne dépasse pas 70 % du nombre prévu. Deux résultats (^{54}Mn et ^{60}Co) ont été retirés en 1996, le nombre total des résultats est ainsi de 23, soit 4,6 % des résultats enregistrés.

iv) *Extension du SIR : Comparaison de mesures d'activité de solutions étalonnées de ^{90}Sr*

La comparaison de solutions de ^{90}Sr précédemment étalonnées (c'est-à-dire dont l'activité a été mesurée de manière absolue) dans les laboratoires nationaux participants a été effectuée dans le cadre du SIR étendu. Des ampoules envoyées par dix laboratoires (BNM-LPRI, CIEMAT, ETL, IMMR, IRA, NIST, NPL, OMH, PTB et RC) ont été mesurées selon la méthode CIEMAT/NIST ; nous n'avons pas encore reçu les solutions du BARC et de l'IIR. Pour chaque ampoule reçue, une série de cinq fioles remplies de 10 cm^3 du nouveau scintillateur Ultima Gold XR a été préparée. La quantité de solution radioactive introduite dans chaque fiole a été choisie en fonction de l'activité absolue déterminée par le laboratoire afin d'assurer un fonctionnement correct

du spectromètre à scintillation liquide. En même temps, et avec le même scintillateur, une série de fioles remplies d'une solution tritiée étalonnée a été préparée et affaiblie par l'addition d'une quantité croissante de nitrométhane (quelques microlitres). On a calculé l'efficacité de détection du système en tenant compte des contributions du ^{90}Sr et de ^{90}Y qui atteignent leur équilibre après environ 64 heures. Seule la contribution de la transition β d'énergie maximale 523 keV au cours de la désintégration de ^{90}Y a été négligée (probabilité d'émission 0,016 % environ). Le rapport entre l'activité déterminée par le BIPM et par le laboratoire concerné a été évalué. La valeur moyenne non pondérée des dix résultats est 0,9998 ($s = 0,0012$). Ce résultat encourageant suggère que l'extension du SIR aux émetteurs β , avec le compteur à scintillation liquide, peut être considérée comme opérationnelle.

Il faut noter que ce résultat a été obtenu dans des conditions favorables : les caractéristiques du radionucléide sont bien connues ; la composition chimique des solutions utilisées par les différents laboratoires était très voisine et les solutions avaient été préparées peu avant la date des mesures ; enfin la méthode CIEMAT/NIST avait déjà été essayée avec succès avec ce radionucléide. Il sera nécessaire d'apporter un soin particulier à la préparation des échantillons pour la mesure des radionucléides qui sont connus pour être plus difficiles à étalonner. Il convient de poursuivre les recherches pour la mesure des radionucléides qui se désintègrent par capture électronique.

7.2.2 Détection des impuretés radioactives

La mise en oeuvre technique de la spectrométrie des rayonnements γ avec le détecteur Ge(Li) du BIPM est en cours. Le blindage en plomb a été agrandi pour pouvoir faire des mesures à une distance de 50 cm du détecteur. La résolution en énergie à 1,33 MeV a été portée à 2,4 keV en réduisant le bruit électronique. Un module à porte linéaire et à largeur variable (LGS) a été ajouté au dispositif électronique entre l'amplificateur et le convertisseur analogique numérique. Pour corriger l'effet du temps mort de l'électronique, on utilise la sortie bipolaire de l'amplificateur afin de produire un signal porte logique ayant un temps mort connu, constant et non étendu. Ce signal porte est envoyé au module LGS et ainsi contrôle la conversion des impulsions unipolaires. La correction pour le temps mort est ainsi facile à calculer à l'aide de la formule appropriée. La correction d'empilement a été mesurée avec la méthode des deux sources, en fonction du taux de comptage et à plusieurs énergies du rayonnement γ . On a observé que les résultats dépendent du radionucléide utilisé pour augmenter le taux de comptage, à moins que l'on ne tienne compte du taux de comptage en dessous du seuil d'énergie (environ 25 keV). Les effi-

cacités totale et au pic ont été mesurées entre 30 keV et 2 MeV pour quatre géométries de détection, avec douze ampoules du SIR. Les incertitudes relatives typiques pour l'efficacité au pic sont : 1,6 % pour ^{241}Am , 0,7 % pour le ^{139}Ce et 0,4 % pour le ^{60}Co . L'analyse des résultats est en cours.

7.3 Publications, conférences et voyages : section des rayonnements ionisants

7.3.1 Publications extérieures

1. BURNS D.T., KLEVENHAGEN S.C., NAHUM A.E., PITCHFORD G.P., THWAITES D.I., The IPEMB Code of practice for electron dosimetry for radiotherapy beams of initial energy from 2 to 50 MeV based on an air-kerma calibration, *Phys. Med. Biol.*, 1996, **41**, 2557-2603.
2. HARDING L.K., ALLISY-ROBERTS P.J., How can we achieve a positive impact on legislation pertaining to the administration of radioactive substances to man?, *Eur. J. Nucl. Med.*, 1996, **23**, 1560-1561.
3. LEITNER A., WITZANI J., BOUTILLON M., ALLISY-ROBERTS P., DELAUNAY F., LEROY E., LAMPERTI P., STRACHOTINSKY C., CSETE I., International comparisons of air kerma standards in ^{137}Cs gamma radiation, *Metrologia*, 1997, **34**, 169-175.

7.3.2 Rapports BIPM

4. ALLISY-ROBERTS P.J., BOUTILLON M., GRIMBERGEN T.W.M., VAN DIJK E, Comparison of the standards of air kerma of the NMi and the BIPM for ^{60}Co γ rays, *Rapport BIPM-97/4*, 1997, 10 p.
5. ALLISY-ROBERTS P.J., BOUTILLON M., REFEROWSKI Z., PAZ N., Comparison of the standards of air kerma of the GUM and the BIPM for ^{60}Co γ rays, *Rapport BIPM-97/2*, 1997, 7 p.

7.3.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

M. Boutillon s'est rendue à :

- Sèvres (France), du 12 au 16 août 1996, pour une réunion de l'ICRU au BIPM.
- à l'AIEA, Vienne (Autriche), du 30 septembre au 4 octobre 1996, pour la 7^e réunion du Comité scientifique des Secondary Standard Dosimetry Laboratories (SSDL).

P.J. Allisy-Roberts s'est rendue à :

- Londres (Royaume-Uni), le 30 octobre 1996 et le 21 juillet 1997, pour participer à des réunions de l'U.K. Health and Safety Commission Ionising

Radiation Advisory Committee, et le 11 mars 1997, pour un exposé à un séminaire du British Institute of Radiology.

- Teddington (Royaume-Uni), le 2 octobre 1996 et le 8 avril 1997, pour participer au British Committee on Radiation Units ; les 6 et 7 novembre 1996 pour la présentation annuelle des travaux en métrologie des rayonnements au NPL.
- Washington DC (États-Unis), du 12 au 15 novembre 1996, pour participer au Council for Ionizing Radiation Measurements and Standards au NIST.
- Vienne (Autriche), du 5 au 9 mai 1997, pour participer au Groupe de travail de l'AIEA sur la production d'une « Charter for Secondary Standard Dosimetry Laboratories ».
- Nice (France), le 9 septembre et du 15 au 19 septembre 1997, pour des exposés à une école d'été internationale et au World Congress on Medical Physics.

D.T. Burns s'est rendu à :

- Vienne (Autriche), du 25 au 29 novembre 1996, à un Consultant's meeting de l'AIEA sur « The need for a new international Code of Practice for external beam radiotherapy ».
- Madison (États-Unis), du 25 au 29 août 1997, pour une réunion de la Main Commission de l'ICRU.
- Nice (France), du 15 au 19 septembre 1997, pour participer au World Congress on Medical Physics.
- Monte-Carlo (Monaco), le 20 septembre 1997, pour un symposium sur les calculs de Monte Carlo pour la dosimétrie des rayonnements.

C. Michotte et G. Ratel se sont rendus à Gaithersburg (États-Unis), du 19 au 23 mai 1997, pour participer à la Conference on Radionuclide Metrology and its Applications ICRM'97. G. Ratel a présenté deux exposés sur « Extension of the SIR to beta-ray emitters: International comparison of activity measurements of solutions of ^{90}Sr using the liquid scintillation technique » et « Trial international comparison of activity measurements of a solution of ^{192}Ir » et C. Michotte a fait une présentation au « β - and γ -ray spectroscopy working group meeting ».

7.4 Activités en liaison avec des organisations extérieures

M. Boutillon est membre du comité scientifique des SSDL de l'AIEA et conseiller de *Physics in Medicine and Biology* et de *Radiation Physics and Chemistry*.

P.J. Allisy-Roberts est membre du British Committee for Radiation Units. Elle est conseillère auprès de l'U.K. Department of Trade and Industry pour la présentation annuelle des travaux en métrologie des rayonnements au NPL ; elle est membre scientifique de l'U.K. Health and Safety Commission Ionising Radiation Advisory Committee. Au printemps de 1997, elle a cessé ses activités auprès du Comité 3 de l'International Commission for Radiological Protection. Récemment, elle a été consultante auprès du Groupe dosimétrie de l'AIEA pour une publication sur leur Secondary Standard Dosimetry Laboratory Programme.

Depuis peu, D.T. Burns est consultant auprès de l'AIEA pour un rapport sur « The need for a new international code of practice for external beam radiotherapy », et il est maintenant chargé à l'AIEA de la mise au point d'un nouveau code de pratique. Il vient de terminer sa collaboration au sein du groupe de travail de l'IPEMB (renommé l'IPEM) avec la publication de l'« U.K. Code of Practice for electron beam radiotherapy ». Il a représenté le BIPM à une réunion de la Main Commission de l'ICRU en août 1997. Il est conseiller de *Physics in Medicine and Biology*.

G. Ratel représente le BIPM à l'ICRM.

7.5 Activités liées au travail des Comités consultatifs

M. Boutillon est secrétaire exécutif du CCEMRI. P.J. Allisy-Roberts est membre du Groupe de travail de la Section I du CCEMRI sur l'équivalence en métrologie. G. Ratel est membre des Groupes de travail de la Section II du CCEMRI sur l'extension du SIR, sur l'équivalence des mesures nationales et internationales, et sur l'analyse des résultats des comparaisons de ¹⁹²Ir.

7.6 Visiteurs de la section des rayonnements ionisants

- M. L. Czap (AIEA), du 7 au 11 octobre 1996.
- M. Ph. Cassette (BNM-LPRI) et Mme T. Terlikowska-Drożdżiel (RC), le 11 octobre 1996.
- M. J. da Silva (LNMRI), du 14 octobre 1996 au 15 novembre 1996.
- Mlle A. Kane (étudiante, Lycée J. Decourt), les 18 et 29 octobre 1996.
- MM. Ph. Cassette et E. Monnard (BNM-LPRI), le 23 octobre 1996.
- M. I. Salati (LNMRI), le 26 octobre 1996.
- Mme M.-M. Bé (BNM-LPRI) et M. V. Chechev (Institut du radium V.G. Khlopin, Saint-Petersbourg, Féd. de Russie), le 28 octobre 1996.
- Mlle M.-N. Péron et M. J. de Sannoit (BNM-LPRI), le 30 octobre 1996.
- Mme T.E. Sazonova et M. I. Kharitonov (VNIIM), le 12 novembre 1996.

- M. Z. Referowski (GUM), du 25 au 29 novembre 1996.
- MM. T.W.M. Grimbergen et E. van Dijk (NMI-VSL), du 25 au 29 novembre 1996.
- Mme M. Saravi (CNEA), du 2 au 13 décembre 1996.
- Mme M.-M. de Araújo (LNMRI), le 12 décembre 1996.
- Mlle M.-N. Péron et M. Chazelles (BNM-LPRI), le 12 février 1996.
- M. J. Boas (ARL), du 8 au 18 avril 1997.
- MM. I.A. Kharitonov et N. Karmalitsyn (VNIIM), du 21 au 25 avril 1997.
- M. C. Moretti (NPL), du 2 au 13 juin 1997.
- Mme N. Rabie (NIS), du 16 juin au 29 août 1997.
- MM. S. Duane et R. Thomas (NPL), du 9 au 25 juillet 1997.
- M. S. Seltzer (NIST), le 12 septembre 1997.

8 PUBLICATIONS DU BIPM

8.1 Publications générales

Depuis octobre 1996 ont été publiés :

- *Comptes rendus des séances de la 20^e Conférence générale des poids et mesures* (1995), 1996, 230 p.
- *Procès-verbaux des séances du Comité international des poids et mesures*, 85^e session (1996), 1997, **64**, 219 p.
- *Comité consultatif pour la définition de la seconde*, 13^e session (1996), 1996, 81 p.
- *Comité consultatif pour la quantité de matière*, 2^e session (1996), 1996, 38 p.
- *Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants*, 14^e session (1996), 1997, 140 p.
- *Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées*, 6^e session (1996), 1996, 47 p.
- *Rapport annuel de la section du temps du BIPM* (1996), 1997, **9**, 162 p.
- *Circulaire T* (mensuelle), 6 p.

8.2 Metrologia (D.A. Blackburn)

Le volume 33 de *Metrologia* a été publié en 1996. Pour la première fois, il comprend cinq numéros normaux et un numéro spécial. Il s'agit d'un numéro bien particulier, dédié à la mémoire de Luigi Crovini, l'ancien président du Comité consultatif de thermométrie, et il a été rédigé par ses nombreux amis dans le monde entier. Ce numéro a été distribué à la conférence Tempmeko qui s'est tenue à Turin en septembre 1996.

Dans le volume 33, 79 articles ont été publiés, parmi lesquels 67 portent sur des recherches et 12 appartiennent à la rubrique des rapports internationaux. Du 1^{er} janvier 1996 au 31 décembre 1996, 102 articles sur des recherches ont

été soumis pour publication, dont 65 ont été publiés, 12 ont été acceptés pour publication, 13 ont été refusés, 1 a été retiré par son auteur et, au 30 septembre 1997, 11 étaient en cours d'examen. Du 1^{er} janvier 1997 au 30 septembre 1997, 51 articles sur des recherches et 5 rapports internationaux ont été soumis pour publication. Au 30 septembre 1997, 4 de ces articles de recherche ont été publiés, 23 ont été acceptés pour publication, 9 ont été refusés et 15 sont en cours d'examen.

Une grande innovation de cette année est que *Metrologia* est maintenant accessible sous forme électronique sur l'Internet (<http://www.catchword.co.uk>). La version électronique du volume 34 en cours est une exacte reproduction de la version imprimée, mais elle présente l'avantage supplémentaire de permettre des recherches en hypertexte. Ce service a été introduit le 2 juin 1997 et il restera accessible gratuitement au moins jusqu'à la fin de l'année 1997.

9 RÉUNIONS ET EXPOSÉS AU BIPM

9.1 Réunions

Une réunion des directeurs de laboratoires nationaux de métrologie a eu lieu les 17 et 18 février 1997.

Le CCQM s'est réuni les 20 et 21 février 1997.

La Section I du CCEMRI s'est réunie les 14, 15 et 16 avril 1997.

La Section III du CCEMRI s'est réunie les 21 et 22 avril 1997.

La Section II du CCEMRI s'est réunie les 23, 24 et 25 avril 1997.

Le CCPR s'est réuni les 10 et 11 juin 1997.

Le CCE s'est réuni les 24, 25 et 26 juin 1997 ; il a été précédé de la réunion du GT-RF le 23 juin 1997.

Le CCEMRI s'est réuni les 7 et 8 juillet 1997.

Le CCDM s'est réuni les 16, 17 et 18 septembre 1997.

9.2 Exposés

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

- P. Pinot (BNM-INM, Paris, France) : Étude de la stabilité des étalons de masse, 9 octobre 1996.
- A. Picard : Réalisation du watt au NIST, 13 novembre 1996.
- A. Clairon (BNM-LPTF, Paris, France) : Un nouvel étalon de fréquence à césium, une fontaine atomique refroidie par laser, 4 décembre 1996.
- E. Tomasi-Gustafsson (CEA, Saclay, France) : La polarisation en physique nucléaire, méthodes et applications, 15 janvier 1997.
- W. Beer (OFMET, Wabern, Suisse) : A new project for a watt balance at OFMET, 12 mars 1997.
- J. Faller (JILA, Boulder, États-Unis) : Measurement of the Newtonian gravitational constant using an absolute gravimeter, 28 mars 1997.

- R. Köhler : La photométrie au BIPM, 30 avril 1997.
- A. Marschal (BNM-LNE, Paris, France) : Métrologie et chimie, 14 mai 1997.
- P. Wolf : Métrologie du temps et relativité, 5 juin 1997.
- D. Kautz (NIST, Boulder, États-Unis) : Noise, chaos, and the Josephson voltage standard, 6 juin 1997.
- J. Melcher : A representation of the farad based on the von Klitzing constant, 18 juin 1997.

10 CERTIFICATS ET NOTES D'ÉTUDE

Du 1^{er} octobre 1996 au 30 septembre 1997, 57 Certificats et 8 Notes d'étude ont été délivrés.

Certificats

1996

N^{os}

- | | |
|--|---|
| 34. Chambres d'ionisation,
NE 2561-265 et NE 2561-321 | Agence internationale de l'énergie
atomique, Vienne, Autriche. |
| 35. Chambre d'ionisation,
NE 2571-1018 | Id. |
| 36. Trois étalons secondaires d'intensité
lumineuse (2800 K),
n ^{os} IS.001, IS.002, IS.003 | Ulusal Metroloji Enstitüsü,
Gebze-Kocaeli, Turquie. |
| 37. Trois étalons secondaires
de flux lumineux (2800 K),
n ^{os} IA.001, IA.002, IA.003 | Id. |
| 38. Trois étalons secondaires de température
de couleur,
n ^{os} RS.001, RS.002, RS.003 | Id. |
| 39. Chambre d'ionisation,
NE 2561-265 | Agence internationale de l'énergie
atomique, Vienne, Autriche. |
| 40. Étalon de résistance de 1 Ω ,
n ^o 1 883 431 (addition) | National Metrology Laboratory
(FORBAIRT), Dublin, Irlande. |
| 41. Étalon de résistance de 10 000 Ω ,
n ^o 1 876 641 (addition) | Id. |
| 42. Étalon de force électromotrice à diode
de Zener, n ^o 4 185 005 (addition) | Id. |

43. Étalon de résistance de 1 Ω , n° 1 894 059	Centro Español de Metrología, Madrid, Espagne.
44. Étalon de résistance de 10 000 Ω , n° 224 109 (addition)	Id.
45. Étalon de force électromotrice à diode de Zener, n° 5 575 404	National Metrology Laboratory (Council for Scientific and Industrial Research), Pretoria, Afrique du Sud.
46. Étalon de force électromotrice à diode de Zener, n° 5 575 104	Id.
47. Étalon de résistance de 1 Ω , n° 1 146 606 (addition)	Id.
48. Étalon de résistance de 1 Ω , n° 1 132 427 (addition)	Id.
49. Chambre d'ionisation, ND 1005-8303	Główny Urząd Miar, Varsovie, Pologne.
50. Étalon de résistance de 10 000 Ω , n° J20 106 91 30104 (addition)	Danish Institute of Fundamental Metrology, Lyngby, Danemark.
51. Deux chambres d'ionisation, NE 2611-133 et NE 2561-156	Laboratorio Secundario de Calibración Dosimétrica, Buenos Aires, Argentine.
52. Chambre d'ionisation, NE 2575-467	Id.

1997

N^{os}

1. Chambre d'ionisation, NE 2561-246	Nederlands Meetinstituut, Utrecht, Pays-Bas.
2. Chambre d'ionisation, NE 2561-264	Laboratório Nacional de de Metrologia das Radiações Ionizantes, Rio de Janeiro, Brésil.
3. Chambre d'ionisation, NE 2561-207	Id.
4. Étalon de résistance de 1 Ω , n° 64174 (addition)	Service de la métrologie belge, Bruxelles, Belgique.
5. Étalon de résistance de 1 Ω , n° 1816192 (addition)	Id.

- | | |
|--|---|
| 6. Étalon de résistance de 10 000 Ω ,
n° 718011 (addition) | Id. |
| 7. Étalon de résistance de 10 000 Ω ,
n° 616007 (addition) | Id. |
| 8. Étalon de résistance de 1 Ω ,
n° 1870794 (addition) | Id. |
| 9. Étalon de force électromotrice à diode
de Zener, n° 5740201 (addition) | Id. |
| 10. Trois étalons secondaires de température
de couleur, n ^{os} 204/505, 205/506,
206/507 (addition) | Institut national de métrologie,
Bucarest, Roumanie. |
| 11. Six étalons secondaires d'intensité
lumineuse (2800 K), n ^{os} 195/473,
196/474, 197/475, 198/476, 199/477,
201/479 (addition) | Id. |
| 12. Sept étalons secondaires de flux lumineux
(2800 K), n ^{os} 1/864, 2/865, 3/866, 5/868,
LP8885, LP8886, LP8888 (addition) | Id. |
| 13. Prototype de masse n° 53 (addition) | Pays-Bas. |
| 14. Étalon de résistance de 1 Ω ,
n° 144 487 (addition) | Slovak Institute of Metrology,
Bratislava, Slovaquie. |
| 15. Étalon de résistance de 1 Ω ,
n° 222 039 (addition) | Id. |
| 16. Étalon de résistance de 1 Ω ,
n° 1 859 009 | Id. |
| 17. Étalon de résistance de 10 000 Ω ,
n° 117 720 (addition) | Id. |
| 18. Étalon de résistance de 10 000 Ω ,
n° 148 058 (addition) | Id. |
| 19. Laser à hélium-néon
de longueur d'onde 633 nm | Standards and Calibration
Laboratory, Wanchai,
Hong Kong. |
| 20. Chambre d'ionisation,
Shonka 3239 | Swedish Radiation Protection
Institute, Stockholm, Suède. |
| 21. Chambre d'ionisation
Shonka 1057 | Id. |
| 22. Chambre d'ionisation
Exradin n° A3 168 | Id. |
| 23. Étalon de résistance de 1 Ω ,
n° 59099 (addition) | Czech Metrological Institute,
Prague, Rép. tchèque. |

24. Étalon de résistance de 1 Ω , n° 94 375	Id.
25. Étalon de résistance de 1 Ω , n° 225 323 (addition)	Id.
26. Étalon de résistance de 1 Ω , n° 474 694	Id.
27. Étalon de résistance de 10 000 Ω , n° 149 372 (addition)	Id.
28. Étalon de résistance de 10 000 Ω , n° K 201 09 93 30 104 (addition)	Id.
29. Étalon de résistance de 1 Ω , n° 1 915 181	Singapore Productivity and Standards Board, Singapour.
30. Étalon de résistance de 10 000 Ω , n° G 207 07 87 30 104	Id.
31. Étalon de force électromotrice à diode de Zener, n° 24 489-8 (addition)	Czech Metrological Institute, Brno, Rép. tchèque.
32. Étalon de résistance de 10 000 Ω , n° J 203 07 91 30 104 (addition)	Danish Institute of Fundamental Metrology, Lyngby, Danemark.
33. Trois étalons secondaires d'intensité lumineuse (2800 K), n ^{os} 1/1, 1/2, 1/3 (addition)	Bureau fédéral des mesures et métaux précieux, Belgrade, Yougoslavie.
34. Quatre étalons secondaires d'intensité lumineuse (2800 K), n ^{os} 7HA78, 7HB78, 7HC78, 7GW78 (addition)	Id.
35. Étalon de masse de 1 kg, n° 33, en Nicral D (addition)	Id.
36. Étalon de masse de 1 kg, n° 00601066, en acier inoxydable	Czech Metrological Institute, Brno, Rép. tchèque.
37. Étalon de masse de 1 kg, n° 00601152, en acier inoxydable	Id.
38. Étalon de masse de 1 kg, en acier inoxydable (addition)	Mettler-Toledo AG, Greifensee, Suisse.

Notes d'étude

1996

N^{os}

2. Quatre photodiodes, n ^{os} H1015, H1016, U1007, U1008	Singapore Institute of Standards and Industrial Research, Singapour.
--	--

- | | |
|---|---|
| 3. Cellule à point triple de l'eau,
n° 221 | Instituto Nacional de Metrologia,
Normalização e Qualidade
Industrial, Rio de Janeiro,
Brésil. |
|---|---|

1997

N^{os}

- | | |
|---|--|
| 1. Laser à hélium-néon
de longueur d'onde 543,5 nm | Centro Nacional de Metrologia,
Querétaro, Mexique. |
| 2. Balance de pression,
CEC n° 4162 | Russian Research Institute
for Metrological Service
of Gosstandart of Russia,
Moscou, Féd. de Russie. |
| 3. Étalon de résistance de 1 Ω ,
n° 270286 | Ulusal Metroloji Enstitüsü,
Gebze-Kocaeli, Turquie. |
| 4. Étalon de résistance de 1 Ω ,
n° 270288 | Id. |
| 5. Cellule à point triple de l'eau,
n° 679 | BNM-INM, Paris, France. |
| 6. Deux cellules à point triple de l'eau,
n ^{os} 931 et 932 | Institut de métrologie
D.I. Mendéléev,
Saint-Pétersbourg,
Féd. de Russie. |

11 GESTION DU BIPM

11.1 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 1996.

11.1.1 Compte I : fonds ordinaires*

Recettes

	francs-or
Actif au 1 ^{er} janvier 1996	17 897 217,00
Recettes budgétaires	31 610 765,40
Taxes sur les achats remboursées	824 391,62
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1996	346 153,88
Total	50 678 527,90

Dépenses

	francs-or
Dépenses budgétaires	26 126 885,06
Taxes sur les achats remboursables	838 467,54
Différences de change	50 253,82
Actif au 31 décembre 1996	23 662 921,48
Total	50 678 527,90

Détail des recettes budgétaires

		francs-or	
Versement de contributions :			
au titre de l'exercice 1996	23 317 778	} 29 554 244,00	
au titre de l'exercice 1995	3 694 203		
au titre de l'exercice 1994	233 920		
au titre de l'exercice 1997	2 308 343		
Intérêts des fonds		1 458 444,50	
Recettes diverses	cession de prototypes (kg)	250 417,74	} 598 076,90
	divers	347 659,16	
Total		31 610 765,40	

* Dans ce compte, comme dans le reste de ce document, on utilise le franc-or défini par l'équivalence : 1 franc-or = 1,814 52 franc français.

Dépenses du Compte I. — Les dépenses budgétaires en 1996 se sont élevées à 26 126 885,06 francs-or pour un budget voté s'élevant à 27 575 000 francs-or.

Détail des dépenses budgétaires

Chapitres	Dépenses de l'exercice	Budget voté	Économies	Dépassements
<i>A. Dépenses de personnel :</i>				
1. Traitements	11 432 087,61	11 540 000	107 912,39	-
2. Allocations familiales et sociales	2 358 838,21	2 338 000	-	20 838,21
3. Assurance maladie (a)	1 029 672,82	1 145 000	115 327,18	-
4. Assurance accidents du travail	42 516,63	44 000	1 483,37	-
5. Caisse de retraite (b)	2 300 000,00	2 300 000	-	-
	17 163 115,27	17 367 000	115 327,18	-
<i>B. Dépenses de fonctionnement :</i>				
1. Mobilier	41 321,44	40 000	-	1 321,44
2. Laboratoires et atelier	913 321,25	1 283 000	369 678,75	-
3. Chauffage, eau, énergie électrique ..	410 923,75	514 000	103 076,25	-
4. Assurances	69 926,37	93 000	23 073,63	-
5. Impressions et publications	121 180,23	180 000	58 819,77	-
6. Frais de bureau	444 012,69	457 000	12 987,31	-
7. Voyages et transports d'appareils	615 693,34	536 000	-	79 693,34
8. Entretien courant	428 782,11	419 000	-	9 782,11
9. Bureau du Comité	48 000,00	60 000	12 000,00	-
	3 093 161,18	3 582 000	58 819,77	-
<i>C. Dépenses d'investissement :</i>				
1. Laboratoires	2 494 488,70	3 237 000	742 511,30	-
2. Atelier de mécanique	74 282,23	211 000	136 717,77	-
3. Bibliothèque	298 606,58	317 000	18 393,42	-
	2 867 377,51	3 765 000	136 717,77	-
<i>D. Dépenses de bâtiments</i> (gros travaux d'entretien et de rénovation) (c)				
	2 529 000,00	2 529 000	-	-
<i>E. Frais divers et imprévus (d) (e)</i>				
	474 231,10	332 000	-	142 231,10
Totaux	26 126 885,06	27 575 000	1 701 981,14	253 866,20

(a) Comprenant un virement de 318 478,90 francs-or au Compte II (Caisse de retraite).

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

(c) Comprenant un virement de 1 911 246,70 francs-or au Compte V (Réserve pour les bâtiments).

(d) Comprenant un virement de 15 198 francs-or au Compte IV (Caisse de prêts sociaux).

(e) Comprenant un virement de 394 038,05 francs-or au Compte VI (Metrologia).

11.1.2 Compte II : caisse de retraite

Recettes	
	francs-or
Actif au 1 ^{er} janvier 1996	23 364 621,76
Retenues sur les traitements	1 040 136,23
Virement du Compte I*	2 618 478,90
Intérêts des fonds	1 575 002,33
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1996	363 181,46
Total	28 961 420,68

Dépenses	
	francs-or
Pensions servies	3 999 959,13
Capital-décès versé	138 036,50
Actif au 31 décembre 1996	24 823 425,05
Total	28 961 420,68

* Comprenant un virement de 318 478,90 francs-or provenant des économies réalisées sur l'assurance maladie (cf *BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 1994, **62**, 19).

11.1.3 Compte III : fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique

Recettes	
	francs-or
Actif au 1 ^{er} janvier 1996	111 382,41
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1996	1 621,67
Total	113 004,08

Dépenses	
	francs-or
Actif au 31 décembre 1996	113 004,08
Total	113 004,08

11.1.4 Compte IV : caisse de prêts sociaux

Recettes		
		francs-or
Actif au 1 ^{er} janvier 1996	246 231,16	} 482 970,09
Créances au 1 ^{er} janvier 1996	236 738,93	
Créances nouvelles en cours d'année		259 572,78
Amortissements partiels des prêts :		
Capital	128 947,99	} 137 145,90
Intérêts	8 197,91	
Virement du Compte I		15 198,00
Intérêts des fonds		11 871,39
Total		906 758,16

Dépenses		
		francs-or
Prêts consentis en cours d'année		259 572,78
Créances amorties en cours d'année		128 947,99
Créances au 31 décembre 1996	367 363,72	} 518 237,39
Actif au 31 décembre 1996	150 873,67	
Total		906 758,16

11.1.5 Compte V : réserve pour les bâtiments

Ce compte a été créé en 1980 afin de suivre le programme financier de la construction des bâtiments. Il a été précédemment utilisé pour la construction des bâtiments des « Lasers » et du « Nouveau Pavillon » dont l'inauguration a eu lieu respectivement en 1984 et en 1988. Il a été utilisé au cours de cet exercice en vue de la réhabilitation du bâtiment des « Neutrons ». Ce compte est alimenté par virement du Compte I des excédents du chapitre « Bâtiments ».

Recettes		
		francs-or
Actif au 1 ^{er} janvier 1996		0,00
Virement du Compte I		1 911 246,70
Total		1 911 246,70

Dépenses		
		francs-or
Actif au 31 décembre 1996		1 911 246,70
Total		1 911 246,70

11.1.6 Compte VI : Metrologia

Recettes	
	francs-or
Abonnements encaissés	428 845,76
Virement du Compte I	394 038,05
Total	822 883,81
Dépenses	
	francs-or
Dépenses de fonctionnement	802 686,38
Dépenses d'investissement	20 197,43
Total	822 883,81

11.1.7 Compte VII : fonds de réserve pour l'assurance maladie

Recettes	
	francs-or
Actif au 1 ^{er} janvier 1996	1 668 467,95
Intérêts des fonds	107 977,54
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1996	26 167,94
Total	1 802 613,43
Dépenses	
	francs-or
Subvention des cotisations des retraités	13 421,35
Actif au 31 décembre 1996	1 789 192,08
Total	1 802 613,43

11.1.8 Bilan au 31 décembre 1996

	francs-or
Compte I « Fonds ordinaires »	23 662 921,48
Compte II « Caisse de retraite »	24 823 425,05
Compte III « Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique » ..	113 004,08
Compte IV « Caisse de prêts sociaux »	518 237,39
Compte V « Réserve pour les bâtiments »	1 911 246,70
Compte VI « Metrologia »	0,00
Compte VII « Fonds de réserve pour l'assurance maladie »	1 789 192,08
Actif net	52 818 026,78

Cet actif net se décompose comme suit :

a. Fonds déposés en banque :

	francs-or
1. En francs français (1 FRF = 0,551 109 935 FO)	15 322 541,33
2. En dollars américains (1 USD = 5,2370 FRF = 2,886 162 732 FO)	8 485 093,19
3. En francs suisses (1 CHF = 3,8799 FRF = 2,138 251 438 FO)	36,91
4. En livres sterling (1 GBP = 8,9005 FRF = 4,905 153 980 FO)	28 996,08
5. En Deutsche Marks (1 DEM = 3,3711 FRF = 1,857 846 703 FO)	6 784 200,86
6. En yens (100 JPY = 4,4992 FRF = 2,479 553 821 FO)	39 869,29
7. En forints (1 HUF = 0,0321 FRF = 0,017 690 629 FO)	1 785,82
8. En florins (1 NLG = 3,0036 FRF = 1,655 313 802 FO)	3 738 231,36
9. En francs belges (1 BEF = 0,1636 FRF = 0,090 161 585 FO)	1 803 232,52
10. En couronnes danoises (1 DKK = 0,8812 FRF = 0,485 638 075 FO) ..	5 973 348,32
11. En liras italiennes (1000 ITL = 3,4290 FRF = 1,889 755 969 FO)	1 669 142,62
12. En pesetas (100 ESP = 3,9970 FRF = 2,202 786 412 FO)	1 903 207,46
13. En écus (1 XEU = 6,5050 FRF = 3,584 970 130 FO)	6 966 460,22
b. Espèces en caisse	7 716,73
Actif brut	52 723 862,71
c. Créances de la Caisse de prêts sociaux	367 363,72
d. Provision pour remboursement aux États à déduire ⁽¹⁾	- 127 708,00
e. Sommes reçues de l'ex-Yougoslavie à déduire	- 145 491,65
Actif net	52 818 026,78

⁽¹⁾ Compte « Remboursement aux États »

	francs-or
Situation au 1 ^{er} janvier 1996	127 708,00
Situation au 31 décembre 1996	127 708,00

11.2 Personnel

11.2.1 Promotions et changements de grade

Penelope Allisy-Roberts, *physicien*, a été promue au grade de *physicien principal*.

Guy Ratel, *physicien*, a été promu au grade de *physicien principal*.

Alain Picard, *assistant*, a été promu au grade de *physicien* à dater du 1^{er} janvier 1997.

Les deux premières promotions ont été ratifiées par le Comité international lors de sa session de septembre 1997.

11.2.2 Engagements

Michael Stock, né le 29 mai 1964 à Oldenburg (Allemagne), précédemment *physicien* à la Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Berlin), a été engagé en qualité de *physicien* dans la section de radiométrie à dater du 1^{er} octobre 1996.

André Zongo, né le 11 mai 1965 à Marin (Martinique), a été engagé comme *aide-jardinier* contractuel à dater du 1^{er} octobre 1996 pour une période d'un an.

Laurent Le Mée, né le 31 juillet 1964 à Savigny-sur-Orge (Essonne), précédemment ingénieur système dans une société privée, a été engagé comme *technicien principal* contractuel à dater du 10 mars 1997 ; il est chargé du réseau informatique interne du BIPM.

Françoise Joly, née le 2 janvier 1951 à Saint-Georges-de-Didonne (Charente-Maritime), précédemment assistante du directeur d'une société privée, a été engagée comme *secrétaire de direction* contractuelle à dater du 20 mai 1997. Elle est l'assistante du directeur.

Janet R. Miles, née le 27 janvier 1969 à Londres (Royaume-Uni), précédemment rédacteur adjoint chez Wiley-VCH en Allemagne, a été engagée en qualité de *physicien* à dater du 1^{er} juillet 1997. Elle participe à l'édition des publications du BIPM et est rédacteur adjoint de *Metrologia*.

Fabrice Boyer, né le 1^{er} octobre 1968 à Courbevoise (Hauts-de-Seine), précédemment fraiseur-tourneur dans une société privée, a été engagé en qualité de *mécanicien* contractuel à dater du 1^{er} septembre 1997.

Pascal Lemartrier, né le 16 octobre 1958 à Versailles (Yvelines), précédemment peintre dans une société privée, a été engagé en qualité de *maçon* contractuel à dater du 1^{er} septembre 1997.

11.2.3 Chercheurs associés

Peter Wolf, chercheur associé dans la section du temps depuis le 1^{er} avril 1995, a été prolongé dans ses fonctions jusqu'au mois de décembre 1997.

Jürgen Melcher, chercheur associé dans la section d'électricité depuis le 1^{er} septembre 1995, a quitté le BIPM le 30 août 1997 à la fin de son contrat.

Samuel Richman, né le 26 octobre 1968 au Nouveau-Mexique (États-Unis), précédemment étudiant de recherche au JILA à Boulder, a été engagé comme chercheur associé dans la section des masses à dater du 1^{er} septembre 1997 pour une période de deux ans.

11.2.4 Décès

Christophe Angot, *jardinier* depuis le 1^{er} novembre 1986, est décédé le 5 novembre 1996.

11.2.5 Départs

Caroline Lawrence, *secrétaire de rédaction*, a démissionné le 31 janvier 1997 après près de six années de service.

Jacqueline Monprofit, *secrétaire de direction*, a pris sa retraite le 31 mai 1997 après 34 années de services dévoués et d'une grande compétence.

Angelina Perez, *agent d'entretien*, a pris sa retraite le 30 septembre 1997 après 24 années de services dévoués et efficaces.

Alfredo Gama, *maçon*, a pris sa retraite le 30 septembre 1997 après 35 années de services dévoués et efficaces.

11.3 Bâtiments

11.3.1 Grand Pavillon

Réfection d'un bureau.

Peinture des toilettes au sous-sol.

Remplacement de la moquette dans la cage d'escalier.

Vitrification du parquet dans le couloir.

11.3.2 Petit Pavillon

Rénovation partielle de l'appartement des stagiaires.

Réfection de la toiture au-dessus de l'atelier de mécanique afin de colmater les fuites.

11.3.3 Observatoire

Réfection du Caveau supérieur et achat d'un nouveau coffre.

Réfection d'un laboratoire (Salle 6).

Remplacement du système d'air conditionné dans deux laboratoires (Salles 6 et 14).

Remplacement des marches en pierre à l'entrée de la porte principale.

11.3.4 Bâtiment des rayonnements ionisants

Réfection d'un bureau.

Installation d'une salle pour le nouveau tour à pointe de diamant.

11.3.5 Bâtiment des neutrons

Poursuite de l'étude de la reconversion du bâtiment en atelier de mécanique et en bureaux.

11.3.6 Extérieurs et parc

Abattage d'un certain nombre d'arbres dangereux.

Taille des tilleuls le long de l'allée du Mail.

Réparation et remplacement partiel des paratonnerres.

Remplacement partiel des haies de buis dans le jardin.

LISTE DES SIGLES UTILISÉS DANS LE PRÉSENT VOLUME

1 Sigles des laboratoires, commissions et conférences

AIEA	Agence internationale de l'énergie atomique
AIG	Association internationale de géodésie
AOS	Astronomiczne Obserwatorium Szerokościowe, Borowiec (Pologne)
APEC	Asia-Pacific Economic Cooperation
APMP	Asia/Pacific Metrology Programme
ARL	Australian Radiation Laboratory, Yallambie (Australie)
BARC	Bhabha Atomic Research Centre, Trombay (Inde)
*BCMN	Bureau central de mesures nucléaires, IMMR-CCE, Geel (Belgique), voir IMMR
BEST	State Bureau of Technical Supervision, Beijing (Chine)
BFMMP/SZMDM	Bureau fédéral des mesures et métaux précieux/Savezni Zavod za Mere i Dragocene Metale, Belgrade (Yougo- slavie)
BIML	Bureau international de métrologie légale
BIPM	Bureau international des poids et mesures
BNM	Bureau national de métrologie, Paris (France)
BNM-INM	Bureau national de métrologie : Institut national de métrologie, Paris (France)
BNM-LCIE	Bureau national de métrologie : Laboratoire central des industries électriques, Fontenay-aux-Roses (France)
BNM-LPRI	Bureau national de métrologie : Laboratoire primaire des rayonnements ionisants, Saclay (France)

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

BNM-LPTF	Bureau national de métrologie : Laboratoire primaire du temps et des fréquences, Paris (France)
*CCDM	Comité consultatif pour la définition du mètre, <i>voir</i> CCL
*CCDS	Comité consultatif pour la définition de la seconde, <i>voir</i> CCTF
*CCE	Comité consultatif d'électricité, <i>voir</i> CCEM
CCEM	(ex CCE) Comité consultatif d'électricité et magnétisme
CCE/CEC	Commission des communautés européennes
*CCEMRI	Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants, <i>voir</i> CCRI
CCL	(ex CCDM) Comité consultatif des longueurs
CCM	Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées
CCPR	Comité consultatif de photométrie et radiométrie
CCQM	Comité consultatif pour la quantité de matière
CCRI	(ex CCEMRI) Comité consultatif des rayonnements ionisants
CCT	Comité consultatif de thermométrie
CCTF	(ex CCDS) Comité consultatif du temps et des fréquences
CCU	Comité consultatif des unités
CEA	Commissariat à l'énergie atomique, Paris (France)
CEI	Commission électrotechnique internationale
CEM	Centro Español de Metrología, Madrid (Espagne)
CENAM	Centro Nacional de Metrología, Mexico (Mexique)
CERN	Conseil européen pour la recherche nucléaire, Genève (Suisse)
CGPM	Conférence générale des poids et mesures
CIE	Commission internationale de l'éclairage
CIEMAT	Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Madrid (Espagne)
CIML	Comité international de métrologie légale
CIPM	Comité international des poids et mesures
CLEO	Conference on Lasers and Electro-Optics
CMA/MIKES	Mittatekniiikan Keskus/Centre for Metrology and Accreditation, Helsinki (Finlande)
CMI	Český Metrologický Institut/Czech Metrological Institute, Prague et Brno (Rép. tchèque)

CNEA	Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires (Argentine)
CNES	Centre national d'études spatiales, Toulouse (France)
CNIG	Conseil national de l'information géographique, Paris (France)
CNRS	Centre national de la recherche scientifique, Paris (France)
CODATA	Committee on Data for Science and Technology
COOMET	Cooperation in Metrology among the Central European Countries
CPEM	Conference on Precision Electromagnetic Measurements
CRL	Communications Research Laboratory, Tokyo (Japon)
CSIR	(ex NPRL) Council for Scientific and Industrial Research, National Metrology Laboratory, Pretoria (Afrique du Sud)
CSIRO-NML	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization : National Measurement Laboratory, Lindfield (Australie)
*CSMU	Československý Metrologický Ústav, Bratislava et Prague (Slovaquie et Rép. tchèque), voir CMI et SMU
DFM	Danish Institute of Fundamental Metrology, Lyngby (Danemark)
*DSIR	Department of Scientific and Industrial Research, Lower Hutt (Nouvelle-Zélande), voir MSL
DTAG	Deutsche Telecom AG, Darmstadt (Allemagne)
EA	European Cooperation for Accreditation
EAM	voir OFMET
EFTF	Forum européen fréquence et temps
ENS	École normale supérieure, Paris (France)
*EOLAS	Irish Science and Technology Agency, Dublin (Irlande), voir FORBAIRT
EQEC	European Quantum Electronics Conference
ETCA	Établissement technique central de l'armement, Arcueil (France)
ETL	Electrotechnical Laboratory, Tsukuba (Japon)
EUROMET	European Collaboration in Measurement Standards
FCS	Frequency Control Symposium
FORBAIRT-NML	(ex EOLAS) National Metrology Laboratory, Dublin (Irlande)

GREX	Groupe de recherche du CNRS : Gravitation et expériences (France)
GRGS	Groupe de recherches de géodésie spatiale
GT-RF	Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences du CCE
GUM	(ex PKNM) Główny Urząd Miar/Central Office of Measures, Varsovie (Pologne)
HUT	Helsinki University of Technology, Helsinki (Finlande)
IAP	Institute of Atomic Physics, Bucarest (Roumanie)
IAUB	Institut d'astronomie de l'université de Berne, Berne (Suisse)
ICAG	International Conference of Absolute Gravimeters
ICRM	International Committee for Radionuclide Metrology
ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurements
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IEN	Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin (Italie)
*IER-EPFL	<i>voir</i> IRA
IERS	Service international de la rotation terrestre
IGM	Inspection générale de la métrologie, Bruxelles (Belgique)
IIR	(ex UVVVR) Inspectorate for Ionizing Radiation, Prague (Rép. tchèque)
ILAC	International Laboratory Accreditation Conference
ILP	Institut de physique des lasers de l'Académie des sciences de Russie, Novosibirsk (Féd. de Russie)
IMEKO	International Measurement Confederation
IMGC	Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin (Italie)
*IMM	<i>voir</i> VNIIM
IMMR	(ex BCMN) Institut des matériaux et mesures de référence, Geel (Belgique)
INEAM	International and National Aspects of Ecological Monitoring, Saint-Petersbourg (Féd. de Russie)
INETI	(ex LNETI) Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, Lisbonne (Portugal)
*INM	Institut national de métrologie, Paris (France), <i>voir</i> BNM-INM
INM	Institutul National de Metrologie, Bucarest (Roumanie)

INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, Rio de Janeiro (Brésil)
INTELSAT	International Telecommunications Satellite Organization
INTI	Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Buenos Aires (Argentine)
ION	Institute of Navigation, Alexandria VA (États-Unis)
IPEM	Institute of Physics and Engineering in Medicine, York (Royaume-Uni)
*IPEMB	Institute of Physics and Engineering in Medicine and Biology, York (Royaume-Uni), <i>voir</i> IPEM
IPQ	Instituto Português da Qualidade, Lisbonne (Portugal)
IRA	(ex IER-EPFL) Institut de radiophysique appliquée, Lausanne (Suisse)
IRL	Industrial Research Limited, Lower Hutt (Nouvelle-Zélande)
ISI	Institute of Scientific Instruments, Academy of Sciences of the Czech Republic, Brno (Rép. tchèque)
ISO	Organisation internationale de normalisation
ISO/TAG 4	Organisation internationale de normalisation : Comité technique 4 (métrologie)
IUPAC	<i>voir</i> UICPA
IUPAP	<i>voir</i> UIPPA
JCGM	Comité commun pour les guides en métrologie
JILA	Joint Institute for Laboratory Astrophysics, Boulder CO (États-Unis)
KRISS	(ex KSRI) Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon (Rép. de Corée)
*KSRI	Korea Standards Research Institute, Taejon (Rép. de Corée), <i>voir</i> KRISS
LATU	Laboratório Tecnológico del Uruguay, Montevideo (Uruguay)
*LCIE	Laboratoire central des industries électriques, Fontenay-aux-Roses (France), <i>voir</i> BNM-LCIE
*LMRI	Laboratoire de métrologie des rayonnements ionisants, Saclay (France), <i>voir</i> LPRI
*LNETI	Laboratório Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, Lisbonne (Portugal)

LNMRI	Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ioni- zantes, Rio de Janeiro (Brésil)
*LPRI	(ex LMRI) Laboratoire primaire des rayonnements ioni- sants, Saclay (France), <i>voir</i> BNM-LPRI
*LPTF	Laboratoire primaire du temps et des fréquences, Paris (France), <i>voir</i> BNM-LPTF
MFQ	Mouvement français pour la qualité (France)
MIKES	Mittatekniikan Keskus, Helsinki (Finlande), <i>voir</i> CMA
MRI	Metrology Research Institute, Helsinki (Finlande)
MSL-IRL	(ex DSIR) Measurement Standards Laboratory of New Zealand, Lower Hutt (Nouvelle-Zélande)
*NBS	National Bureau of Standards, Gaithersburg MD (États-Unis), <i>voir</i> NIST
NCSL	National Conference of Standards Laboratories
NILPRP	National Institute for Laser, Plasma and Radiation Physics, Bucarest (Roumanie)
NIM	Institut national de métrologie, Beijing (Chine)
*NIRH/SSI	National Institute of Radiation Protection, Stockholm (Suède), <i>voir</i> SRPI
NIS	National Institute for Standards, Le Caire (Égypte)
NIST	(ex NBS) National Institute of Standards and Tech- nology, Gaithersburg MD (États-Unis)
NMi-VSL	Nederlands Meetinstituut : Van Swinden Laboratorium, Delft (Pays-Bas)
NML	<i>voir</i> FORBAIRT
*NML	National Measurement Laboratory, Lindfield (Austra- lie), <i>voir</i> CSIRO
NORAMET	North American Metrology Cooperation
NPL	National Physical Laboratory, Teddington (Royaume- Uni)
*NPRL	National Physical Research Laboratory, Pretoria (Afrique du Sud), <i>voir</i> CSIR
NRC	Conseil national de recherches du Canada, Ottawa (Canada)
NRLM	National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba (Japon)
OCA	Observatoire de la Côte d'Azur, Grasse (France)
OFMET	Office fédéral de métrologie/Eidgenössisches Amt für Messwesen, Wabern (Suisse)
OIML	Organisation internationale de métrologie légale

OMH	Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest (Hongrie)
OP	Observatoire de Paris (France)
ORB	Observatoire royal de Belgique, Bruxelles (Belgique)
*PKNM	Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakości, Varsovie (Pologne), <i>voir</i> GUM
PSB	(ex SISIR) Singapore Productivity and Standards Board (Singapour)
PSPKR	Pusat Standardisasi dan Penelitian Keselamatan Radiasi, Jakarta (Indonésie)
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig et Berlin (Allemagne)
PTTI	Precise Time and Time Interval Applications and Planning Meeting
RC	Radioisotope Centre, Otwock/Swierk (Pologne)
SCL	Standards and Calibration Laboratory (Hong Kong)
*SISIR	Singapore Institute of Standards and Industrial Research (Singapour), <i>voir</i> PSB
SMU	(ex CSMU) Slovenský Metrologický Ústav, Bratislava (Slovaquie)
SP	(ex Statens Provningsanstalt) Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Borås (Suède)
SRPI	(ex NIRP/SSI) Swedish Radiation Protection Institute, Stockholm (Suède)
SSDL	Secondary Standards Dosimetry Laboratories
STU	Physicochemical Symbols, Terminology and Units, IUPAC Commission
SUN-AMCO	Symbols, Units and Nomenclature, Atomic Masses and Fundamental Constants, IUPAP Commission
SZMDM	<i>voir</i> BFMMP
TUG	Technical University, Graz (Autriche)
UAI/IAU	Union astronomique internationale
UGGI	Union géodésique et géophysique internationale
UICPA	Union internationale de chimie pure et appliquée
UIPPA	Union internationale de physique pure et appliquée
UIT	Union internationale des télécommunications
UME	Ulusal Metroloji Enstitüsü, Marmara Research Centre, Gebze-Kocaeli (Turquie)
*UVVVR	<i>voir</i> IIR
VNIIM	(ex IMM) Institut de métrologie D.I. Mendéléev, Saint-Pétersbourg (Féd. de Russie)

VNIIMS	Russian Research Institute for Metrological Service of Gosstandart of Russia, Moscou (Féd. de Russie)
*VSL	Van Swinden Laboratorium, Delft (Pays-Bas), voir NMI-VSL

2 Sigles des termes scientifiques

CCD	Dispositif à couplage de charge
EAL	Échelle atomique libre
FTP	File Transfer Protocol
GLONASS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
IGS	International GPS Service for Geodynamics
KTP	Potasse titanyle phosphate
LGS	Linear gate and stretched module
LPTF-FO1	Fontaine à césium n° 1 du Laboratoire primaire du temps et des fréquences
MJD	Jour Julien modifié
PHARAO	Projet d'horloge atomique à refroidissement d'atomes en orbite
SI	Système international d'unités
SIR	Système international de référence pour les mesures d'activité d'émetteurs de rayons gamma
TAI	Temps atomique international
UTC	Temps universel coordonné



Bureau International des Poids et Mesures

Comité International des Poids et Mesures

86th Meeting (September 1997)

Note on the use of the English text

To make its work more widely accessible the Comité International des Poids et Mesures publishes 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.

TABLE OF CONTENTS

Photograph of participants attending the 86th Meeting of the CIPM	2
Member States of the Metre Convention	194
The BIPM and the Metre Convention	195
Current members of the Comité International des Poids et Mesures	199
Staff of the Bureau International des Poids et Mesures	203
Proceedings of the sessions, 23, 24, 25 September 1997	205
Agenda	206
1 Opening of the meeting; quorum; agenda	209
2 Report of the Secretary and activities of the bureau of the CIPM	210
2.1 Member States of the Metre Convention	210
2.2 Membership of the CIPM	210
2.3 Meeting of directors of national metrology institutes	211
2.4 Consultative Committees	211
2.5 Report on the long-term needs for metrology	211
2.6 Equivalence of national measurement standards	212
2.7 Third meeting of the joint OIML/Metre Convention working group	212
2.8 The seventh edition of the SI brochure: use of the dot on the line as the decimal marker in the English text	212
2.9 Proposal for a joint BIPM/IAU committee	212
2.10 BIPM matters	213
2.10.1 New building	213
2.10.2 Early retirement for long-serving staff	213
2.11 Financial affairs of the BIPM	214
2.12 Other business	214
3 Membership of the CIPM	216
3.1 Criteria for membership	216

3.2 Honorary members	217
4 Equivalence of national measurement standards	219
5 Long-term needs relating to metrology	221
6 The Metre Convention and the Organisation Internationale de Métrologie Légale	222
7 Consultative Committees	223
7.1 Consultative Committee for Amount of Substance	223
7.2 Consultative Committee for Photometry and Radiometry	223
7.3 Consultative Committee for Electricity	224
7.4 Consultative Committee for Standards of Ionizing Radiation ..	224
7.5 Consultative Committee for the Definition of the Metre	225
7.6 Change of name and acronym of some Consultative Committees ..	226
7.7 Presidency of Consultative Committees	226
7.8 Membership of Consultative Committees	226
7.9 Future meetings of Consultative Committees	227
8 The seventh edition of the SI brochure	228
9 Work of the BIPM; Report of the Director	230
9.1 Work of the BIPM	230
9.2 Depository of the metric prototypes	231
10 Administrative and financial affairs	233
10.1 Administrative and financial affairs	233
10.2 New workshop and building	233
10.3 Promotions	234
10.4 Staff Statutes	234
10.5 Crèche	234
10.6 Metrologia	234
11 Miscellaneous items	236
11.1 BIPM/IAU Joint Committee on General Relativity for Space- Time Reference Systems and Metrology	236
11.2 Joint Committee for Guides in Metrology	237
11.3 Definition of the term quantity	237
11.4 So-called intrinsic standards	237
11.5 Working group on acoustics, ultrasound and vibration	237
11.6 Other business	238
12 Next CIPM meeting	239
Recommendations adopted by the CIPM at its 86th Meeting	241
1 (CI-1997): Revision of the practical realization of the definition of the metre.....	243
2 (CI-1997): Metrology in chemistry	253

Membership of Consultative Committees of the Comité International des Poids et Mesures	255
Director's Report on the Activity and Management of the Bureau International des Poids et Mesures (October 1996 - September 1997)	275
1 General introduction to the scientific work of the BIPM	277
1.1 Publications, lectures, travel not directly related to individual sections	280
1.1.1 External publications	280
1.1.2 Travel (conference, lectures and presentations, visits)	281
1.2 Activities related to external organizations	282
1.3 Activities related to the work of Consultative Committees	282
2 Length	283
2.1 Length measurement: nanometrology	283
2.1.1 Laser interferometric diffractometer: three wavelength method	283
2.1.2 Laser displacement interferometry for nanometric measurements	284
2.2 Lasers	284
2.2.1 Doubled Nd:YAG laser at $\lambda \approx 532$ nm	284
2.2.2 Iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda \approx 543.5$ nm using external cells	285
2.2.3 Iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda \approx 633$ nm using internal cells	286
2.2.4 Extended-cavity diode lasers using an intracavity iodine cell at $\lambda \approx 633$ nm	287
2.2.5 Rubidium-stabilized diode lasers at $\lambda \approx 778$ nm using the hyperfine components of 5S-5D two-photon transitions .	288
2.2.6 Methane-stabilized He-Ne lasers at $\lambda \approx 3.39$ μm using internal and external cells	288
2.2.7 Frequency synthesis chain for measuring the absolute frequency of iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda \approx 633$ nm	289
2.2.8 Iodine cells	290
2.2.9 Hyperfine structure	290
2.3 Gravimetry	290
2.3.1 Absolute gravimeter FG5-108	290
2.3.2 International comparison	291
2.4 Publications, lectures, travel: Length section	291
2.4.1 External publications	291

2.4.2	Travel (conferences, lectures and presentations, visits) ..	292
2.5	Activities related to the work of Consultative Committees	293
2.6	Visitors to the Length section	293
3	Mass and related quantities	295
3.1	Stainless-steel standards	295
3.2	New flexure-strip balance	296
3.3	The NIST watt balance	296
3.4	Torsion balance for measurement of the gravitational constant, G	297
3.5	Platinum-iridium 1 kg prototypes	298
3.6	New hydrostatic balance	298
3.7	Publications, lectures, travel: Mass section	298
3.7.1	External publications	298
3.7.2	Travel (conferences, lectures and presentations, visits) ..	299
3.8	Activities related to the work of Consultative Committees	299
3.9	Visitors to the Mass section	299
4	Time	300
4.1	International Atomic Time (TAI) and Coordinated Universal Time (UTC)	300
4.2	Algorithms for time scales	300
4.2.1	EAL stability	300
4.2.2	TAI accuracy	301
4.3	Time links	302
4.3.1	Global Positioning System (GPS)	302
4.3.2	Global Navigation Satellite System (GLONASS)	304
4.3.3	Two-way time transfer	304
4.4	Application of general relativity to time metrology	305
4.5	Pulsars	305
4.6	Space-time references	306
4.7	Publications, lectures, travel: Time section	306
4.7.1	External publications	306
4.7.2	BIPM publications	308
4.7.3	Travel (conferences, lectures and presentations, visits) ..	308
4.8	Activities related to external organizations	310
4.9	Activities related to the work of Consultative Committees	311
4.10	Visitors to the Time section	311
5	Electricity	312
5.1	Electrical potential: Josephson effect	312
5.2	Electrical resistance and impedance	314

5.2.1	Measurements of the quantized Hall resistance at kilohertz frequencies	314
5.2.2	Development of ac bridges for the calibration of capacitance standards	315
5.2.3	Change of the reference temperature for resistance calibrations to 23 °C	316
5.3	Measurements of temperature and pressure coefficients of electrical standards	316
5.4	Bilateral comparisons of electrical standards at the BIPM	317
5.5	Routine calibrations	318
5.6	Publications, lectures, travel: Electricity section	318
5.6.1	External publications	318
5.6.2	Travel (conferences, lectures and presentations, visits) ..	319
5.7	Activities related to external organizations	319
5.8	Activities related to the work of Consultative Committees	320
5.9	Visitors to the Electricity section	320
6	Radiometry, photometry, thermometry and pressure	321
6.1	Radiometry, photometry	321
6.2	Thermometry and pressure	322
6.3	Calibration work	322
6.4	General work	323
6.5	Publications, lectures, travel: Radiometry, photometry, thermometry and pressure section	323
6.5.1	External publications	323
6.5.2	Travel (conferences, lectures and presentations, visits) ..	323
6.6	Activities related to the work of Consultative Committees	324
6.7	Visitors to the Radiometry, photometry, thermometry and pressure section	324
7	Ionizing radiation	325
7.1	X- and γ -rays	325
7.1.1	Correction factors for free-air chambers	325
7.1.2	Recombination coefficient	325
7.1.3	Comparisons and calibrations at the BIPM	326
7.1.4	Regional and international comparisons	327
7.2	Radionuclides	327
7.2.1	Activity measurements	327
7.2.2	Detection of radioactive impurities	329
7.3	Publications, lectures, travel: Ionizing radiation section	329
7.3.1	External publications	329
7.3.2	BIPM reports	330

7.3.3	Travel (conferences, lectures and presentations, visits) ..	330
7.4	Activities related to external organizations	331
7.5	Activities related to the work of Consultative Committees	332
7.6	Visitors to the Ionizing radiation section	332
8	Publications of the BIPM	333
8.1	General publications	333
8.2	Metrologia	333
9	Meetings and lectures at the BIPM	335
9.1	Meetings	335
9.2	Lectures	335
10	Certificates and Notes of Study	337
11	Management of the BIPM	342
11.1	Accounts	342
11.2	Staff	343
11.2.1	Promotions and change of grade (P. Allisy-Roberts, G. Ratel, A. Picard)	343
11.2.2	Appointments (M. Stock, A. Zongo, L. Le Mée, F. Joly, J.R. Miles, F. Boyer, P. Lemartrier)	343
11.2.3	Research fellows (P. Wolf, J. Melcher, S. Richman)	343
11.2.4	Death (C. Angot)	344
11.2.5	Departures (C. Lawrence, J. Monprofit, A. Perez, A. Gama)	344
11.3	Buildings	344
11.3.1	Grand Pavillon	344
11.3.2	Petit Pavillon	344
11.3.3	Observatoire	344
11.3.4	Ionizing radiation building	345
11.3.5	Neutron building	345
11.3.6	Outbuildings and park	345
	List of acronyms used in the present volume	347



MEMBER STATES OF THE METRE CONVENTION

Argentina	Japan
Australia	Korea (Dem. People's Rep. of)
Austria	Korea (Rep. of)
Belgium	Mexico
Brazil	Netherlands
Bulgaria	New Zealand
Cameroon	Norway
Canada	Pakistan
Chile	Poland
China	Portugal
Czech Republic	Romania
Denmark	Russian Federation
Dominican Republic	Singapore
Egypt	Slovakia
Finland	South Africa
France	Spain
Germany	Sweden
Hungary	Switzerland
India	Thailand
Indonesia	Turkey
Iran (Islamic Rep. of)	United Kingdom
Ireland	United States
Israel	Uruguay
Italy	Venezuela

THE BIPM AND THE METRE CONVENTION

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

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

The task of the BIPM is to ensure world-wide unification of physical measurements; its function is thus to:

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

The BIPM operates under the exclusive supervision of the Comité International des Poids et Mesures (CIPM) which itself comes under the authority of the Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM) and reports to it on the work accomplished by the BIPM.

Delegates from all Member States of the Metre Convention attend the General Conference which, at present, meets every four years. The function of these meetings is to :

- discuss and initiate the arrangements required to ensure the propagation and improvement of the International System of Units (SI), which is the modern form of the metric system;

- confirm the results of new fundamental metrological determinations and various scientific resolutions of international scope;
- take all major decisions concerning the finance, organization and development of the BIPM.

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

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

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

Following the extension of the work entrusted to the BIPM in 1927, the CIPM has set up bodies, known as Consultative Committees, whose function is to provide it with information on matters that it refers to them for study and advice. These Consultative Committees, which may form temporary or permanent working groups to study special topics, are responsible for coordinating the international work carried out in their respective fields and for proposing recommendations to the CIPM concerning units.

The Consultative Committees* have common regulations (*BIPM Proc.-Verb. Com. Int. Poids et Mesures*, 1963, 31, 97). They meet at irregular intervals. The president of each Consultative Committee is designated by the CIPM and

* In the section of this volume relating to the "Director's Report" for the period October 1996 to September 1997, the Consultative Committees are still designated by their former names. At its meeting in September 1997 the CIPM decided to change the names of four of these committees.

is normally a member of the CIPM. The members of the Consultative Committees are metrology laboratories and specialized institutes, agreed by the CIPM, which send delegates of their choice. In addition, there are individual members appointed by the CIPM, and a representative of the BIPM (Criteria for membership of Consultative Committees, *BIPM Proc.-Verb. Com. Int. Poids et Mesures*, 1996, **64**, 124). At present, there are nine such committees:

1. The Consultative Committee for Electricity and Magnetism (CEEM), new name given in 1997 to the Consultative Committee for Electricity set up in 1927;
2. The Consultative Committee for Photometry and Radiometry (CCPR), new name given in 1971 to the Consultative Committee for Photometry (CCP) set up in 1933 (between 1930 and 1933 the CCE dealt with matters concerning photometry);
3. The Consultative Committee for Thermometry (CCT), set up in 1937;
4. The Consultative Committee for Length (CCL), new name given in 1997 to the Consultative Committee for the Definition of the Metre (CCDM), set up in 1952;
5. The Consultative Committee for Time and Frequency (CCTF), new name given in 1997 to the Consultative Committee for the Definition of the Second (CCDS) set up in 1956;
6. The Consultative Committee for Ionizing Radiation (CCRI), new name given in 1997 to the Consultative Committee for Standards of Ionizing Radiation (CEMRI) set up in 1958 (in 1969 this committee established four sections: Section I (X and γ rays, electrons), Section II (Measurement of radionuclides), Section III (Neutron measurements), Section IV (α -energy standards); in 1975 this last section was dissolved and Section II was made responsible for its field of activity);
7. The Consultative Committee for Units (CCU), set up in 1964 (this committee replaced the "Commission for the System of Units" set up by the CIPM in 1954);
8. The Consultative Committee for Mass and Related Quantities (CCM), set up in 1980;
9. The Consultative Committee for Amount of Substance (CCQM), set up in 1993.

The proceedings of the General Conference, the CIPM and the Consultative Committees are published by the BIPM in the following series:

- *Comptes Rendus des Séances de la Conférence Générale des Poids et Mesures*;

- *Procès-Verbaux des Séances du Comité International des Poids et Mesures*;
- *Reports of Meetings of Consultative Committees*.

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

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

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

Since 1965 *Metrologia*, an international journal published under the auspices of the CIPM, has printed articles dealing with scientific metrology, improvements in methods of measurement, work on standards and units, as well as reports concerning the activities, decisions and recommendations of the various bodies created under the Metre Convention.

**CURRENT MEMBERS
OF THE COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES**

as of 25 September 1997

President

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

Secretary

2. W.R. BLEVIN, c/o Division of Applied Physics, CSIRO, P.O. Box 218, Bradfield Road, Lindfield NSW 2070, Australia.

Members

3. CHUNG Myung Sai, President, Korea Research Institute of Standards and Science, P.O. Box 102, Yusong, Taejon 305-600, Republic of Korea.
4. GAO Jie, Director, Joint Laboratory of High Technology Metrology and Measurement, Adviser, China State Bureau of Technical Supervision, BP 8010, Beijing 100088, China.
5. K.B. GEBBIE, Director, Physics Laboratory, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899-0001, United States. *Vice-President.*
6. E. GÖBEL, President, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Postfach 3345, 38023 Braunschweig, Germany.
7. E.S.R. GOPAL, Director, National Physical Laboratory of India, Dr K.S. Krishnan Road, New Delhi 110012, India.
8. K. IIZUKA, c/o National Research Laboratory of Metrology, 1-1-4 Umezono, Tsukuba 305, Japan. *Vice-President.*

9. R. KAARLS, Director, Nederlands Meetinstituut, P.O. Box 654, 2600 AR Delft, Netherlands.
10. S. LESCHIUTTA, President, Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Strada delle Cacce 91, 10135 Turin, Italy.
11. O.V. LOUNASMAA, Low Temperature Laboratory, Helsinki University of Technology, Otakaari 3 A, SF-02150 Espoo, Finland.
12. G. MOSCATI, Instituto de Física, Universidade de São Paulo, Caixa Postal 66318, 05315-970 São Paulo SP, Brazil.
13. P. PÂQUET, Director, Observatoire Royal de Belgique, 3 avenue Circulaire, B-1180 Brussels, Belgium.
14. K. SIEGBAHN, Institute of Physics, University of Uppsala, Box 530, 75121 Uppsala 1, Sweden.
15. R. STEINBERG, Department of Physics and Metrology, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, 1101 Buenos Aires, Argentina.
16. Yu V. TARBEYEV, Directeur General, D.I. Mendeleev Institute for Metrology, 19 Moskovsky Prosp., 198005 St Petersburg, Russian Federation.
17. R. VANKOUGHNETT, Director General, Institute for National Measurement Standards of the National Research Council of Canada, Ottawa, Ontario K1A 0R6, Canada.
18. A.J. WALLARD, Deputy Director, National Physical Laboratory, Teddington TW11 0LW, United Kingdom.

Honorary members

1. E. AMBLER, The Belvedere (No. 626), 1600 N. Oak Street, Arlington, VA 22209, United States.
2. J. DE BOER, Institute of Physics, University of Amsterdam, Valckenierstraat 65, Amsterdam-C, Netherlands.
3. L.M. BRANSCOMB, Box 309, Concord, Massachusetts 01742, United States.
4. J.V. DUNWORTH, Apt. 902, Kings Court, Ramsey, Isle of Man, United Kingdom.
5. M. KERSTEN, Am Hohen Tore 4A, 3300 Braunschweig, Germany.

6. D. KIND, Knappstrasse 4, 38116 Braunschweig, Germany.
7. H. PRESTON-THOMAS, 1109 Blasdell Avenue, Ottawa K1K 0C1, Canada.
8. J. SKÁKALA, Professor, Slovak Technical University, Nám. Slobody 17, 812 31 Bratislava, Slovakia.



**STAFF OF THE BUREAU INTERNATIONAL
DES POIDS ET MESURES**

as of 1 January 1998

Director: Dr T.J. Quinn

Length: Mr J.-M. Chartier

Mr R. Felder, Dr S. Picard, Dr L. Robertsson, Dr L.F. Vitushkin*, Mr A. Zarka
Mrs A. Chartier, Mr J. Labot

Mass and related quantities: Dr R.S. Davis

Mr A. Picard, Dr S. Richman*
Mrs J. Coarasa, Mr J. Hostache
Mr J. Dias

Time scales: Dr C. Thomas

Mr J. Azoubib, Mr Z. Jiang*, Dr W. Lewandowski, Dr G. Petit, Dr P. Wolf
Miss H. Konaté, Mr P. Moussay, Mrs M. Thomas

Electricity: Dr T.J. Witt

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

Radiometry and photometry: Dr R. Köhler

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

Ionizing radiation: Mrs M. Boutillon

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

Secretariat: Mrs F. Joly

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

Metrologia: Dr D.A. Blackburn

Dr J.R. Miles

Finance, administration: Mrs B. Perent

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

Caretakers: Mr and Mrs Dominguez, Mr and Mrs Neves

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

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

Workshop: Mr J. Sanjaime

Mr P. Benoit, Mr B. Bodson, Mr F. Boyer, Mr M. de Carvalho, Mr J.-B. Caucheteux,
Mr J.-P. Dewa, Mr P. Lemartrier, Mr A. Montbrun, Mr D. Rotrou,
Mr E. Dominguez**, Mr C. Neves**

Director emeritus: Prof. P. Giacomo**Principal Metrologist emeritus:** Mr G. Leclerc

* Research fellow.

** Also caretaker.

**COMITÉ INTERNATIONAL
DES POIDS ET MESURES**

**PROCEEDINGS OF THE SESSIONS
OF THE 86th MEETING**

(23-25 september 1997)

Agenda

- 1 Opening of the meeting; quorum; agenda.
- 2 Report of the Secretary and activities of the bureau of the Comité (October 1996 - September 1997).
- 3 Membership of the CIPM.
- 4 Equivalence of national measurement standards.
- 5 Long term needs relating to metrology.
- 6 The Metre Convention and the Organisation Internationale de Métrologie Légale.
- 7 Consultative Committees:
 - Report of the CCQM;
 - Report of the CCPR;
 - Report of the CCE;
 - Report of the CCEMRI;
 - Report of the CCDM;
 - Change of name and acronym of some Consultative Committees;
 - Presidency of Consultative Committees;
 - Membership of Consultative Committees;
 - Future meetings.
- 8 The seventh edition of the SI brochure.
- 9 Work of the BIPM; Report of the Director:
 - Work of the BIPM;
 - Depository of the metric prototypes.

10 Administrative and financial affairs:

- Administrative and financial affairs;
- New workshop and buildings;
- Promotions;
- Staff statutes;
- Crèche;
- Metrologia.

11 Other business.

12 Next CIPM meeting.

1 OPENING OF THE MEETING; QUORUM; AGENDA

The Comité International des Poids et Mesures (CIPM) held its 86th meeting on Tuesday 23, Wednesday 24 and Thursday 25 September 1997 at the Pavillon de Breteuil, at Sèvres. In all, five sessions were held.

Present: Messrs Blevin, Chung Myung Sai, Gao Jie, Mrs Gebbie, Messrs Göbel, Gopal, Iizuka, Kaarls, Kovalevsky, Leschiutta, Lounasmaa, Moscati, Pâquet, VanKoughnett, Wallard and Quinn (Director of the BIPM).

Also attending the meeting: Prof. Giacomo (Director emeritus of the BIPM); Prof. Mills (President of the CCU, for 23 September only), Mrs Joly, Mrs Le Coz (Secretariat).

Apologies for absence were received from: Messrs Siegbahn, Steinberg and Tarbeyev.

Prof. Kovalevsky, the new President of the CIPM, opened the 86th meeting of the CIPM and welcomed the members present, in particular Dr Göbel, Prof. Leschiutta and Dr VanKoughnett, recently elected, Prof. Mills, invited to present the seventh edition of the SI brochure in the afternoon, and Prof. Giacomo.

He noted that the quorum was satisfied, according to Article 12 of the Rules annexed to the Metre Convention.

The agenda was adopted.

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

2 REPORT OF THE SECRETARY AND ACTIVITIES OF THE BUREAU OF THE CIPM (October 1996 - September 1997)

Dr Blevin, Secretary of the CIPM, presented his report in which he informs the CIPM of events concerning the Member States of the Metre Convention, of changes in membership of the CIPM and summarizes the financial position of the BIPM. His report also includes a brief account of the activities of the bureau of the CIPM since October 1996.

The bureau met three times during the year, twice at the Pavillon de Breteuil and once in Grasse at the Observatoire de la Côte d'Azur.

2.1 Member States of the Metre Convention

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

2.2 Membership of the CIPM

Three new members have been elected to the CIPM since its last meeting: Prof. Ernst Göbel, President of the Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Braunschweig), Dr Roy VanKoughnett, Director of the Institute for National Measurement Standards of the National Research Council of Canada (Ottawa) and Prof. Sigfrido Leschiutta, President of Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris (Turin). These three elections bring the number of members to eighteen, and fill the vacancies left by the resignations of Dieter Kind and Josef Skákala together with the one already existing at the time of last year's meeting.

The bureau, in response to a question at the meeting of directors of national metrology institutes in February 1997, reviewed the criteria for election to the CIPM and a draft document (see Section 3) is now presented for discussion to the Committee. The bureau is of the opinion that more effort should be made

to maintain an informal register of prospective candidates and to encourage individuals to submit their names for consideration.

2.3 Meeting of directors of national metrology institutes, 17-18 February 1997

The first meeting of directors of national metrology institutes was well attended and generally thought to be very valuable. The bureau discussed and gave approval to the draft agreement on equivalence of national measurement standards that the Director of the BIPM had prepared for presentation to the meeting of directors. It also reviewed the revised draft sent to directors on 2 April 1997 and the further revision dated 19 August that is now before the CIPM. The bureau agreed that preparations should be made for a second meeting of the directors in February 1998. This should cover a range of issues affecting these institutes, in particular their changing role and the management of tasks undertaken jointly.

2.4 Consultative Committees

The bureau discussed procedures for the election of presidents of the Consultative Committees. The bureau proposes that prior to an election at a meeting of the CIPM, the Director of the BIPM should consult informally with members of the CIPM and discuss any proposals to be made by the bureau. In this way, when it comes to an election at a meeting of the CIPM, the members will already have had the opportunity to express their views informally.

As regards the membership of the Consultative Committees, the bureau suggests that the Director of the BIPM should take every opportunity to encourage directors of national metrology institutes to apply for membership as soon as they think that their institute meets the new criteria adopted by the CIPM in 1996 (*BIPM Proc.-Verb. Com. Int. Poids et Mesures*, 1996, **64**, 124). The membership lists being proposed to the CIPM in 1997 were drawn up using the new criteria.

2.5 Report on the long-term needs for metrology

The bureau discussed various points in the draft report on long-term needs for metrology being prepared for the CIPM by W.R. Blevin. In particular, the bureau considered the draft of the new section on the financial consequences for Member States. The latest draft is presented to the Committee for discussion.

2.6 **Equivalence of national measurement standards**

The bureau has discussed the various drafts of the document on the equivalence of national measurement standards proposed by the Director of the BIPM and examined the responses to the version of 2 April. This is an important item on the agenda of this CIPM meeting and the latest situation will be reported on by the Director.

2.7 **Third meeting of the joint OIML/Metre Convention working group**

The third meeting of the joint OIML/Metre Convention working group took place at the BIPM in February 1997 just after the meeting of directors of national metrology institutes. The full report of this meeting was sent to members of the CIPM shortly afterwards. In this, the President of the CIPM summarizes the principal events that have taken place concerning the rapprochement between the OIML and the Metre Convention since the original proposal made by the French Ministre des Affaires Étrangères in March 1995.

Dr Quinn will report on progress with arrangements for a seminar on the role of metrology in economic and social development, being organized jointly by the BIPM, the IMEKO, the OIML and the PTB. This seminar will take place at the PTB on 16-19 June 1998.

2.8 **The seventh edition of the SI brochure: use of the dot on the line as the decimal marker in the English text**

The seventh edition of the SI brochure is now ready for printing with the exception of one matter to be decided by the CIPM: this concerns the use of the point as the decimal marker in the English text. The main decisions related to the seventh edition were taken at meetings of the Consultative Committee for Units (CCU) which took place in 1995 and 1996. A text incorporating these decisions was sent to members of the CCU and agreed by correspondence in August 1996. The President of the CCU, Prof. Mills, reported on this to the CIPM at its meeting in September 1996. The CIPM then gave responsibility for producing the final text to Prof. Mills, Dr Quinn and Dr Blackburn. Since September 1996 various minor points have been resolved by correspondence.

2.9 **Proposal for a joint BIPM/IAU committee**

The President of the CIPM and the Director of the BIPM proposed to the Secretary General of the International Astronomical Union (IAU) that a joint committee be set up to consider the application of general relativity to space-time reference systems and metrology. The objectives suggested for this

group were to advance the work already accomplished by the CCDS working group in this field and ensure that it is properly coordinated with complementary work under way in the IAU, with the intention that the CIPM and the IAU may adopt a common set of recommendations in the field.

This initiative was welcomed by the Secretary General of the IAU and approved by the General Assembly of the IAU in August 1997. This committee is now known as the BIPM/IAU Joint Committee on General Relativity for Space-Time Reference Systems and Metrology. The President of the CIPM will report later on the discussions at the IAU.

2.10 BIPM matters

2.10.1 New building

At last year's meeting of the CIPM a discussion took place on preliminary plans for a new workshop and office building, with a view to presenting a definite proposal to the CIPM this year.

The plans approved by the bureau were presented together with the proposed financial arrangements. The bureau set a limit of 9.4 million French francs for the construction plus not more than 3.2 million for architects and other fees, insurance, electrical and other connections, internal furnishings, costs of installation of the workshop, offices and meeting rooms, and finishing the surrounding site. The present proposal meets these requirements.

Permission is now being sought from the French authorities. Although, informally, the Director has been informed that no objections are likely to be raised, the procedure is more complicated than before because the whole of the Parc de Saint-Cloud is now listed as a "Monument historique" and buildings are, therefore, subject to special rules.

The CIPM is asked to approve the plans with a view to starting work as soon as building permission is obtained. It is hoped that work can start in the spring of 1998 with completion in the autumn of 1999. This will complete the implementation of the long-term building plan developed early in the 1980s.

2.10.2 Early retirement for long-serving staff

The bureau has agreed, subject to CIPM approval, a proposal from the Director of the BIPM that BIPM staff who have completed thirty-five years service before the age of sixty should be allowed to take early retirement on full pension. At present, the pension rules allow early retirement below the age of sixty but with a considerably reduced pension. The present proposals,

if approved by the CIPM, will apply over the next thirty years to a total of five technical and administrative staff. There are, however, no firm indications that these five staff are all interested in taking early retirement. The financial implications are, therefore, upper-limit projections. The long-term commitment is insignificant because the BIPM no longer recruits staff below the age of twenty years and very few below the age of twenty-five. This proposal is made with the agreement of the BIPM Staff Statutes Commission.

This change, if approved, will require a number of small changes in the Staff Statutes and Pension fund rules.

2.11 Financial affairs of the BIPM

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

Accounts	1994	1995	1996	1997
I. Ordinary funds	18 931 178.64	20 025 335.94	17 897 217.00	23 662 921.48
II. Pension fund	17 555 532.69	18 264 877.72	23 364 621.76	24 823 425.05
III. Special fund for the improvement of scientific equipment	0.00	114 348.53	111 382.41	113 004.08
IV. Staff loan fund	398 083.17	443 208.69	482 970.09	518 237.39
V. Building reserve fund	0.00	0.00	0.00	1 911 246.70
VI. Metrologia	0.00	0.00	0.00	0.00
VII. Medical insurance reserve fund	1 165 671.44	1 591 701.63	1 668 467.95	1 789 192.08
Totals	38 050 465.94	40 439 472.51	43 524 659.21	52 818 026.78

Dr Blevin commented that the increase in Account I (ordinary funds) between 1996 and 1997 was due in part to the advance payment by the United Kingdom of its 1997 dotation in December 1996 and to certain arrears of payment made towards the end of 1996. Significant savings in laboratory expenses allowed some major equipment to be purchased in 1997.

2.12 Other business

The bureau discussed various other matters, which included:

- options for a laboratory programme at the BIPM on metrology in chemistry,

- calls from international aid bodies seeking to engage consultants in metrology,
- problems encountered in the use of so-called intrinsic standards,
- the Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM); this is the successor to the ISO/TAG 4, the ISO working group which concerns itself with the *International vocabulary of basic terms in metrology* and the *Guide to the expression of uncertainty in measurement*. Dr Quinn is the first Chairman of the new Joint Committee which will hold its second meeting in November 1997.

3 MEMBERSHIP OF THE CIPM

3.1 Criteria for membership

Dr Quinn presented a note he had prepared in response to questions that were raised during the meeting of directors in February 1997 regarding the criteria for membership of the CIPM. This note sets out the principles at present followed by the bureau and the CIPM in selecting members.

The rules in the Metre Convention relating to membership of the CIPM are as follows:

Membership of the CIPM is treated in Article 8 (1921) of the Rules Annexed to the Metre Convention, elections to the CIPM in Article 14 (1921) of the Rules, and elections of the officers of the CIPM in Article 9 (1921) of the Rules. The role of the CGPM in confirming elections to the CIPM is treated in Article 7 (1875) of the Rules. Rules of procedure for the CIPM are laid out in Articles 11 (1921), 12 (1921) and 13 (1875) of the Rules Annexed to the Convention.

In summary, as regards membership, the Convention simply requires that each of the eighteen members be of a different nationality and that on the death or resignation of a member the vacancy be filled by an election carried out by correspondence among the remaining members and confirmed by a vote at the next CGPM.

In 1983 the 17th CGPM accepted the report of the working group established by the 16th CGPM in 1979 to examine proposals for changing the Metre Convention. One of these proposals was to increase the number of seats on the CIPM to equal that of the number of Member States of the Convention, and for members to be the delegates of their governments. The CGPM working group recommended that no change should be made in the

constitution of the CIPM neither in respect of the number of seats nor in the independence of the members, who remain individual members and not delegates of their governments. It did recommend, however, that at the time of election the CIPM take steps to ensure that the candidate, if elected, would be acceptable to his or her government. A copy of the report of the CGPM working group is available at the BIPM. It was never published in full, but copies were sent to all member governments at the time.

In 1981 the CIPM decided that the curriculum vitae of all candidates proposed for election must be presented and discussed at a meeting of the CIPM before any particular candidate is proposed for election. In the past, such discussions occasionally took place by correspondence.

The principles currently followed by the bureau and the CIPM in making elections are the following:

- Persons proposed for election are always of a high standing in their country and have experience qualifying them to take part in the work of the CIPM.
- One member of the CIPM is always of French nationality. This recognizes the role of France as the originator of the metric system and depository of the Metre Convention.
- One member comes from each State paying the maximum contribution.
- One member is generally expected to come from each State paying a contribution of 2 % or above.
- Efforts are made to maintain a reasonable balance between regions and also to ensure the presence of a small number of members from those States paying the minimum contribution.
- Candidates from Member States three or more years in arrears with their payments to the BIPM are not considered for election.

The CIPM expressed the view that the present composition of the CIPM respects the principles laid out above.

Prof. Kovalevsky noted that CIPM members who have resigned recently tend to have stayed with the Committee for no more than six years: this is not long enough. We need continuity so that the Committee has long-standing members, but at the same time countries must retain the sense that they are properly represented.

3.2 Honorary members

The President proposed that Prof. D. Kind, who spent twenty years with the CIPM as member, Vice-President and President, be elected an Honorary

member of the CIPM. He also proposed the election of Prof. Skákala who was a member for sixteen years and Vice-President for eleven years, to Honorary membership of the CIPM.

These proposals were welcomed by the members of the CIPM and approved unanimously.

4 EQUIVALENCE OF NATIONAL MEASUREMENT STANDARDS

Dr Quinn opened the discussion on equivalence of national measurement standards by referring to the CIPM meeting last year and briefly recalled last year's proposals (*BIPM Proc.-Verb. Com. Int. Poids et Mesures*, 1996, **64**, 126). A revised version of the text discussed at the CIPM was sent in April 1997 to the directors of national metrology institutes.

Many replies were received from directors: almost all were in favour of the general thrust of the proposal. A large number of detailed comments were made and questions asked. Encouraged by this response, Dr Quinn invited the chairmen of the APMP (Dr Inglis), EUROMET (Dr Carneiro), NORAMET (Dr Robertson) and the EA (Dr Kaarls) to come to the BIPM on 18-19 August 1997. The draft now before the CIPM was made at this meeting.

Dr Quinn then briefly presented the document. The CIPM discussed the proposal and agreed that its title be changed to "Mutual recognition of national measurement standards and calibration certificates issued by national metrology institutes".

The CIPM also agreed a number of other changes. These take account of the different roles played by individual national metrology institutes and make it clear that the Mutual recognition agreement will be signed by metrology institutes: it will not necessarily commit other bodies in the signatory countries. The creation of a Joint Committee of the regional metrology organizations and the BIPM was agreed. Its terms of reference will be confirmed next year.

A revised draft, taking into account the views expressed by members of the CIPM, will be prepared by Dr Quinn and sent to directors of national metrology institutes for discussion in regional metrology organizations and at the meeting of directors in February 1998.

A discussion took place on the participation of institutes from non-member States. Dr Quinn reported on a meeting at the French Ministère des Affaires Étrangères which concluded that the creation of Associate or Corresponding membership is not possible without a formal change in the Metre Convention. The CIPM made no decision on participation of institutes from non-member States but took the view that the existence of the Mutual recognition agreement will be a strong argument for non-members to join the Convention.

5 LONG-TERM NEEDS RELATING TO METROLOGY

Dr Blevin presented the third draft of the report on “National and international needs relating to metrology: international collaborations and the role of the BIPM”, a report he prepared on behalf of the CIPM following Resolution 11 adopted by the 20th General Conference in 1995.

A revised, second draft was discussed by the CIPM in 1996. The present, third draft takes account of that discussion and includes a new section relating to the financial implications for Member States.

A wide ranging discussion took place on the report presented by Dr Blevin. In view of the economic constraints now being imposed by most Member States on contributions to international organizations, the CIPM concluded that no increase in the BIPM dotation, in real terms, could realistically be expected in the years following the 1999 General Conference. Given this economic situation, the CIPM reviewed the options available to the BIPM taking into account the needs of Member States, the services currently provided by the BIPM and the increasing demand for new activities.

Dr Blevin was asked to revise his report in the light of this discussion and members were asked to send him any written comments within two weeks.

The revised version will be distributed to members as soon as possible with a view to completing the final version by the end of the year. The printed version, in French and English, will be sent to member governments in 1998.

6 THE METRE CONVENTION AND THE ORGANISATION INTERNATIONALE DE MÉTROLOGIE LÉGALE

The President reported on a third meeting of the Joint working group of the Metre Convention and the Organisation Internationale de Métrologie Légale (OIML). This group comprises the bureau of the CIPM and its equivalent in the Comité International de Métrologie Légale (CIML), and it met on 19 February 1997 at the BIPM. A full report was distributed to members of the CIPM soon after the meeting.

The meeting took place in two parts: the first part concerned matters relating to the Metre Convention and the OIML, and the second matters of common interest with the International Laboratory Accreditation Conference (ILAC). Dr J. Gilmour and Dr R. Kaarls from the ILAC participated in the second part.

The fourth meeting of this Joint working group will be held at the Bureau International de Métrologie Légale (BIML) in Paris in February 1998, with representatives of the Metre Convention, the OIML and the ILAC.

The PTB will organize, in collaboration with the BIPM, the IMEKO and the OIML, a seminar on "The role of metrology in economic and social development" in June 1998 at the PTB in Braunschweig.

Efforts will continue to be made to ensure close cooperation with the OIML and with the ILAC in matters of common interest.

7 CONSULTATIVE COMMITTEES

Since October 1996, the following Consultative Committees have met: the CCQM in February 1997, the CCEMRI in July 1997 (preceded in April by meetings of its three Sections), the CCPR and the CCE in June 1997, and the CCDM in September 1997 (preceded by meetings of its working groups).

7.1 Consultative Committee for Amount of Substance

Dr Kaarls, President of the Consultative Committee for Amount of Substance (CCQM), presented the report of the 3rd meeting that took place on 20 and 21 February 1997 at the Pavillon de Breteuil, in Sèvres.

The main points of the meeting concerned key comparisons, the establishment of working groups, further discussion on primary methods and the results of international comparisons. In addition the CCQM discussed proposals for work at the BIPM on metrology in chemistry, but reached no final conclusions. The Director of the BIPM will make new proposals at the next meeting of the CCQM in February 1998. The CIPM, after considering the report presented by Dr Kaarls, discussed a draft recommendation on metrology in chemistry. The final version of this recommendation was adopted by the CIPM as Recommendation 2 (CI-1997).

The full report of the meeting of the CCQM will be published by the BIPM as *BIPM Com. Cons. Quant. Matière*. This includes a list of the working documents, all of which are available on demand from the BIPM.

7.2 Consultative Committee for Photometry and Radiometry

Dr Wallard, President of the Consultative Committee for Photometry and Radiometry (CCPR) presented the report on its 14th meeting held on 10 and 11 June 1997 at the Pavillon de Breteuil, in Sèvres. He began his report by

acknowledging the important contribution to the work of the CCPR made by Dr Blevin, who had been its President since 1980.

The main points of the meeting concerned current international comparisons, the choice of key comparisons and the role of the CCPR in monitoring key comparisons. In addition, the CCPR discussed work undertaken in collaboration with the International Commission on Illumination, the activities of the CCT/CCPR working group on the measurement of high temperatures, and work on radiometry and photometry undertaken by the regional metrology organizations.

The full report of the meeting of the CCPR will be published by the BIPM as *BIPM Com. Cons. Phot. Radiométrie*. This includes a list of working documents, all of which are available on demand from the BIPM.

7.3 Consultative Committee for Electricity

Dr Göbel, President of the Consultative Committee for Electricity (CCE), presented the report of the 21st meeting that took place on 24 to 26 June 1997 at the Pavillon de Breteuil, in Sèvres. It was preceded by the meeting of the working group on radiofrequency quantities on 23 June.

The main points of the meeting concerned matters related to fundamental constants and the SI, progress with accurate measurements of the quantized Hall resistance at kilohertz frequencies, the availability of Josephson and quantum Hall samples, and choice of key comparisons. The CCE also considered the report of the working group on radiofrequency quantities.

The full report of the meeting will be published by the BIPM as *BIPM Com. Cons. Électricité*. This includes a list of working documents, all of which are available on demand from the BIPM.

7.4 Consultative Committee for Standards of Ionizing Radiation

Prof. Moscati, President of the Consultative Committee for Standards of Ionizing Radiation (CCEMRI), presented a brief report on the 15th meeting that was held on 7 and 8 July 1997 at the Pavillon de Breteuil, in Sèvres.

The main points of the meeting concerned matters related to equivalence of national standards and key comparisons, the reports of the three Sections of the CCEMRI, and the future organization of meetings of the Committee and its three Sections.

It was decided that for the next round of meetings in 1999, all three Sections will meet within the space of two weeks and the President of the CCEMRI will meet with the chairmen of the three Sections at a convenient time during the period.

The full report of the meeting will be published by the BIPM as *BIPM Com. Cons. Étalons Mes. Ray. Ionisants*. This includes a list of working documents, all of which are available on demand from the BIPM.

7.5 Consultative Committee for the Definition of the Metre

Dr Chung, President of the Consultative Committee for the Definition of the Metre (CCDM), presented a brief report on the 9th meeting that took place from 16 to 18 September 1997 at the Pavillon de Breteuil, in Sèvres. This meeting was preceded by meetings of the working group on the practical realization of the definition of the metre, the week before, and of the working group on dimensional metrology on 15 September.

The most important topic on the agenda was a list of recommended radiations under consideration for use in the practical realization of the definition of the metre. Following detailed discussions, the CCDM proposed Recommendation M 1 (1997) on the revision of the practical realization of the definition of the metre. On the basis of this CCDM discussion, Dr Chung proposed a new recommendation to the CIPM. This 1) brings together the principal considerations relevant to the practical realization of the definition of the metre, 2) lists the radiations, frequencies and vacuum wavelengths approved by the CCDM for the practical realization of the metre, 3) refers to the definition of the metre adopted by the General Conference and 4) specifies how the metre is defined in the context of general relativity. In the form of Recommendation 1 (CI-1997), Dr Chung's proposal was adopted by unanimous vote. The text of this recommendation will be included in Appendix 2 of the seventh edition of the SI brochure.

Discussions of current activities and future requirements in the field of length and dimensional metrology led to Recommendation M 2 (1997) of the CCDM on future work. The CIPM approved this recommendation. The CCDM agreed a set of key comparisons in laser wavelength and frequency metrology and in dimensional metrology.

The full report of the meeting will be published by the BIPM as *BIPM Com. Cons. Déf. Mètre*. This includes a list of working documents, all of which are available on demand from the BIPM.

7.6 Change of name and acronym of some Consultative Committees

Following the proposal of Dr Blevin in his report on long-term needs relating to metrology, the CIPM decided to change the names and acronyms of four Consultative Committees:

- The Consultative Committee for Electricity (CCE) becomes the Consultative Committee for Electricity and Magnetism (CCEM).
- The Consultative Committee for the Definition of the Second (CCDS) becomes the Consultative Committee for Time and Frequency (CCTF).
- The Consultative Committee for the Definition of the Metre (CCDM) becomes the Consultative Committee for Length (CCL).
- The Consultative Committee for Standards of Ionizing Radiation (CCEMRI) becomes the Consultative Committee for Ionizing Radiation (CCRI).

Note that acronyms follow the word order in the French title and remain unchanged in English.

7.7 Presidency of Consultative Committees

Dr Quinn, who last year accepted the presidency *ad interim* of the Consultative Committee for Thermometry (CCT) until such time as a successor could be found, proposed that Dr Gebbie succeed him as President of the CCT; this was agreed. Prof. Kovalevsky announced his intention to retire from the presidency of the former CCDS, and proposed Prof. Leschiutta as his successor on the re-named CCTF; this was agreed.

7.8 Membership of Consultative Committees

The CIPM adopted new lists of members of Consultative Committees (see page 255). These lists are based on proposals made to the CIPM by the Presidents of the Consultative Committees and the Director of the BIPM. In drawing up these proposals each President and the Director followed the criteria adopted by the CIPM at its meeting in 1996 (*BIPM Proc.-Verb. Com. Int. Poids et Mesures*, 1996, **64**, 124).

7.9 Future meetings of Consultative Committees

Prof. Kovalevsky reminded the Presidents of the Consultative Committees that dates had to be set for future meetings. The following were agreed:

CCEM	6-8 July 1999
CCL	2000
CCPR	24-26 March 1999
CCQM	19-20 February 1998
CCRI	3 June 1999
Section I	26-28 May 1999
Section II	31 May-2 June 1999
Section III	31 May-1 June 1999
CCM	12-14 May 1999
CCT	9-11 June 1999
CCTF	20-22 April 1999
CCU	8-9 September 1998

8 THE SEVENTH EDITION OF THE SI BROCHURE

Prof. Mills, President of the Consultative Committee for Units (CCU), was invited to present for final approval the seventh edition of the SI brochure.

This brochure, distributed to the CIPM in its English version, was nearly ready for publication, but one matter, the use of the dot as the decimal marker in English, was left as a decision to be taken by the CIPM. Despite the ISO 31 recommendation that “the decimal sign is a comma on the line”, a number of members of the CCU favour the use of the dot in English texts.

Prof. Mills proposed to the CIPM that in the English version of the SI brochure the sign for the decimal marker be the dot on the line.

Prof. Kovalevsky reminded CIPM members of Resolution 7 of the General Conference in 1948 which states “In numbers, the comma (French practice) or the dot (British practice) is used only to separate the integral part of numbers from the decimal part. Numbers may be divided in groups of three to facilitate reading; neither dots nor commas are ever inserted in the spaces between groups.”

Prof. Mills’s proposal was put to the vote and adopted with twelve votes for, none against and four abstentions. With this vote the CIPM, therefore, decided that the dot on the line will be used in the English text of the SI brochure to designate the decimal marker.

At the request of Prof. Göbel, a short note explaining this decision will be added to the preface of the SI brochure. This will specify that the dot on the line is to be considered as the translation of the comma in the French original. Thus for example, the definition of the kelvin in the official French text remains “Le kelvin, unité de température thermodynamique, est la fraction $1/273,16$ de la température thermodynamique du point triple de l’eau”, and its

English translation is “The kelvin, unit of temperature, is the fraction $1/273.16$ of the thermodynamic temperature of the triple point of water.”

This principle will now be applied to all BIPM publications. In the official French text the decimal marker will be the comma and in the English text the dot on the line.

The use of the symbol “1” in Tables 2 and 3 and Section 2.3 relating to dimensionless quantities was discussed in detail. It was decided to add a note to these tables pointing out that, in general, the symbol “1” is omitted.

Prof. Kovalevsky noted that an explanation should be added to the definition of the second similar to that added to the definition of the mole. The following wording was agreed: “At its 1997 meeting, the CIPM affirmed that this definition refers to a caesium atom in its ground state at zero kelvin”. He remarked that this affirmation implies that a correction for black-body radiation should be applied to all data from primary frequency standards, as recommended by the CCDS in its Recommendation S 2 (1996).

Prof. Moscati asked that, wherever possible, references to the Recommendations and Resolutions adopted by the CIPM and the CGPM mentioned in the brochure should include both the original reference and a corresponding reference to *Metrologia*.

The CIPM adopted the seventh edition of the SI brochure as amended at this meeting, and thanked Prof. Mills, the members of the CCU, Dr Blackburn and Dr Quinn for their work.

9 WORK OF THE BIPM; REPORT OF THE DIRECTOR

9.1 Work of the BIPM

The President opened the session and welcomed the scientific staff. He said it was a pleasure for CIPM members to attend this enjoyable and interesting session on the work of the BIPM.

Dr Quinn said that presentations would follow the usual order of the Director's report and added that a visit to the laboratories was scheduled for the afternoon. There then followed the presentation of work by members of the staff of the BIPM (see full text in the *Director's Report*).

A number of questions were raised during the presentation.

Dr Wallard enquired about the NIST watt balance experiment. Dr Quinn said that A. Picard from the Mass section spent a year at the NIST working on this experiment. He also mentioned the work of the NPL and referred to the OFMET table-top experiment which uses small suspended magnets.

Dr Göbel asked about future developments with TAI primary clocks. Prof. Kovalevsky said that more data from the BNM-LPTF caesium fountain should be available soon, following a full study of systematic errors. A new fountain will shortly be built and put on a satellite for a study of its performance under zero gravity conditions.

Prof. Lounasmaa encouraged BIPM staff to publish not only technical articles on their excellent scientific work, but also review articles for the wider readership in well known journals having a broad impact.

Prof. Kovalevsky thanked the Director and the staff of the BIPM for the work done. He noted that the CIPM was in course of formulating a plan covering

the work of the BIPM over the next few years. He remarked that metrology is a field in rapid expansion, and lot of new work lies ahead.

9.2 Depository of the metric prototypes

The visit to the new depository of the metric prototypes took place on Wednesday 24 September 1997. The following report was made at the time of the official visit to the depository:

Visit to the depository of the metric prototypes: record

On 24 September 1997, at 17 h 30, in the presence of the President of the Comité International des Poids et Mesures (CIPM), of the Director of the Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) and of the representative of the Curator of the Archives de France, the visit to the depository of the metric prototypes at the Pavillon de Breteuil took place.

As agreed by the CIPM on 24 September 1996, all three keys necessary to open the depository had been entrusted to the care of the Director of the BIPM for the period of its refurbishment.

The two doors of the vault having been opened as well as the safe, we observed the presence in the latter of the prototypes and their official copies (*témoins*).

The following indications on the measuring instruments placed in the safe were noted:

temperature	:	21.5 °C
maximum temperature	:	(not applicable on a first visit)
minimum temperature	:	id.
relative humidity	:	60 %

We then locked the safe as well as the doors of the vault.

At the end of the visit, the keys were given back to their keepers, i.e. the President of the CIPM, the representative of the curator of the Archives de France and the Director of the BIPM.

The Director of the BIPM, T.J. QUINN	For the curator of the Archives de France, J.-M. JENN	The President of the CIPM, J. KOVALEVSKY
--	---	--

Note: This was the first official visit to the new safe in the upper vault. The change follows the decision of the CIPM in 1996 to remove the international prototype of the kilogram from the lower vault where the humidity is

excessive. The former international prototype of the metre and its copies were also transferred from the lower vault. They also are now kept in the upper vault, but in a separate safe.

10 ADMINISTRATIVE AND FINANCIAL AFFAIRS

10.1 Administrative and financial affairs

The President welcomed Madam Perent, the administrator of the BIPM, and presented the *Rapport annuel aux Gouvernements des hautes parties contractantes sur la situation administrative et financière du Bureau International des Poids et Mesures en 1996*, together with the report of the auditors for 1996.

The reports were approved unanimously and the required formal discharge was given to the Director and administrator of the BIPM for 1996.

The progress report on the provisional budget for 1997 was presented and approved.

A draft budget for 1998 was presented and approved.

The last document submitted to the CIPM was the *Tableau de répartition de la dotation pour 1998* in the *Notification des parts contributives*.

10.2 New workshop and building

Dr Quinn presented the proposal for a new building for the mechanical workshop, offices and meeting rooms. He said that Mr A. Gatier, senior architect of “Monuments historiques”, had been chosen as architect. The building will have three floors: the workshop on the ground floor, offices on the first floor, and meeting rooms on the top floor. The space left vacant in the Ionizing radiation building by transfer of the workshop will serve as a laboratory in which to begin studies of metrology in chemistry.

The agreed total cost is 12.6 million French francs, i.e. 6.9 million gold francs. It will be financed by savings from the annual budget in the years 1996, 1997,

1998 and 1999 plus a single transfer from reserves of about 2 million gold francs. About 65 % of one annual budget will remain in the reserves.

The CIPM authorized Dr Quinn to proceed with the building. It is hoped to complete it in 1999, in time for the 21st General Conference.

10.3 Promotions

Dr Quinn proposed that the CIPM ratify the promotions to *physicien principal* of Dr G. Ratel and Dr P. Allisy-Roberts, physicists in the Ionizing radiation section, a change of grade effective since 1 January 1997. Their curricula vitae were circulated and the CIPM unanimously approved their promotions.

10.4 Staff Statutes

Dr Quinn proposed a modification of the BIPM Staff Statutes allowing early retirement for those having more than thirty-five years of service (see report of the Secretary above). The CIPM approved the proposal which comes into effect on 1 January 1998.

Dr VanKoughnett enquired about the situation of the pension fund. Dr Quinn said that the actuary had reported in 1994 that the number of pensioners would double by 2010, so the CIPM decided, also in 1994, to increase the budgetary contribution to the pension fund from 1996 to 2008 by a further 2 % of the salaries (about 0.8 % of the budget) each year (see *BIPM Proc.-Verb. Com. Int. poids et Mesures*, 1994, **62**, 133-136).

10.5 Crèche

Mrs Gebbie suggested that a “crèche” (day-care centre) be opened for the children of BIPM staff. The Director agreed to examine the proposal.

10.6 Metrologia

The situation of *Metrologia* was briefly discussed. Dr Wallard asked if incomes from sales of *Metrologia* covered its expenses. Dr Quinn answered that subscriptions did not cover completely the staff and production costs, but that the net cost was more than balanced by its importance for the reputation of the BIPM.

Dr Blackburn, who will retire before next CIPM meeting, was invited to join the CIPM. The President and Dr Quinn thanked him for the work he had done as editor of *Metrologia* and the improvement in efficiency of BIPM publications. He had revolutionized this field and showed the way to the future. The President offered him his best wishes for the future and a long and happy retirement. Dr Blackburn replied it had been a great pleasure for him to work at the BIPM.

Budget for 1998

Income		
		gold francs
<i>Budgetary income:</i>		
1. Contributions from the States		28 365 000
2. Interest on capital		1 320 000
3. Verification taxes		478 000
Total		30 163 000
Expenditure		
<i>A. Staff expenses:</i>		
1. Salaries	12 297 000	} 19 102 000
2. Family and social allowances	2 567 000	
3. Medical insurance	1 235 000	
4. Industrial injuries insurance	48 000	
5. Pension fund	2 955 000	
<i>B. Operating expenses:</i>		
1. Laboratories and workshops	1 100 000	} 4 325 000
2. Heating, water, electrical energy	478 000	
3. Insurance	84 000	
4. Printing and publications	392 000	
5. Office expenses	540 000	
6. Travel expenses and freight charges	835 000	
7. General maintenance	436 000	
8. Library	352 000	
9. Bureau of the CIPM	108 000	
<i>C. Capital expenditure</i>		4 220 000
<i>D. Buildings (major maintenance and renovation)</i>		1 796 000
<i>E. Miscellaneous and unforeseen expenses</i>		720 000
Total		30 163 000

11 MISCELLANEOUS ITEMS

11.1 BIPM/IAU Joint Committee on General Relativity for Space-Time Reference Systems and Metrology

The President reminded the Committee that the CCDS working group on the application of general relativity to metrology had completed its task and noted that the report presented to the CIPM at its meeting in 1996 had been published in *Metrologia* (1997, **34**, 261-290). He therefore considered the CCDS working group now to be dissolved.

Dr G. Petit was then invited to join the Committee to discuss the suggestion that a joint committee be formed with the IAU to consider the application of general relativity to space-time reference systems (see also the report of the Secretary).

Dr Petit explained that the proposed committee would continue the work of the CCDS working group on the application of general relativity to metrology. Being cross-disciplinary, it should be established under the auspices of the BIPM (for metrology), the IAU and the IUGG (for space-time references in astronomy and geodesy).

The work of this committee would cover three areas:

1. the establishment of definitions and conventions with a view to providing a coherent frame for space-time references and metrology;
2. the establishment of a uniform system of notation for quantities and units;
3. practical applications of relevance to users.

The composition of this committee was discussed. It will include the specialists in relativity and celestial mechanics who participated in the CCDS working group, other specialists proposed by the unions (IAG, IAU, ITU) and members of laboratories. Members of the CIPM were invited to propose more names. The CIPM approved the proposal.

11.2 Joint Committee for Guides in Metrology

Dr Quinn explained that the Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM), of which he is the first chairman, is the successor to ISO/TAG 4. The role of this committee is to update the *Guide to the expression of uncertainty in measurement* and the *International vocabulary of basic and general terms in metrology*, and to draft other documents of a similar nature. A meeting is scheduled to be held in November 1997 at the BIML. Dr Quinn proposed that the BIPM and the OIML take charge of the secretariat for this new structure, and that the ISO continue to print and disseminate these documents with the status of ISO guides.

11.3 Definition of the term quantity

Dr Quinn said that the Joint Committee for Guides in Metrology would try to find a better definition of the term “quantity”. Prof. Giacomo, who took part in the two first editions of the *Vocabulary* said that there was no unanimity on the concept itself; this is a matter of culture rather than understanding.

11.4 So-called intrinsic standards

In order to provide support for the national metrology institutes, the CIPM made the following statement concerning the so-called “intrinsic standards”.

The CIPM has noted, with concern, a growing tendency, largely amongst manufacturers of certain scientific equipment, to claim that their products – which they refer to as “intrinsic standards” – can reproduce certain SI units at the highest levels of accuracy.

Such assertions are technically misleading and the CIPM deplores this trend. The CIPM is clear that such claims cannot be substantiated without comparison or calibration against a well qualified and systematically investigated national standard. The CIPM further asks national metrology institutes to take up this matter with manufacturers in their own countries with the intention of putting a stop to the practice.

11.5 Working group on acoustics, ultrasound and vibration

As part of the extension of the work proposed by the Consultative Committees, the CIPM, in 1996, set up a working group to examine possible activities in acoustics and vibrations. Dr Wallard was asked to contact the directors of national metrology institutes to sound out their needs, draft the terms of reference for the group and report to the CIPM in 1997.

Dr Wallard's study shows that the ISO and IEC groups would welcome a CIPM initiative covering key comparisons in this area and confirms that they do not cover this sort of activity at an international level. He concludes that the field is sufficiently mature that it attracts industrial, commercial and scientific interest at a level such that research work of the national metrology institutes needs to be coordinated, and that a programme of international comparisons is timely. He recommends: 1) that the CIPM set up an *ad hoc* working group to identify key comparisons in acoustics, ultrasonics and vibration, find the institutes likely to participate in them, and initiate those comparisons that seem timely; 2) that the CIPM at its 1998 meeting assess the relative merits of creating a new Consultative Committee or creating an acoustics section within one of the existing Consultative Committees, and decide which action to take; and 3) that the Director of the BIPM inform the Chairmen of the relevant ISO and IEC groups of the CIPM initiative and invite them to nominate representatives to the *ad hoc* working group.

The CIPM endorsed these recommendations and asked Dr Wallard to be chairman of an *ad hoc* working group of the CIPM, its task being to identify key comparisons and report back in 1998 on the possibility of forming a new Consultative Committee.

11.6 Other business

Dr Iizuka mentioned another topic of interest to the CIPM: hardness metrology. This is not a well-defined physical quantity, but in national laboratories and in industry there is much activity in this field. There is a need for comparisons to unify the reference scales. It would be a positive step if the CIPM were to agree to coordinate comparisons and, in due time, set up a small *ad hoc* working group, under the CCM or the CCL, inviting representatives from the OIML/TC 10 and the ISO/TC 164.

Dr Iizuka suggested that a questionnaire be sent to the national metrology institutes with a view to collecting data on this topic. Prof. Leschiutta supported the proposal, and the CIPM decided to form a small group of two or three institutes, including the IMG, under the chairmanship of Dr Iizuka.

Dr Göbel suggested that a group be set up to study also fluid-flow measurements. This proposal will be considered at next CIPM meeting for which Dr Göbel was asked to prepare a report.

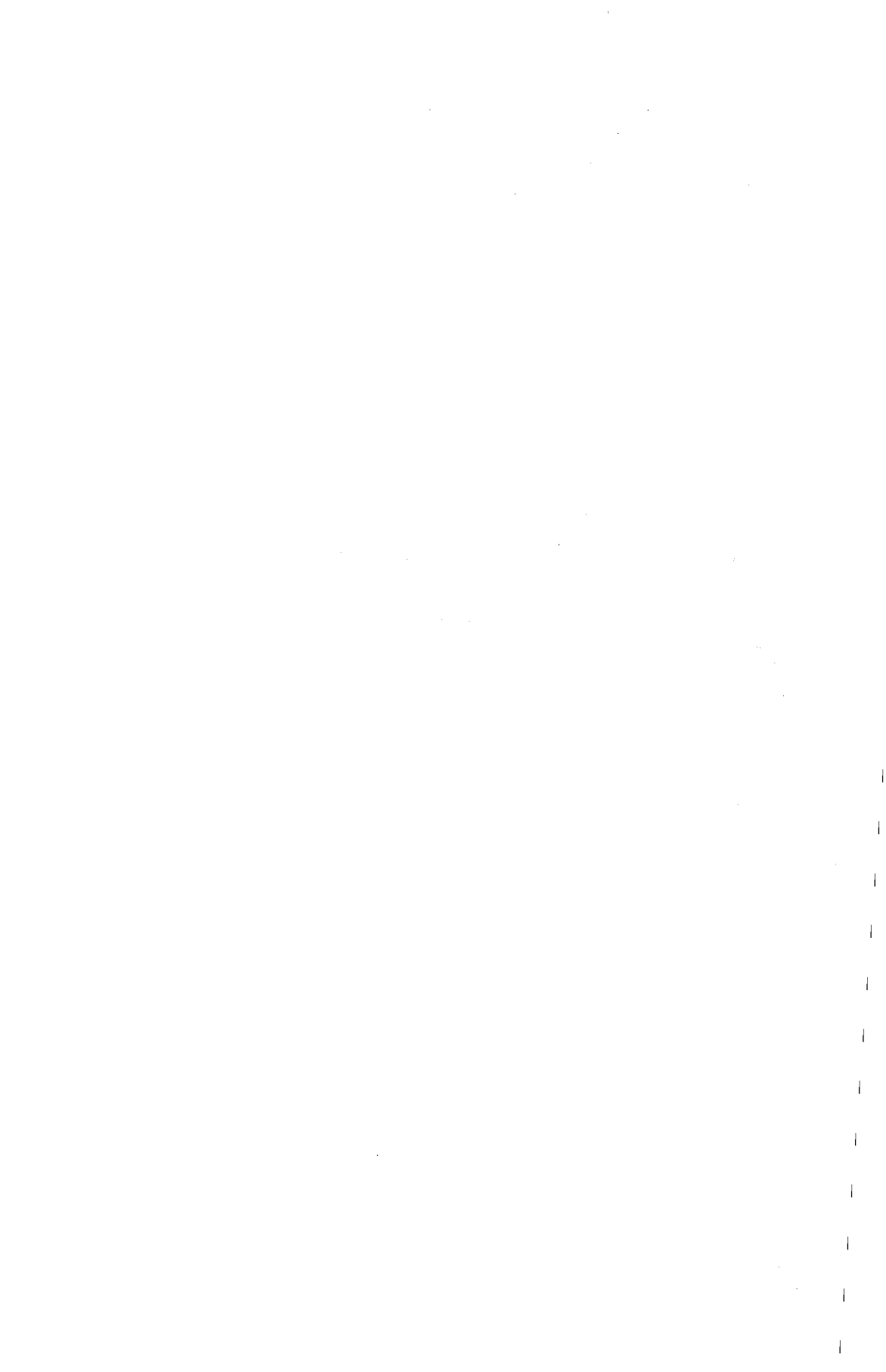
Dr Gopal mentioned a need to unify medical measurements and it was accepted that this is sure to become an activity in the future.

12 NEXT CIPM MEETING

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

29 September – 1 October 1998.

The President closed the 86th meeting of the CIPM thanking everyone present for having contributed to a successful meeting.



**RECOMMENDATIONS ADOPTED
BY THE COMITÉ INTERNATIONAL
DES POIDS ET MESURES
AT ITS 86th MEETING**



**1 RECOMMENDATION 1 (CI-1997):
Revision of the practical realization
of the definition of the metre**

The Comité International des Poids et Mesures,

recalling

- that in 1983 the 17th Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM) adopted a new definition of the metre;
- that in the same year the CGPM invited the Comité International des Poids et Mesures (CIPM)
 - to draw up instructions for the practical realization of the metre,
 - to choose radiations which can be recommended as standards of wavelength for the interferometric measurement of length and draw up instructions for their use,
 - to pursue studies undertaken to improve these standards and in due course to extend or revise these instructions;
- that in response to this invitation the CIPM adopted Recommendation 1 (CI-1983) (*mise en pratique* of the definition of the metre) to the effect:
 - that the metre should be realized by one of the following methods:
 - a) by means of the length l of the path travelled in vacuum by a plane electromagnetic wave in a time t ; this length is obtained from the measured time t , using the relation $l = c_0 \cdot t$ and the value of the speed of light in vacuum $c_0 = 299\,792\,458$ m/s,
 - b) by means of the wavelength in vacuum λ of a plane electromagnetic wave of frequency f ; this wavelength is obtained from the measured frequency f using the relation $\lambda = c_0 / f$ and the value of the speed of light in vacuum $c_0 = 299\,792\,458$ m/s,
 - c) by means of one of the radiations from the list below, whose stated wavelength in vacuum or whose stated frequency can be used with

the uncertainty shown, provided that the given specifications and accepted good practice are followed;

- that in all cases any necessary corrections be applied to take account of actual conditions such as diffraction, gravitation or imperfection in the vacuum;
- that the CIPM had already recommended a list of radiations for this purpose;

recalling also that in 1992 the CIPM revised the practical realization of the definition of the metre;

considering

- that science and technology continue to demand improved accuracy in the realization of the metre;
- that since 1992 work in national laboratories, in the BIPM and elsewhere has identified new radiations and methods for their realization which lead to lower uncertainties;
- that such work has also substantially reduced the uncertainty in the determined value of the frequency and wavelength in vacuum of one of the previously recommended radiations;
- that a revision of the list of recommended radiations is desirable for many applications, which include not only the direct realization of the metre by means of optical interferometry for practical length measurement, but also spectroscopy, atomic and molecular physics and the determination of fundamental physical constants;

recommends

- that the list of recommended radiations given by the CIPM in 1992 (Recommendation 3 (CI-1992)) be replaced by the list of radiations given below;
- that to the rules for the realization of the metre the following note be added concerning general relativity:

In the context of general relativity, the metre is considered a unit of proper length. Its definition, therefore, applies only within a spatial extent sufficiently small that the effects of the non-uniformity of the gravitational field can be ignored. In this case, the effects to be taken into account are those of special relativity only. The local methods for the realization of the metre recommended in *b*) and *c*) provide the proper metre but not necessarily that given in *a*). Method *a*) should, therefore, be restricted to lengths *l*

which are sufficiently short for the effects predicted by general relativity to be negligible with respect to the uncertainties of realization. For advice on the interpretation of measurements in which this is not the case, see the report of the CCDS working group on the application of general relativity to metrology (Application of general relativity to metrology, *Metrologia*, 1997, **34**, 261-290).

Note. Current practice is to use c_0 to denote the speed of light in vacuum (ISO 31). In the original Recommendation of 1983, the symbol c was used for this purpose.

CIPM list of approved radiations for the practical realization of the metre, 1997: frequencies and vacuum wavelengths

This list replaces those published in *BIPM Proc.-Verb. Com. Int. Poids et Mesures*, 1983, **51**, 25-28, 1992, **60**, 141-144 and *Metrologia*, 1984, **19**, 165-166, 1993/94, **30**, 523-541.

In this list, the values of the frequency f and of the vacuum wavelength λ should be related exactly by the relation $\lambda f = c_0$, with $c_0 = 299\,792\,458$ m/s, but the values of λ are rounded.

The data and analysis used for the compilation of this list are set out in the associated Appendix: Source data for the list of recommended radiations, 1997 and its Annotated bibliography.

It should be noted that for several of the listed radiations, few independent values are available, so the estimated uncertainties may not reflect all sources of variability.

Each of the listed radiations can be replaced, without degrading the accuracy, by a radiation corresponding to another component of the same transition or by another radiation, when the frequency difference is known with sufficient accuracy. It should be also noted that to achieve the uncertainties given here it is not sufficient just to meet the specifications for the listed parameters. In addition, it is necessary to follow the best good practice concerning methods of stabilization as described in numerous scientific and technical publications. References to appropriate articles, illustrating accepted good practice for a particular radiation, may be obtained by application to a member laboratory of the CCDM⁽¹⁾ or to the BIPM.

(1) At its 1997 meeting, the CIPM changed the name of the Consultative Committee for the Definition of the Metre (CCDM) to Consultative Committee for Length (CCL).

1 Recommended radiations of stabilized lasers

1.1 Absorbing atom ^1H , 1S-2S, two-photon transition

The values $f = 1\,233\,030\,706\,593.7$ kHz

$$\lambda = 243\,134\,624.6260 \text{ fm}$$

with a relative standard uncertainty of 8.5×10^{-13} apply to radiation stabilized to the two-photon transition in a cold hydrogen beam, corrected to zero laser power, and for atoms which are effectively stationary, i.e. the values are corrected for second-order Doppler shift.

Other hydrogen absorbing transitions may be similarly used, and are given in Appendix M 3 to the CCDM Report (1997).

1.2 Absorbing molecule $^{127}\text{I}_2$, transition 43-0, P(13), component a_3 (or s)

The values $f = 582\,490\,603.37$ MHz

$$\lambda = 514\,673\,466.4 \text{ fm}$$

with a relative standard uncertainty of 2.5×10^{-10} apply to the radiation of an Ar^+ laser stabilized with an iodine cell external to the laser, having a cold-finger temperature of $(-5 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}^{(2)}$.

1.3 Absorbing molecule $^{127}\text{I}_2$, transition 32-0, R(56), component a_{10}

The values $f = 563\,260\,223.48$ MHz

$$\lambda = 532\,245\,036.14 \text{ fm}$$

with a relative standard uncertainty of 7×10^{-11} apply to the radiation of a frequency-doubled Nd:YAG laser, stabilized with an iodine cell external to the laser, having a cold-finger temperature between $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ and $-20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Other $^{127}\text{I}_2$ absorbing transitions close to this transition may also be used by making reference to the following frequency differences, for which the standard uncertainty is $u_c = 2$ kHz.

(2) For the specification of operating conditions, such as temperature, modulation width and laser power, the symbols \pm refer to a tolerance, not an uncertainty.

Wavelengths for $^{127}\text{I}_2$ transitions

Transition	Frequency difference
x	$[f(x) - f(32-0, \text{R}(56), a_{10})]/\text{kHz}$
32-0, R(57), a_1	-50 946 880.4
32-0, P(54), a_1	-47 588 892.5
35-0, P(119), a_1	-36 840 161.5
33-0, R(86), a_1	-32 190 404.0
34-0, R(106), a_1	-30 434 761.5
36-0, R(134), a_1	-17 173 680.4
33-0, P(83), a_{21}	-15 682 074.1
32-0, P(56), a_{10}	0
32-0, P(53), a_1	+2 599 708.0

Here, $f(x)$ represents the frequency of the transition denoted x and $f(32-0, \text{R}(56), a_{10})$ the frequency of the reference transition.

1.4 Absorbing molecule $^{127}\text{I}_2$, transition 26-0, R(12), component a_9

The values $f = 551\,579\,482.96$ MHz
 $\lambda = 543\,516\,333.1$ fm

with a relative standard uncertainty of 2.5×10^{-10} apply to the radiation of a frequency stabilized He-Ne laser with an external iodine cell having a cold-finger temperature of (0 ± 2) °C.

1.5 Absorbing molecule $^{127}\text{I}_2$, transition 9-2, R(47), component a_7 (or o)

The values $f = 489\,880\,354.9$ MHz
 $\lambda = 611\,970\,770.0$ fm

with a relative standard uncertainty of 3×10^{-10} apply to the radiation of a He-Ne laser stabilized with an iodine cell, within or external to the laser, having a cold-finger temperature of (-5 ± 2) °C.

1.6 Absorbing molecule $^{127}\text{I}_2$, transition 11-5, R(127), component a_{13} (or i)

The values $f = 473\,612\,214\,705$ kHz
 $\lambda = 632\,991\,398.22$ fm

with a relative standard uncertainty of 2.5×10^{-11} apply to the radiation of a He-Ne laser with an internal iodine cell, stabilized using the third harmonic detection technique, subject to the conditions :

- cell-wall temperature (25 ± 5) °C;
- cold-finger temperature (15 ± 0.2) °C;
- frequency modulation width, peak to peak (6 ± 0.3) MHz;

- one-way intracavity beam power (i.e., the output power divided by the transmittance of the output mirror) (10 ± 5) mW for an absolute value of the power shift coefficient ≤ 1.4 kHz/mW.

These conditions are by themselves insufficient to ensure that the stated standard uncertainty will be achieved. It is also necessary for the optical and electronic control systems to be operating with the appropriate technical performance. The iodine cell may also be operated under relaxed conditions, leading to the larger uncertainty specified in Appendix M 2 of the CCDM Report (1997).

1.7 Absorbing molecule $^{127}\text{I}_2$, transition 8-5, P(10), component a_9 (or g)

The values

$$f = 468\,218\,332.4 \text{ MHz}$$

$$\lambda = 640\,283\,468.7 \text{ fm}$$

with a relative standard uncertainty of 4.5×10^{-10} apply to the radiation of a He-Ne laser stabilized with an internal iodine cell having a cold-finger temperature of (16 ± 1) °C and a frequency modulation width, peak to peak, of (6 ± 1) MHz.

1.8 Absorbing atom ^{40}Ca , transition $^1\text{S}_0 - ^3\text{P}_1$; $\Delta m_J = 0$

The values

$$f = 455\,986\,240\,494.15 \text{ kHz}$$

$$\lambda = 657\,459\,439.2917 \text{ fm}$$

with a relative standard uncertainty of 6×10^{-13} apply to the radiation of a laser stabilized to Ca atoms. The values correspond to the mean frequency of the two recoil-split components for atoms which are effectively stationary, i.e. the values are corrected for second-order Doppler shift.

1.9 Absorbing ion $^{88}\text{Sr}^+$, transition $5^2\text{S}_{1/2} - 4^2\text{D}_{5/2}$

The values

$$f = 444\,779\,044.04 \text{ MHz}$$

$$\lambda = 674\,025\,590.95 \text{ fm}$$

with a relative standard uncertainty of 1.3×10^{-10} apply to the radiation of a laser stabilized to the transition observed with a trapped and cooled strontium ion. The values correspond to the centre of the Zeeman multiplet.

1.10 Absorbing atom ^{85}Rb , $5\text{S}_{1/2} (F=3) - 5\text{D}_{5/2} (F=5)$, two-photon transition

The values

$$f = 385\,285\,142\,378 \text{ kHz}$$

$$\lambda = 778\,105\,421.22 \text{ fm}$$

with a relative standard uncertainty of 1.3×10^{-11} apply to the radiation of a laser stabilized to the centre of the two-photon transition. The values apply to a rubidium cell at a temperature below 100 °C, are corrected to zero laser power, and for second-order Doppler shift.

Other rubidium absorbing transitions may also be used, and are given in Appendix M 3 to the CCDM Report (1997).

1.11 Absorbing molecule CH₄, transition ν_3 , P(7), component F₂⁽²⁾

1.11.1 The values $f = 88\,376\,181\,600.18$ kHz
 $\lambda = 3\,392\,231\,397.327$ fm

with a relative standard uncertainty of 3×10^{-12} apply to the radiation of a He-Ne laser stabilized to the central component [(7-6) transition] of the resolved hyperfine-structure triplet. The values correspond to the mean frequency of the two recoil-split components for molecules which are effectively stationary, i.e. the values are corrected for second-order Doppler shift.

1.11.2 The values $f = 88\,376\,181\,600.5$ kHz
 $\lambda = 3\,392\,231\,397.31$ fm

with a relative standard uncertainty of 2.3×10^{-11} apply to the radiation of a He-Ne laser stabilized to the centre of the unresolved hyperfine-structure of a methane cell, within or external to the laser, held at room temperature and subject to the following conditions:

- methane pressure ≤ 3 Pa;
- mean one-way intracavity surface power density (i.e., the output power density divided by the transmittance of the output mirror) $\leq 10^4$ Wm⁻²;
- radius of wavefront curvature ≥ 1 m;
- inequality of power between counter-propagating waves ≤ 5 %;
- servo referenced to a detector placed at the output facing the laser tube.

1.12 Absorbing molecule OsO₄, transition in coincidence with the ¹²C¹⁶O₂, R(12) laser line

The values $f = 29\,096\,274\,952.34$ kHz
 $\lambda = 10\,303\,465\,254.27$ fm

with a relative standard uncertainty of 6×10^{-12} apply to the radiation of a CO₂ laser stabilized with an external OsO₄ cell at a pressure below 0.2 Pa.

Other transitions may also be used, and are given in Appendix M 3 of the CCDM Report (1997).

2 Recommended values for radiations of spectral lamps and other sources

2.1 Radiation corresponding to the transition between the levels $2p_{10}$ and $5d_5$ of the atom of ^{86}Kr

The value $\lambda = 605\,780\,210.3\text{ fm}$

with a relative expanded uncertainty⁽³⁾, $U = ku_c$ ($k = 3$), of 4×10^{-9} [equal to three times the relative standard uncertainty of 1.3×10^{-9}], applies to the radiation emitted by a discharge lamp operated under the conditions recommended by the CIPM in 1960 (*BIPM Proc.-Verb. Com. Int. Poids et Mesures*, 1960, **28**, 71-72 and *BIPM Comptes Rendus 11^e Conf. Gén. Poids et Mesures*, 1960, 85). These are as follows :

The radiation of ^{86}Kr is obtained by means of a hot cathode discharge lamp containing ^{86}Kr , of a purity not less than 99 %, in sufficient quantity to assure the presence of solid krypton at a temperature of 64 K, this lamp having a capillary with the following characteristics: inner diameter from 2 mm to 4 mm, wall thickness about 1 mm.

It is estimated that the wavelength of the radiation emitted by the positive column is equal, to within 1 part in 10^8 , to the wavelength corresponding to the transition between the unperturbed levels, when the following conditions are satisfied:

1. the capillary is observed end-on from the side closest to the anode;
2. the lower part of the lamp, including the capillary, is immersed in a cold bath maintained at a temperature within one degree of the triple point of nitrogen;
3. the current density in the capillary is $(0.3 \pm 0.1)\text{ A/cm}^2$.

2.2 Radiations for atoms of ^{86}Kr , ^{198}Hg and ^{114}Cd

In 1963 the CIPM (*BIPM Com. Cons. Déf. Mètre*, 1962, **3**, 18-19 and *BIPM Proc.-Verb. Com. Int. Poids et Mesures*, 1963, **52**, 26-27) specified values for the vacuum wavelengths, λ , operating conditions, and the corresponding uncertainties, for certain transitions in ^{86}Kr , ^{198}Hg and ^{114}Cd .

(3) The uncertainty quoted in the 1960 document was 1×10^{-8} and was subsequently improved to 4×10^{-9} (*BIPM Com. Cons. Déf. Mètre*, 1973, **5**, M 12).

Vacuum wavelengths, λ , for ^{86}Kr transitions

Transition	λ /pm
$2p_9 - 5d'_4$	645 807.20
$2p_8 - 5d_4$	642 280.06
$1s_3 - 3p_{10}$	565 112.86
$1s_4 - 3p_8$	450 361.62

For ^{86}Kr , the above values apply, with a relative uncertainty of 2×10^{-8} , to radiations emitted by a lamp operated under conditions similar to those specified in (2.1).

Vacuum wavelengths, λ , for ^{198}Hg transitions

Transition	λ /pm
$6^1P_1 - 6^1D_2$	579 226.83
$6^1P_1 - 6^3D_2$	577 119.83
$6^3P_2 - 7^3S_1$	546 227.05
$6^3P_1 - 7^3S_1$	435 956.24

For ^{198}Hg , the above values apply, with a relative uncertainty of 5×10^{-8} , to radiations emitted by a discharge lamp when the following conditions are met:

- the radiations are produced using a discharge lamp without electrodes containing ^{198}Hg , of a purity not less than 98 %, and argon at a pressure from 0.5 mm Hg to 1.0 mm Hg (66 Pa to 133 Pa);
- the internal diameter of the capillary of the lamp is about 5 mm, and the radiation is observed transversely;
- the lamp is excited by a high-frequency field at a moderate power and is maintained at a temperature less than 10 °C;
- it is preferred that the volume of the lamp be greater than 20 cm³.

Vacuum wavelengths, λ , for ^{114}Cd transitions

Transition	λ /pm
$5^1P_1 - 5^1D_2$	644 024.80
$5^3P_2 - 6^3S_1$	508 723.79
$5^3P_1 - 6^3S_1$	480 125.21
$5^3P_0 - 6^3S_1$	467 945.81

For ^{114}Cd , the above values apply, with a relative uncertainty of 7×10^{-8} , to radiations emitted by a discharge lamp under the following conditions:

- a) the radiations are generated using a discharge lamp without electrodes, containing ^{114}Cd of a purity not less than 95 %, and argon at a pressure of about 1 mm Hg (133 Pa) at ambient temperature;
- b) the internal diameter of the capillary of the lamp is about 5 mm, and the radiation is observed transversely;
- c) the lamp is excited by a high-frequency field at a moderate power and is maintained at a temperature such that the green line is not reversed.

Note. The uncertainties quoted throughout Section 2.2 are judged to correspond to relative expanded uncertainties $U = ku_c$ ($k = 3$), equal to three times the relative combined standard uncertainties.

2.3 Absorbing molecule $^{127}\text{I}_2$, transition 17-1, P(62) component a_1 , as recommended by the CIPM in 1992 (*BIPM Com. Cons. Déf. Mètre*, 1992, **8**, M18 and M137, and *Mise en Pratique* of the Definition of the Metre (1992), *Metrologia*, 1993/94, **30**, 523-541).

The values

$$f = 520\,206\,808.4 \text{ MHz}$$
$$\lambda = 576\,294\,760.4 \text{ fm}$$

with a relative standard uncertainty of 4×10^{-10} , apply to the radiation of a dye laser (or frequency-doubled He-Ne laser) stabilized with an iodine cell, within or external to the laser, having a cold-finger temperature of $(6 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$.

2 RECOMMENDATION 2 (CI-1997): Metrology in chemistry

The Comité International des Poids et Mesures,

recalling Resolution 7 of the 20th Conférence Générale des Poids et Mesures on metrology in chemistry,

considering

- the world-wide development of trade agreements under the World Trade Organization,
- the need to eliminate metrology-related technical barriers to trade,
- the need for agreements on mutual recognition and other forms of recognition if measurements are to be traceable from one country to another,

considering also

- that many environmental and public health decisions are based on measurements in chemistry,
- that the development of world-wide traceability is still far from complete for measurements in chemistry,

recommends that national metrology institutes

- continue to initiate and coordinate national activities in the field of metrology in chemistry, in close cooperation with other relevant bodies,
- work, in collaboration with the Consultative Committee for Amount of Substance, to define the areas of priority and essential international comparisons which are key to the traceability of measurements in chemistry, both world-wide and within regions.

**MEMBERSHIP
OF CONSULTATIVE COMMITTEES
OF THE COMITÉ INTERNATIONAL
DES POIDS ET MESURES**

CONSULTATIVE COMMITTEE FOR ELECTRICITY AND MAGNETISM (CCEM)

President

Prof. Dr E.O. Göbel, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.

Executive secretary

Dr T.J. Witt, Bureau International des Poids et Mesures.

Members

Bureau National de Métrologie: Laboratoire Central des Industries
Électriques, Fontenay-aux-Roses.

CSIR, National Metrology Laboratory, Pretoria.

CSIRO, National Measurement Laboratory, Lindfield.

Danish Institute of Fundamental Metrology, Lyngby.

D.I. Mendelejev Institute for Metrology, St Petersburg.

Electrotechnical Laboratory, Tsukuba.

Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin.

Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon.

Measurement Standards Laboratory of New Zealand, Lower Hutt.

National Institute of Metrology, Beijing.

National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg.

National Physical Laboratory, Teddington.

National Physical Laboratory of India, New Delhi.

National Research Council of Canada, Ottawa.

Nederlands Meetinstituut: Van Swinden Laboratorium, Delft.

Office Fédéral de Métrologie, Wabern.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.

Swedish National Testing and Research Institute, Borås.

Prof. H. Seppä.

The Director of the Bureau International des Poids et Mesures.

Observers

Centro Español de Metrología, Madrid.

Czech Office for Standards, Metrology and Testing, Prague.

**CONSULTATIVE COMMITTEE
FOR PHOTOMETRY AND RADIOMETRY (CCPR)**

President

Dr A.J. Wallard, National Physical Laboratory, Teddington.

Executive secretary

Dr R. Köhler, Bureau International des Poids et Mesures.

Members

All-Russian Research Institute for Optophysical Measurements, Moscow.

Bureau National de Métrologie: Institut National de Métrologie, Paris.

CSIR, National Metrology Laboratory, Pretoria.

CSIRO, National Measurement Laboratory, Lindfield.

Departamento de Metrologia, Instituto de Fisica Aplicada, Madrid.

Electrotechnical Laboratory, Tsukuba.

Helsinki University of Technology, Espoo.

Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin.

Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon.

Measurement Standards Laboratory of New Zealand, Lower Hutt.

National Institute of Metrology, Beijing.

National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg.

National Physical Laboratory, Teddington.

National Research Council of Canada, Ottawa.

Office Fédéral de Métrologie, Wabern.

Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.

Slovenský Metrologický Ústav, Bratislava.

The Director of the Bureau International des Poids et Mesures.

Observers

National Metrology Institute, Gebze-Kocaeli.

Nederlands Meetinstituut, Delft.

CONSULTATIVE COMMITTEE FOR THERMOMETRY (CCT)

President

Dr K.B. Gebbie, National Institute of Standards and Technology,
Gaithersburg.

Executive secretary

Dr R. Köhler, Bureau International des Poids et Mesures.

Members

All-Russian Research Institute for Physical, Technical and Radiotechnical
Measurements, Moscow.

Bureau National de Métrologie: Institut National de Métrologie, Paris.

CSIRO, National Measurement Laboratory, Lindfield.

D.I. Mendelejev Institute for Metrology, St Petersburg.

Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin.

Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon.

Measurement Standards Laboratory of New Zealand, Lower Hutt.

National Institute of Metrology, Beijing.

National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg.

National Physical Laboratory, Teddington.

National Research Council of Canada, Ottawa.

National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba.

Nederlands Meetinstituut: Van Swinden Laboratorium, Delft.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.

Slovenský Metrologický Ústav, Bratislava.

The Director of the Bureau International des Poids et Mesures.

Observers

Centro Español de Metrología, Madrid.

Instituto Português da Qualidade, Lisbon.

Centro Nacional de Metrología, Mexico.

Singapore Productivity and Standards Board, Singapore.

CONSULTATIVE COMMITTEE FOR LENGTH (CCL)

President

Dr Chung Myung Sai, Korea Research Institute of Standards and Science,
Taejeon.

Executive secretary

Mr J.-M. Chartier, Bureau International des Poids et Mesures.

Members

Bureau National de Métrologie: Institut National de Métrologie, Paris.
Centro Nacional de Metrologia, Mexico.
Czech Metrological Institute, Brno.
CSIRO, National Measurement Laboratory, Lindfield.
D.I. Mendeleev Institute for Metrology, St Petersburg.
Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin.
Korea Research Institute of Standards and Science, Taejeon.
National Institute of Metrology, Beijing.
National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg/JILA, Boulder.
National Physical Laboratory, Teddington.
National Research Council of Canada, Ottawa.
National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba.
Nederlands Meetinstituut, Delft.
Office Fédéral de Métrologie, Wabern.
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.
Slovenský Metrologický Ústav, Bratislava.
The Director of the Bureau International des Poids et Mesures.

Observers

Centro Español de Metrología, Madrid.

CSIR, National Metrology Laboratory, Pretoria.

CONSULTATIVE COMMITTEE FOR TIME AND FREQUENCY (CCTF)

President

Prof. S. Leschiutta, Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin.

Executive secretary

Dr C. Thomas, Bureau International des Poids et Mesures.

Members

All-Russian Research Institute for Physical, Technical and Radiotechnical Measurements, Moscow.

Bureau National de Métrologie: Laboratoire Primaire du Temps et des Fréquences, Paris.

Communications Research Laboratory, Tokyo.

CSIRO, National Measurement Laboratory, Lindfield.

International Astronomical Union.

International Telecommunication Union, Radiocommunication Bureau.

International Union of Geodesy and Geophysics.

International Union of Radio Science.

Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin.

Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon.

Laboratoire de l'Horloge Atomique du Centre National de la Recherche Scientifique, Orsay.

National Institute of Metrology, Beijing.

National Institute of Standards and Technology, Boulder.

National Physical Laboratory, Teddington.

National Physical Laboratory of India, New Delhi.

National Physical Laboratory of Israel, Jerusalem.

National Research Council of Canada, Ottawa.

National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba.

Nederlands Meetinstituut: Van Swinden Laboratorium, Delft.

Observatoire Royal de Belgique, Brussels.

Office Fédéral de Métrologie, Wabern/Observatoire Cantonal, Neuchâtel.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.

Real Instituto y Observatorio de la Armada, San Fernando.

Technical University, Graz.

U.S. Naval Observatory, Washington DC.

B. Guinot.

The Director of the Bureau International des Poids et Mesures.

CONSULTATIVE COMMITTEE FOR IONIZING RADIATION (CCRI)

President

Prof. G. Moscati, Instituto de Fisica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Executive secretary

Mrs M. Boutillon, Bureau International des Poids et Mesures (until 30 September 1998).

Dr P. Allisy-Roberts, Bureau International des Poids et Mesures (from 1 October 1998).

Members

The Chairman of Section I.

The Chairman of Section II.

The Chairman of Section III.

Section I (X and γ rays, electrons)

Chairman

K. Hohlfeld, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.

Members

Australian Radiation Laboratory, Yallambie.

Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Vienna.

Bureau National de Métrologie: Laboratoire Primaire des Rayonnements Ionisants, Saclay.

D.I. Mendeleyev Institute for Metrology, St Petersburg.

Electrotechnical Laboratory, Tsukuba.

Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Rome.

Główny Urząd Miar, Warsaw.
International Commission on Radiation Units and Measurements.
National Institute of Metrology, Beijing.
National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg.
National Physical Laboratory, Teddington.
National Research Council of Canada, Ottawa.
Nederlands Meetinstituut: Van Swinden Laboratorium, Delft.
Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest.
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.
Swedish Radiation Protection Institute, Stockholm.
A. Brosted.
The Director of the Bureau International des Poids et Mesures.

Observers

International Atomic Energy Agency.
International Organization for Medical Physics.
International Radioprotection Association.
Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes, Rio de Janeiro.

Section II (Measurement of radionuclides)

Chairman

Dr B.R.S. Simpson, National Accelerator Centre, Faure.

Members

Australian Nuclear Science and Technology Organisation, Menai.
Bureau National de Métrologie: Laboratoire Primaire des Rayonnements Ionisants, Saclay.
Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Madrid.
D.I. Mendeleyev Institute for Metrology, St Petersburg.
Electrotechnical Laboratory, Tsukuba.
Korea Research Institute of Standards and Science, Taejeon.
Institute for Reference Materials and Measurements, Geel.
National Accelerator Centre, Faure.
National Institute of Metrology, Beijing.
National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg.
National Physical Laboratory, Teddington.
National Research Council of Canada, Ottawa.

Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest.
 Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.
 Radioisotope Centre, Otwock/Swierk.
 J.-J. Gostely.
 G. Winkler.
 The Director of the Bureau International des Poids et Mesures.

Observers

Czech Metrological Institute, Prague.
 Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Rome.
 International Commission on Radiation Units and Measurements.
 International Organization for Medical Physics.
 International Radiation Protection Association.
 Nederlands Meetinstituut, Utrecht.

Section III (Neutron measurements)

Chairman

Dr V.E. Lewis, National Physical Laboratory, Teddington.

Members

Bureau National de Métrologie: Laboratoire Primaire des Rayonnements Ionisants, Saclay.
 D.I. Mendelejev Institute for Metrology, St Petersburg.
 Electrotechnical Laboratory, Tsukuba.
 Institute for Reference Materials and Measurements, Geel.
 National Institute of Metrology, Beijing.
 National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg.
 National Physical Laboratory, Teddington.
 Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.
 J.J. Broerse.
 The Director of the Bureau International des Poids et Mesures.

Observers

Chinese Institute of Atomic Energy, Beijing.
 International Atomic Energy Agency.
 International Commission on Radiation Units and Measurements.

CONSULTATIVE COMMITTEE FOR UNITS (CCU)

President

Prof. I.M. Mills, University of Reading.

Executive secretary

Dr D. Blackburn, Bureau International des Poids et Mesures (until 31 May 1998).

Dr P. Martin, Bureau International des Poids et Mesures (from 1 June 1998).

Members

Committee of the Russian Federation for Standardization, Metrology and Certification, Moscow.

International Astronomical Union.

International Commission on Illumination.

International Commission on Radiation Units and Measurements.

International Electrotechnical Commission: Technical Committee 25.

International Organization for Standardization: Technical Committee 12.

International Union of Pure and Applied Chemistry: Commission STU.

International Union of Pure and Applied Physics: Commission SUN-AMCO.

National Institute of Metrology, Beijing.

National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg.

National Physical Laboratory, Teddington.

National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba.

Organisation Internationale de Métrologie Légale.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.

L. Villena.

The Director of the Bureau International des Poids et Mesures.

CONSULTATIVE COMMITTEE FOR MASS AND RELATED QUANTITIES (CCM)

President

Dr K. Iizuka, c/o National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba.

Executive secretary

Dr R.S. Davis, Bureau International des Poids et Mesures.

Members

Bureau National de Métrologie: Institut National de Métrologie, Paris.

CSIRO, National Measurement Laboratory, Lindfield.

D.I. Mendeleev Institute for Metrology, St Petersburg.

Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin.

Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon.

National Institute of Metrology, Beijing.

National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg.

National Physical Laboratory, Teddington.

National Research Council of Canada, Ottawa.

National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba.

Nederlands Meetinstituut: Van Swinden Laboratorium, Delft.

Office Fédéral de Métrologie, Wabern.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig and Berlin.

Slovenský Metrologický Ústav, Bratislava.

Swedish National Testing and Research Institute, Borås.

The Director of the Bureau International des Poids et Mesures.

Observers

Centro Nacional de Metrologia, Mexico.

Centro Español de Metrologia, Madrid.

CONSULTATIVE COMMITTEE FOR AMOUNT OF SUBSTANCE (CCQM)

President

Dr R. Kaarls, Nederlands Meetinstituut, Delft.

Executive secretary

Dr R.S. Davis, Bureau International des Poids et Mesures.

Members

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin.

Bureau National de Métrologie: Laboratoire National d'Essais, Paris.

D.I. Mendeleyev Institute for Metrology, St Petersburg.

Danish Institute of Fundamental Metrology, Lyngby.

Institute for Reference Materials and Measurements, Geel.

International Organization for Standardization: Committee for Reference Materials.

International Union of Pure and Applied Chemistry.

Korea Research Institute of Standards and Science, Taejeon.

National Institute of Metrology/National Research Centre for Certified Reference Materials, Beijing.

National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg.

National Physical Laboratory/Laboratory of the Government Chemist, Teddington.

National Research Council of Canada, Ottawa.

National Research Laboratory of Metrology/National Institute of Material and Chemical Research, Tsukuba.

Nederlands Meetinstituut, Delft.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig and Berlin.

Swedish National Testing and Research Institute, Borås.

The Director of the Bureau International des Poids et Mesures.

Observers

Central Office of Measures, Warsaw.

National Office of Measures, Budapest.

National Physical Laboratory of India, New Delhi.

Office Fédéral de Métrologie, Wabern.

Slovenský Metrologický Ústav, Bratislava.

**DIRECTOR'S REPORT
ON THE ACTIVITY AND MANAGEMENT
OF THE BUREAU INTERNATIONAL
DES POIDS ET MESURES**

(October 1996 - September 1997)



1 GENERAL INTRODUCTION TO THE SCIENTIFIC WORK OF THE BIPM

In his draft report on behalf of the CIPM on “National and international needs relating to metrology: International collaborations and the role of the BIPM”, W.R. Blevin reviewed the role of the BIPM. He took as his starting point the statement on the “Role of the BIPM in the 1980s” adopted by the CIPM in 1984. Considering the work in the BIPM laboratories, he identified five main activities that should be pursued into the 21st century. These are:

1. to conserve and disseminate the primary standard of mass, the International Prototype of the Kilogram;
2. to establish and disseminate International Atomic Time and, in collaboration with the appropriate astronomical organizations, Universal Coordinated Time;
3. to provide a centre for the international comparison of physical realizations of other base and derived units and for the development of primary methods of measurement in chemistry, as may be necessary to meet the needs of the ensemble of national metrology institutes, and to make its own realizations in some cases where specific advantages are foreseen;
4. to provide calibrations to the national metrology institutes of the Member States of the Metre Convention, wherever this is feasible;
5. to undertake scientific research related to measurement units and standards, including some relevant fundamental research and the determination of physical constants.

This delineation of the objectives of the scientific work clearly shows that each area requires a different mixture of types of activity. The first four activities listed are service activities, carried out directly on behalf of the national laboratories; the fifth, scientific research, provides the essential knowledge and experience which makes the others possible. To fulfil its mission, the BIPM must maintain a careful balance between service and

research: this balance is not fixed but shifts to follow current developments in physics and metrology.

International comparisons and calibrations constitute the major part of the work described in this report. The increased attention now being given to international comparisons stems from the need to demonstrate equivalence, and directly affects our work in two ways. First, we are under increasing pressure to act as pilot laboratory for those comparisons for which we have the expertise and facilities: second, the executive secretaries of the Consultative Committees, who are the heads of Sections at the BIPM, spend increasing amounts of time on matters related to comparisons. The Consultative Committees are currently choosing the comparisons which will be treated as key, initiating a wide range of comparisons and setting strict schedules for their implementation. One of the tasks of the executive secretaries of the Consultative Committees is to help pilot laboratories adhere to the schedules set. While this is clearly important, the long-term scientific capability of the BIPM cannot be maintained without a significant programme of research.

For the key comparisons carried out directly by the BIPM, we generally make and test the transfer instruments. This is painstaking and demanding work: for the Josephson, quantum-Hall and laser comparisons, the transfer instruments are primary standards and are the object of detailed and prolonged study; for the radiometric responsivity comparison, transfer instruments, in the form of sets of trap detectors, were made at the BIPM and studied in detail before being sent out to national laboratories; for the new series of bilateral comparisons being initiated in the Electricity section, sets of six of the best commercial standards were purchased and are the subject of detailed study prior to being sent out to national laboratories. Much of our current research is related to the behaviour of transfer standards; this involves studies of existing standards and the development of new ones.

These general points indicate the balance of priorities which influenced the work of the BIPM in the past year. I close this introduction by pointing to some of the highlights of the work carried out in the individual sections.

In the Length section two important grouped laser comparisons a $\lambda = 633$ nm are now complete. One with the laboratories of NORAMET took place at the CENAM in Mexico and involved lasers from the CENAM (Mexico), the NIST/JILA (United States) and the NRC (Canada). The other took place at the NIM (China) and involved the KRISS (Rep. of Korea), the NIM, the

NRLM (Japan) and the SCL (Hong Kong). These two comparisons complete a series extending over the past four years that now links some forty laboratories from all the regional metrology organizations active in this field: APMP, COOMET, EUROMET, and NORAMET. All of these comparisons have been made by reference to the BIPM lasers and most of them by taking our lasers to national laboratories where grouped comparisons took place. Development of new laser systems continues, particular effort being given this year to the double Nd:YAG laser at $\lambda = 532$ nm.

In the Mass section, the international comparisons of 1 kg standards in stainless steel are almost complete. Thirteen national laboratories have taken part in these measurements with the BIPM acting as pilot. The new flexure-strip balance has undergone commissioning tests; although sub-microgram repeatability has already been achieved, a few simple modifications should improve this performance. Exploitation of expertise developed in the study of Cu-Be strips under tension has resulted in the construction of a novel torsion balance to determine the Newtonian gravitational constant. A new hydrostatic apparatus for measuring densities has been designed and is under construction.

The medium-term stability of International Atomic Time (TAI), expressed in terms of an Allan standard deviation, is now estimated to be 1.3×10^{-15} for averaging times of about 40 days and is improving, due largely to increasing use by national laboratories of the new and much improved HP 5071A caesium clocks. From October 1996 to September 1997, our estimation of TAI accuracy was mainly based on results from two primary frequency standards, PTB CS2 and NIST-7, the primary standard PTB CS3 having not yet proved its reliability. No data has been received from the BNM-LPTF caesium fountain since May 1996 but some is expected before the end of 1997. An important part of our research activity deals with time comparison studies using common views of GPS and GLONASS satellites observed with multi-channel receivers.

In the Electricity section, an important piece of work this year was the completion of an impedance bridge to link the quantized-Hall resistance to the impedance of standard capacitors. This is being tested by comparing the results of accurate determinations of a capacitance ratio, nominally of 10:1 and carried out at the PTB, with the results of measurements made here using the new impedance bridge. This comparison is not yet complete; preliminary results so far indicate agreement to within a few parts in 10^8 , a very satisfactory outcome. Also this year, we took our equipment to the IEN (Italy) for a comparison of 1 V Josephson standards. Excellent results were obtained,

comparable with those obtained in the previous direct comparisons of Josephson standards.

Most of the work in the Radiometry and photometry section has been devoted to the international comparisons approved by the CCPR in 1994. For the BIPM this has meant piloting two comparisons, one on the responsivity of cryogenic radiometers by means of trap detectors, scheduled for completion in 1998, and the other on the luminous responsivity of photometers, completed in the summer of 1997. A first direct realization of the candela has been made at the BIPM: four commercial photometers, modified by fitting them with calibrated apertures purchased from the NPL, were calibrated as illuminance meters so providing a direct radiometric realization of the candela. Previous representations of photometric units maintained at the BIPM were based on a group of lamps for which the average output was linked to past international comparisons. When the result of the new realization was compared with those obtained during the international comparison of photometers and with the candela maintained on lamps since 1985, the agreement was excellent. This new realization, and future similar ones based on the BIPM cryogenic radiometer, will improve the stability of the candela maintained at the BIPM.

Recent meetings of the three Sections of the CCEMRI have emphasized a continuing need to improve the traceability of measurements in ionizing radiations. In the field of x- and γ -ray dosimetry new comparisons, carried out by the BIPM with a number of other laboratories, show results in good agreement with comparisons made up to fifteen years previously. International comparisons of activity measurements have once more shown themselves to be useful in revealing unsuspected problems in the standardization of nuclides for which measurements are relatively easy. The extension of the International Reference System to β -emitters will be considered fully operational after completion of the current, and very promising, comparison of activity measurements of ^{90}Sr solutions.

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

1.1.1 External publications

1. KAARLS R., QUINN T.J., The Comité Consultatif pour la Quantité de Matière: a brief review of its origin and present activities, *Metrologia*, 1997, **34**, 1-5.
2. QUINN T.J., Primary methods of measurement and primary standards, *Metrologia*, 1997, **34**, 61-65.

3. QUINN T.J., International Report: News from the BIPM, *Metrologia*, 1997, **34**, 187-194.
4. QUINN T.J., International Report: Meeting of directors of national metrology institutes held in Sèvres on 17 and 18 February 1997, *Metrologia*, 1997, **34**, 433-441.

1.1.2 Travel (conferences, lectures and presentations, visits)

T.J. Quinn to:

- Manila (Philippines), 4-12 October 1996, for meetings of the APEC Sub-Committee on Standards and Conformance and Asia/Pacific Metrology Programme, lecture on "Measurement, its importance in today's world".
- Vancouver (Canada), 1-6 November 1996, for International Conference on Legal Metrology.
- University of Stanford (United States), 11-12 November 1996, lecture on "A novel torsion balance for the measurement of G ".
- JILA and NIST, Boulder (United States), 13-14 November 1996, lecture on "A novel torsion balance for the measurement of G ".
- London (United Kingdom), 25 November 1996, for Paul Fund meeting.
- PTB, Braunschweig (Germany), 6-7 January 1997, for a EUROMET Consultative Committee meeting.
- PTB, Berlin (Germany), 30-31 January 1997, lecture on "The black body, thermal radiation and temperature".
- CMA, Helsinki (Finland), 10-11 March 1997, lectures on "Equivalence of national measurement standards" and "A novel torsion balance for the measurement of G ".
- University of Cambridge (United Kingdom), 21 March 1997, for centenary meeting on the discovery of the electron.
- IMGCC, Turin (Italy), 25 March 1997, for a Scientific Council meeting.
- Canela (Brazil), 4-9 April 1997, for a School on Mechanical Metrology, lectures on "Perspectives in international metrology", "The BIPM flexure-strip balance", "A novel torsion balance for the measurement of G ".
- Buenos Aires (Argentina), 10-11 April 1997, to visit INTI, lecture on "Current activities in international metrology".
- Montevideo (Uruguay), 12-14 April 1997, to visit LATU.
- Rio de Janeiro (Brazil), 15 and 18 April 1997, to visit INMETRO, 16 April, to Brasilia, to visit Ministry of Science.
- Universities of Birmingham and Warwick (United Kingdom), 12-13 May 1997, for Paul Fund visits.

- NPL, Teddington (United Kingdom), 13 May 1997, for discussions on equivalence of national measurement standards.
- PTB, Braunschweig (Germany), 26-27 May 1997, for 9th Precision Engineering Seminar, lecture on "Precision engineering in basic physics".
- Copenhagen (Denmark), 28-30 May 1997, for EUROMET Committee meeting.
- Tampere (Finland), 2-3 June 1997, for IMEKO Conference, lecture on "Equivalence of national measurement standards".
- IMGc, Turin (Italy), 12 June 1997, for a Scientific Council meeting.
- OFMET, Wabern (Switzerland), 13 June 1997, lecture on "Equivalence of national measurement standards".
- London (United Kingdom), 30 June 1997, for Paul Fund meeting.
- Grasse (France), 1-2 July 1997, for meeting of the bureau of the CIPM.
- Pretoria (South Africa), 27-29 August 1997, for the 50th Anniversary celebration of the National Metrology Laboratory of the CSIR.
- PTB, Braunschweig (Germany), 2 September 1997, lecture on "Metrology, its importance in today's world".

D.A. Blackburn to St Petersburg (Russian Fed.), 24-29 May 1997, for INEAM'97 conference, lecture on "The role of scientific journals in the monitoring of ecological change".

1.2 Activities related to external organizations

T.J. Quinn regularly attends meetings of the Scientific Council of the IMGc, is a member of the CODATA Task Group on Fundamental Constants, is Vice-chairman of the IUPAP SUN-AMCO Commission, is a member of the IUPAC Interdivisional Committee on Nomenclature and Symbols and the Comité Scientifique of the Laboratoire de l'Horloge Atomique (France). He is a member of the editorial board of the Institute of Physics journal *Reports on Progress in Physics* and is a Royal Society representative on the Paul Instrument Fund. He represented the BIPM on ISO/TAG 4 and is provisional chairman of its successor, the Joint Committee for Guides in Metrology.

1.3 Activities related to the work of Consultative Committees

T.J. Quinn was until September 1997 President *ad interim* of the CCT.

D.A. Blackburn is executive secretary of the CCU.

2 LENGTH (J.-M. Chartier)

2.1 Length measurement: nanometrology

2.1.1 Laser interferometric diffractometer: three wavelength method (L.F. Vitushkin)

i) *Theoretical analysis of uncertainties*

The capability of the three wavelength method to determine the spacing of the gratings tested last year with our laser interferometric diffractometer was confirmed this year.

A theoretical approach shows that for a given combination of three wavelengths ($\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2$) and a specified uncertainty ΔD_x in the grating spacing D_x , we can calculate the uncertainty $\Delta p_{21}/p_{21}$ with which the ratio $p_{21} = p_2/p_1$ may be determined (here p_1 and p_2 represent, respectively, the periods of interference fringes measured at wavelengths λ_1 and λ_2 , λ_0 being a reference wavelength used for the alignment of the diffractometer), leading to a sensitivity coefficient K_s defined by $K_s = (\Delta p_{21}/p_{21})/(\Delta D_x/D_x)$. Thus, for $\Delta p_{21}/p_{21} = 10^{-3}$, and $D_x = 278$ nm, 310 nm, 392 nm and 501 nm we obtain relative uncertainties $\Delta D_x/D_x = K_s^{-1} \cdot \Delta p_{21}/p_{21} = 9.8 \times 10^{-4}$, 3.7×10^{-3} , 1.64×10^{-2} and 4.3×10^{-2} , respectively.

We can conclude that for the wavelength combination $\lambda_0 = 496.507$ nm, $\lambda_1 = 487.986$ nm and $\lambda_2 = 501.717$ nm (argon laser used at the BIPM) the smallest uncertainty in spacing measurements should be obtained for grating spacings in the range from 270 nm to 320 nm. For larger spacings, higher diffraction orders or other laser wavelengths could be used.

ii) *Measurements of diffraction gratings* (L.F. Vitushkin, A. Zarka, C.I. Eom*)

Modifications of the laser interference diffractometer have made it possible to improve the optical resolution. Measurements of the periods of the

* Guest worker from the KRISS.

interference fringes are now performed using a charge-coupled device (CCD) camera which gives a choice between manual selection of the centre of the fringes and an automatic mode using software. Three periodic short-length line scales have been the subject of preliminary measurements, one with a spacing of 460 nm, from the KRISS, and two with spacings of 278 nm and 392 nm, from the BIPM.

A new scale incorporating a smaller grating, 1 mm \times 1 mm instead of 5 mm \times 5 mm, as previously, has been designed.

iii) *Collaboration with national laboratories* (L.F. Vitushkin)

In preparation for future possible key comparisons in nanometrology, discussions have been held with the NIST, the PTB and the VNIIM. As a preliminary test, the BIPM has sent two gratings to each laboratory for calibration.

2.1.2 Laser displacement interferometry for nanometric measurements
(L.F. Vitushkin)

Multipass optical cells based on the use of oppositely arranged corner cube retroreflectors, with parallel axes, and right-angled prisms have been proposed for use in laser displacement interferometers. In these cells the incident beam enters the cell parallel to the axes of the retroreflectors and out of the plane which contains these axes. A simple cell in which the laser beam makes 24 passes has been constructed.

The use of conic reflectors (CR) with a cone angle of 90°, instead of corner cube retroreflectors, has been proposed for laser interferometry. Preliminary computations describing the transformation of the cross section of the beam reflected by the CR have been performed for different angles between the incident beam and optical axis of the CR. Two aluminium prototype CRs have been fabricated at the PTB. The design of an experimental set-up for investigation of a laser displacement interferometer based on CRs is under development at the BIPM.

2.2 Lasers

2.2.1 Doubled Nd:YAG laser at $\lambda \approx 532$ nm (L. Robertsson, S. Picard, L.F. Vitushkin)

The wavelength of 532 nm, the doubled frequency of the 1064 nm radiation obtained with a Nd:YAG laser, is likely to become one of the most important

for practical realization of the metre within the next five years. However, a practical design for such a standard has still to be developed: the optimum mix of complementary properties, among them transportability and performance (reliability, spectroscopic technique) has yet to be worked out.

The BIPM is developing its competence at this wavelength in several ways. Our first system, built around a commercial frequency-doubled Nd:YAG laser with a fast external frequency control using an acousto-optical modulator, is approaching the stage at which we can carry out preliminary frequency tests. Doppler-free saturation spectra of iodine have been recorded and an electronic servo system for the frequency stabilization is under construction.

An alternative way of producing 532 nm radiation is by cavity-enhanced frequency doubling, in which the cavity is external to the 1064 nm source. Excellent results with such systems have already been obtained by J.L. Hall's group at the JILA (University of Colorado). A frequency stability of 5 parts in 10^{14} has been obtained for a 1 s sampling time, increasing to 1 part in 10^{14} for a time of 30 s. In co-operation with this group, the BIPM is now building a compact, transportable version of the JILA system. For this smaller system the frequency doubling takes place in a standing-wave semi-monolithic cavity. In collaboration with the ILP (Russian Fed.) a compact tuneable frequency-doubled Nd:YAG laser is also being developed.

One of our objectives in designing these systems is, wherever possible, to use readily available commercial components. This makes it simpler for national metrological laboratories to duplicate designs. This is important, for it makes possible rapid and wide implementation of standards based on this radiation.

2.2.2 Iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda \approx 543.5$ nm using external cells (J.-M. Chartier)

The prototype laser stabilized on iodine using modulation transfer spectroscopy, and realized by E. Jaatinen (CSIRO) during his stay at the BIPM, has been compared with a BIPM laser equipped with an external iodine cell and stabilized by the third-harmonic technique. The results show a frequency stability better than 2 parts in 10^{12} for a sampling time of 140 s. The averaged frequency difference between the two lasers when stabilized on the same component was 12 kHz. In this study, the results were limited by the performance of the laser using the third-harmonic technique.

Almost all lasers constructed with commercial tubes oscillate simultaneously in two modes having the same polarization. This makes it difficult to stabilize

these lasers on a particular component. After several experiments, we have solved this problem by constructing a mode selection system based on a three-mirror laser cavity. The installation of a 10 cm iodine cell between the output mirror and the added mirror makes it possible to detect hyperfine components, and so to stabilize the laser frequency. A very compact laser using this system is under construction.

Collaboration with the national laboratories continues:

- The frequency of a TESA laser belonging to the CENAM has been calibrated.
- A limited range of comparisons between the ETCA (France), the CMI (Czech Rep.) and the BIPM has been carried out. Their purpose was to test the quality of the laser systems in these laboratories.

2.2.3 Iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda \approx 633$ nm using internal cells (J.-M. Chartier)

The two portable lasers BIPMP1 and BIPMP3, which are currently used for international comparisons made outside the BIPM, were compared against the stationary reference laser BIPM4 before and after the NORAMET comparison carried out in March 1997.

The results are as follows :

$$26 \text{ February } 1997 \quad f_{\text{BIPMP1}} - f_{\text{BIPM4}} = -1.9 \text{ kHz}, \quad u = 1.0 \text{ kHz}$$

$$f_{\text{BIPMP3}} - f_{\text{BIPM4}} = +4.0 \text{ kHz}, \quad u = 1.0 \text{ kHz}$$

$$19 \text{ March } 1997 \quad f_{\text{BIPMP1}} - f_{\text{BIPM4}} = +0.3 \text{ kHz}, \quad u = 0.7 \text{ kHz}$$

$$f_{\text{BIPMP3}} - f_{\text{BIPM4}} = +2.6 \text{ kHz}, \quad u = 0.8 \text{ kHz}$$

where u , the standard uncertainty of the comparison, is taken as equal to the standard deviation of the mean of the data (i.e. u is the 1σ , type A, uncertainty).

Five limited bilateral comparisons, each lasting a few days, were carried out at the BIPM from October 1996 to April 1997. These involved the BNM-INM, the CMI, the GUM, the IPQ and the MRI, and were requested by the national laboratories as a way of checking that their reference lasers function correctly after changing key parts or as a test of new designs.

A comparison involving the NORAMET national laboratories (CENAM, NIST, NIST/JILA, NRC) and the BIPM was carried out at the CENAM (Mexico) from 4 to 15 March 1997. Preliminary results show frequency differences ($\Delta f = f_{\text{Laboratory}} - f_{\text{BIPM}}$) between the reference lasers belonging to the national laboratories and the BIPM4 laser in the range

$-7.3 \text{ kHz} < \Delta f < +5.9 \text{ kHz}$. These results again confirm the consistency of the combined standard uncertainty ($1\sigma = 12 \text{ kHz}$) given in the practical realization of the definition of the metre.

Another comparison involving APMP national laboratories (KRISS, NIM, NRLM) and the BIPM was carried out at the NIM (China) from 7 to 18 July 1997. The preliminary results show frequency differences between the lasers of these national laboratories and the BIPM4 laser which lie within the uncertainty given in the practical realization.

Separately, the frequency of the stabilized laser used in the FG5 gravimeter belonging to the Observatoire Royal de Belgique was calibrated.

2.2.4 Extended-cavity diode lasers using an intracavity iodine cell at $\lambda \approx 633 \text{ nm}$ (A. Zarka, J.-M. Chartier)

Two new lasers, identified as BIREL1-2 and BIREL1-3, have been constructed. Their design is similar to that of BIREL1 which uses three invar bars for the longitudinal structure. We now refer to BIREL1 as BIREL1-1. A new computer program makes it possible to visualize the third-harmonic spectrum of the iodine transition and to lock a laser to it.

Improvements in the electronic servo mechanism of BIREL1-1 led to an improvement by one order of magnitude in its frequency stability. The best value obtained so far is 3 parts in 10^{12} for a sampling time of 80 s. The frequency reproducibility is now better than 1 part 10^{10} , being limited essentially by factors which affect the stability of the DC offsets in the electronic servo. Work is in progress on another software package, using a parallel data bus, which is scheduled for integration in a portable system. This accepts signals from our lambda-meter and calculates the wavelength value of the diode laser under test.

Construction of the electronic servo of BIREL1-2 is almost complete, the only missing parts being the generator and the demodulator which are so designed that the complete servo system will fit on a single rack. Tests using a commercial generator and demodulator showed that the existing parts of the servo function well, including the high voltage amplifier which has been greatly simplified.

The overall length of BIREL1-3 is less than that of BIREL1-2. BIREL1-3 is equipped with an antireflection-coated laser diode and has no intracavity iodine cell: it will be used to identify particular iodine transitions by the

detection of linear absorption. For this purpose, we have established a fruitful collaboration with Prof. Têtu of Laval University (Quebec, Canada).

As a laser diode may oscillate over a wide range of wavelengths, associated systems must also operate over a wide range. For this reason we are developing a compact system incorporating two Fabry-Perot interferometers of which one has a free spectral range of 25 GHz, for analysis of the optical frequency, and the other a range of 1.5 GHz, to identify the mode of oscillation and measure the linear absorption of the beam in iodine. A beat frequency system is included and the optical set-up allows the laser diode beam to be diverted to an outside lambdameter.

In the framework of collaboration with national laboratories an informal meeting held at the BIPM on 17-18 April 1997 allowed specialists from the DFM, the PTB and the BIPM to exchange information on the different designs of extended cavity laser diodes used in their laboratories and to establish a regular programme of meetings. This proved very fruitful.

2.2.5 Rubidium-stabilized diode lasers at $\lambda \approx 778$ nm using the hyperfine components of 5S-5D two-photon transitions (R. Felder)

Development of our portable system continues: a prototype of the Fabry-Perot cavity containing the rubidium cell has been constructed in the BIPM workshop. Some minor technical changes should bring significant improvements to the frequency stability of this device. We have also designed a new light collector for detection of the fluorescence signal and took advantage of the expertise of our colleagues in the Radiometry section of the BIPM during the construction of the optical detector needed for the servo-locking of the cavity.

One laboratory with which we maintain close contact is that of Prof. Têtu (Laval University, Canada). A comparison of our lasers is scheduled for spring 1998 in Quebec. An absolute-frequency determination of the two systems will be carried out at the NRC (Canada), shortly after.

2.2.6 Methane-stabilized He-Ne lasers at $\lambda \approx 3.39$ μm using internal and external cells (R. Felder)

The construction and study of He-Ne laser tubes and methane cells continues. This year we made four laser tubes and two CH₄ cells. In addition, several laser tubes were opened, modified and refilled. The oil diffusion pump in our old vacuum system has been replaced by a turbo-molecular pump. As we

have now two separate systems, we can more rapidly construct laser tubes and methane cells.

We have considerably modified the general installation for laser comparisons by the beat frequency method. We were obliged to change the discharge tubes of our reference laser B.3 and our slave laser B.4. Our third reference system, VNIBI, ceased to function. We have therefore constructed a new laser which will be tested soon. The production of a portable system, with a methane cell mounted in a Fabry-Perot resonator, is also in progress. A new program for the acquisition and the treatment of data has been developed. Some improvements were also brought to the servos of our reference lasers.

The absolute frequency of a portable laser belonging to the Lebedev Institute (Russian Fed.) was measured at the BNM-LPTF from 30 October to 4 December 1996. We were invited to participate in this experiment and our own reference laser VB was also measured: its frequency ν_{VB} was found to be 88 376 181 601.85 kHz with $u(\nu_{VB}) = 0.05$ kHz (where u is the type A standard uncertainty). While this value does not differ significantly from that found in 1993, the difference could in part be explained by the fact that the discharge tube of laser VB was changed recently. This experiment was instructive because it allowed us:

- to measure the absolute frequencies of two optical frequency standards with the use of the BNM-LPTF frequency chain;
- to confirm that the BNM-LPTF chain functions correctly by direct comparison of two optical frequency standards using the beat-frequency technique;
- to compare the BNM-LPTF and PTB frequency chains by measurements realized in these two laboratories, one after the other, using a portable standard belonging to the Lebedev Institute.

The laser from the Lebedev Institute was also brought to the BIPM for a comparison in the period from 5 to 11 December 1996. During this experiment we tested the frequency repeatability of our VB laser. Given the excellent performance of the portable laser device from the Lebedev Institute, and in order to be able to participate fully in future international comparisons, the BIPM has decided to purchase such a system.

2.2.7 Frequency synthesis chain for measuring the absolute frequency of iodine-stabilized He-Ne lasers at $\lambda \approx 633$ nm (R. Felder)

The equipment required for measurement of the absolute frequency of an iodine-stabilized He-Ne laser at $\lambda \approx 633$ nm, with respect to the sum of the frequencies of a (He-Ne)/CH₄ laser at $\lambda \approx 3.39$ μ m and a rubidium-stabilized

laser diode at $\lambda \approx 778$ nm, was reactivated at the Kastler-Brossel laboratory (ENS, France) this year. This experiment, using our reference (He-Ne)/CH₄ laser at $\lambda \approx 3.39$ μm , VB, and the rubidium-stabilized laser diode at $\lambda \approx 778$ nm developed at the ENS, recently measured by the BNM-LPTF, was carried out from 17 to 29 October 1996. Despite some experimental problems, we demonstrated the feasibility of this simple frequency chain by obtaining an absolute value for the ENS (He-Ne)/I₂ reference laser compatible with those of previous determinations.

2.2.8 Iodine cells (J.-M. Chartier, S. Picard, L.F. Vitushkin)

This year eighteen saturated and seven non-saturated 100 mm cells were filled. We now have an increasing number of requests for cells with lengths in the range 200 mm to 500 mm. Frequency checks were carried out on twenty-four cells, of which six belong to the MRI (Finland).

Eight cells belonging to the MRI were tested by laser induced fluorescence, in addition to fifteen cells recently filled.

A new type of cell with internal thickness around 50 μm and cells containing porous glass are now under construction after discussions with the HELMA company.

2.2.9 Hyperfine structure (S. Picard)

The computer programs used to calculate hyperfine structure were used this year to simulate spectra in the frequency region where the 633 nm diode laser is resonant with iodine. They were also used for the evaluation of data obtained in the 1996 argon laser comparison. Information on these programs was forwarded to a number of national laboratories during the year.

2.3 Gravimetry (L.F. Vitushkin, J.-M. Chartier, L. Robertsson)

2.3.1 Absolute gravimeter FG5-108

The BIPM absolute FG5-108 gravimeter was serviced and modified by Micro-g Solutions in the period from 23 January to 20 May 1997. Some mechanical components were changed as part of routine maintenance after about 500 000 drops of the test mass. A new personal computer with increased data storage was installed, the ion vacuum pump and its power supply were replaced, and the general low-voltage power supply was completely renewed. The modified and repaired gravimeter was checked at the Table Mountain Observatory (United States) during March-April 1997.

Preliminary tests at the BIPM reveal minor malfunctions which are currently under investigation.

2.3.2 International comparison

Measurements have been made at the sites of gravimetric micronetwork of the BIPM in preparation for the International Comparison of Absolute Gravimeters (ICAG'97), which will be held at the BIPM in November 1997.

2.4 Publications, lectures, travel: Length section

2.4.1 External publications

1. POPESCU G.H., CHARTIER J.-M., CHARTIER A., Iodine-stabilized He-Ne laser at $\lambda \approx 633$ nm: design and international comparison, *Opt. Eng.*, 1996, **35**, 1348-1352.
2. PICARD S., RAZET A., EDWARDS C.S., RODRIGUEZ-LLORENTE F., Calculation of hyperfine structure constants of the $^{127}\text{I}_2$ R(39) 7-4 transition at 637 nm, *Metrologia*, 1996, **33**, 569-571.
3. RAZET A., PICARD S., A test of new empirical formulas for the prediction of hyperfine component frequencies in $^{127}\text{I}_2$, *Metrologia*, 1997, **34**, 181-186.
4. CHARTIER J.-M., CHARTIER A., International comparisons of He-Ne lasers stabilized with $^{127}\text{I}_2$ at $\lambda \approx 633$ nm (July 1993 to September 1995), Part I: General, *Metrologia*, 1997, **34**, 297-300.
5. STÄHLBERG B., IKONEN E., HALDIN J., HU J., AHOLA T., RISKI K., PENDRILL L., KÄRN U., HENNINGSEN J., SIMONSEN H., CHARTIER A., CHARTIER J.-M., International comparisons of He-Ne lasers stabilized with $^{127}\text{I}_2$ at $\lambda \approx 633$ nm (July 1993 to September 1995), Part II: Second comparison of Northern European lasers at $\lambda \approx 533$ nm, *Metrologia*, 1997, **34**, 301-307.
6. HU J., RISKI K., CHARTIER A., CHARTIER J.-M., PICARD S., Comparison of $^{127}\text{I}_2$ -stabilized He-Ne lasers at 633 nm between the MIKES and the BIPM, *Metrologia*, 1997, **34**, 417-419.
7. ROBERTSSON L., GOEBEL R., PICARD S., VITUSHKIN L., Comparison of two wavelength reference laser systems at $\lambda \approx 515$ nm, stabilized by different methods, *Metrologia*, 1997, **34**, 495-501.
8. PETRŮ F., LAZAR J., ČÍP O., POPESCU G., CHARTIER J.-M., Frequency comparison of He-Ne/iodine lasers at $\lambda \approx 633$ nm between the NILPRP and the ISI, and traceability through the BIPM, *Metrologia*, 1997, **34**, 515-518.
9. TOUAHRI D., ACEF O., CLAIRON A., ZONDY J.-J., FELDER R., HILICO L., DE BEAUVOIR B., BIRABEN F., NEZ F., Frequency measurement of the

$5S_{1/2}(F = 3) - 5D_{5/2}(F = 5)$ two-photon transition in rubidium, *Opt. Commun.*, 1997, **133**, 471-478.

10. VITUSHKIN L.F., VITUSHKIN A.L., ROBERTSSON L., CHARTIER J.-M., Measurements of free fall acceleration in the gravimetric micronetwork of the BIPM, Sèvres, by FG5-108 absolute gravimeter, *Izmeritel'naya Tekhnika*, 1997, **3**, 64-66 (in Russian).
11. ZARKA A., CHARTIER J.-M., ÅMAN J., JAATINEN E., Intracavity iodine cell spectroscopy with an extended cavity laser diode around 633 nm, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1997, **46**, 145-148.

2.4.2 Travel (conferences, lectures and presentations, visits)

J.-M. Chartier to:

- Courbevoie (France), 18 September and 7 November 1996, for meetings on "Métrologie Dimensionnelle et Forces" of the Groupe Métrologie, Ile-de-France.
- CEM, Madrid (Spain), 14-15 October 1996, for a meeting of EUROMET contact persons (Length).
- ETCA, Arcueil (France), 17 October 1996, for a comparison of two lasers at $\lambda \approx 543.5$ nm.
- GUM, Warszawa (Poland), 9-11 December 1996, lecture on "The BIPM and the definition of the metre".
- CENAM, Queretaro (Mexico), 4-15 March 1997, to participate in the NORAMET comparison of lasers stabilized at $\lambda \approx 633$ nm.
- NIM, Beijing (China), 7-18 July 1997, to participate in an international comparison of lasers stabilized at $\lambda \approx 633$ nm.

J.-M. Chartier and L.F. Vitushkin to:

- DFM, Lyngby (Denmark), 21-22 October 1996, for the 4th International IMEKO Symposium.
- DFM, Lyngby (Denmark), 23 October 1996, for a meeting of the working group on dimensional metrology and lecture on «Report from the BIPM».
- Mulhouse (France), 25 February 1997, to visit the HELLMA Company.

R. Felder to:

- CNRS, Verrières-le-Buisson (France), 4 November 1996.
- Fichou, Fresnes (France), 10 January 1997.
- Kastler-Brossel Laboratory, Paris (France), 16 January 1997.
- BNM-LPTF, Paris (France), 16 January 1997.

S. Picard to CEA, Saclay (France), 4 February 1997.

L. Robertsson spent the period August 1996 to August 1997 at the JILA, Boulder (United States) as a Guest Scientist working in the team of J.L. Hall mainly on experiments concerning the Nd:YAG laser and its doubled frequency.

L.F. Vitushkin to:

- Hamburg (Germany), 8-13 September 1996, for CLEO-Europe/EQEC'96.
- Kharkov (Ukraine), 14-17 October 1996, for a scientific session of the State Scientific and Industrial Association "Metrology".
- Geneva (Switzerland), 22 November 1996, for a Technical Board Meeting of ALICE (A Large Ion Collider Experiment) at the CERN.
- PTB, Braunschweig (Germany), 12-14 February 1997, lecture on "Laser interferometric diffractometry for measurements of the spacings of diffraction gratings".
- NIST, Gaithersburg (United States), 27-28 February 1997.
- Saint-Augustine (United States), 3-5 March 1997, for the Chapman Microgal Gravimetry Meeting.
- Boulder (United States), 7-25 March 1997, for tests on the repaired and modified FG5-108 absolute gravimeter belonging to the BIPM.
- Braunschweig (Germany), 26-28 May 1997, for the 9th International Precision Engineering Seminar and 4th Conference on Ultraprecision Manufacturing Engineering.
- Institute for Laser Physics of S.I. Vavilov State Optical Institute, St Petersburg (Russian Fed.), 15 June-2 July 1997, to participate in investigations of the Nd:YAG laser at 532 nm with frequency doubling in a KTP crystal.
- National Centre for Metrology and Standardization, Sofia (Bulgaria), 7 August 1997, lecture on "Measurements of periodic line scales in nanometre range".

A. Zarka to:

- University of Lille (France), 13 February 1997.
- IGM, Brussels (Belgium), 5-8 March 1997.

2.5 Activities related to the work of Consultative Committees

J.-M. Chartier is executive secretary of the CCDM and a member, with L.F. Vitushkin, of the CCDM working group on dimensional metrology.

2.6 Visitors to the Length section

- Mr A. Castillo (CENAM), 6-19 October 1996.

- Dr M. Viliesid (CENAM), 10-17 October 1996.
- Mr A. Michel (ETCA), 10-11 October 1996.
- Dr I. Fujima and Dr K. Minoshima (NRLM), 16 October 1996.
- Dr G. Popescu (NILPRP), 25 October 1996.
- Mr J.G. Meilhac (MFQ, Ile-de-France, France), 25 October 1996.
- Dr Xu Gan (PSB), 28 October 1996.
- Dr P. Luc (Laboratoire Aimé Cotton, France), 29 October 1996.
- Dr J. Blabla, Dr P. Balling and Mr P. Smydke (CMI), 29 October-7 November 1996.
- Mr V. Navratil (SMU), 4-16 November 1996.
- Dr N. Ito (NRLM), 12 November 1996.
- Dr Wang Yi Giu (University of Beijing, China), 4 December 1996.
- Dr M. Gubin and Dr S. Shelkovnikov (Lebedev Institute, Russian Fed.), 4-11 December 1996.
- Dr K. Riski (MRI) and Dr Jianpei Hu (HUT), 12-19 January 1997.
- Dr F. Saraiva (IPQ), 23-24 January 1997.
- Dr Y. Millerioux (BNN-INM), 24 and 27 January 1997.
- Prof. M. Têtu (Laval University, Canada), 24 January and 28 March 1997.
- Dr Jie Xu (NIM), 27 January 1997.
- Dr O. Francis (ORB), 4-18 February 1997.
- Mr Plombin (Dumas, France), 21 February, 26 March and 15 May 1997.
- Mr D. Thierry (University Paris VI, France), 2 March-5 September 1997.
- Messrs Guan Shenmin (BEST) and Zheng Qi (China National Petroleum Corporation, China), 14 March 1997.
- Mr O. Becker (École Supérieure d'Électricité, Gif-sur-Yvette, France), 1 April-31 July 1997.
- Dr A. Abou-Zeid and F. Imkenberg (PTB), 17-18 April 1997.
- Dr H. Simonsen (DFM), 17-18 April 1997.
- Dr Z. Ramotowski and Dr J. Walczuk (GUM), 21 April-2 May 1997.
- Dr E. Ikonen (MRI), 28 April 1997.
- Dr D.G. Sporea (NILPRP), 29 April 1997.
- Dr Cheon Il Eom (KRISS), 5 May-4 June 1997.
- Mr H. Elandaloussie (INM), 20 June-4 July 1997.
- Messrs Huang Jingzhao, Liang Bingpei, Zhu Wenwet, Wang Hao, Yang Yanzhang and Chen Nengzhuo (Metrological Institute of Shenzhen, China), 15 September 1997.

3 MASS AND RELATED QUANTITIES (R.S. Davis)

The primary function of the Mass section is to provide laboratories with accurate calibrations of 1 kg mass standards in terms of the prototype of the kilogram. To ensure this, the section maintains reliable secondary standards that are closely linked to the international prototype, maintains and develops 1 kg balances to a high standard of perfection, and engages in a programme which tests the underlying assumptions of mass metrology.

3.1 Stainless-steel standards (R.S. Davis)

Measurements for the international comparison of 1 kg standards in stainless steel have now been completed by all but one of the participants. Two pairs of standards were circulated within two groups of laboratories during the comparisons for which the BIPM is the pilot laboratory. Many scheduling changes were necessary during the protracted period of these measurements. The final participation is as follows:

Package 1	Package 2
BIPM	BIPM
NMi-VSL (Netherlands)	NIST (United States)
NPL (United Kingdom)	NRC (Canada)
BIPM	<u>NRLM (Japan)</u>
VNIIM (Russian Fed.)	BIPM
BIPM	CSIRO (Australia)
PTB (Germany)	BIPM
<u>SMU (Slovakia)</u>	NIM (China)
BIPM	BIPM
KRISS (Rep. of Korea)	<u>IMGC (Italy)</u>
BIPM	BIPM
<u>BNM-INM (France)</u>	<i>CENAM (Mexico)</i>
<i>BIPM</i>	<i>BIPM</i>

Use of italics indicates that the measurements are not yet complete. Use of underlines indicates that, although the measurements are complete, the BIPM has not yet received a final report. The stability of the travelling standards remains satisfactory.

Recalibrations of mass have been carried out on stainless-steel 1 kg standards for:

- Mettler-Toledo AG (Greifensee, Switzerland) at the request of the OFMET (Switzerland).
- Federal Bureau of Measures and Precious Metals (Yugoslavia).

New calibrations of mass have been carried out on two stainless steel 1 kg standards for the CMI (Czech Rep.).

Studies have been carried out for the NIM (China) on the magnetic properties of four 200 g stainless steel standards.

3.2 **New flexure-strip balance** (A. Picard, T.J. Quinn)

Commissioning tests have been carried out on the new flexure-strip balance. At present, the standard deviation of a single measurement is less than 0.2 μg and the long-term stability of measurements of mass difference is less than 0.5 μg over 4 hours. It appears that these limitations are primarily due to air convection inside the balance enclosure and to mechanical imperfections of the beam and flexures. A new beam and flexures have therefore been machined and an internal balance case has been installed to reduce undesirable air convection. In addition, the precision with which the beam position is sensed has been improved; the detector sensitivity is now 2 mrad/V, and the beam position noise is 10^{-8} radian over 3 minutes. The detector signal is used to maintain the beam at a fixed position by servocontrol.

When the final adjustments to the balance are complete, we plan to begin a study of mass stability and surface effects on single-crystal silicon artefacts similar to those used in recent determinations of the Avogadro constant.

3.3 **The NIST watt balance** (A. Picard)

The CIPM has called for laboratories to pursue experimental work with a view to monitoring the stability of the international prototype of the kilogram (Recommendation 4, CI-1993). One approach is to use the so-called “watt balance”. So that the BIPM could acquire first-hand knowledge of the details of this experiment, A. Picard spent a year at the NIST (Gaithersburg, United

States) working with the group developing this method [2,3]. His major contributions to the NIST watt balance were:

- improvement of real-time data analysis;
- elimination by servocontrol of undesirable movement of the apparatus (uncertainty from this source has been reduced by a factor of 20);
- design of a non-magnetic vacuum chamber to house the experiment (the chamber is scheduled for installation in September 1997);
- design and test of a “dual balance” based on flexure strips (the new device has been tested and will take the place of the knife-edge balance currently used; we hope it will eliminate most of the problems experienced with non-ideal behaviour of the knives).

3.4 Torsion balance for measurement of the gravitational constant, G (T.J. Quinn, R.S. Davis, J.W. Chung*, S. Richman**)

We have made a prototype of a novel torsion balance for measurement of the Newtonian gravitational constant, G [5]. The torsion element is a strip of Cu-Be 30 μm thick, 1.25 mm wide and 80 mm long. We showed last year that loading such a strip to some two thirds of its yield stress results in a torsion constant practically independent of the material properties of the strip and almost entirely a function of load [1]: this work is being continued by Mr J.W. Chung. The strip thus behaves as an almost lossless suspension with negligible zero drift. For the measurement of G , a disc is suspended from the strip and four 0.5 kg test masses are placed symmetrically upon it. Four 10 kg source masses are placed symmetrically on a carousel that surrounds the torsion balance. By rotating the carousel through an angle of 45° , a gravitational torque of about $2 \times 10^{-9} \text{ N} \cdot \text{m}$ can be applied to the balance. This is three orders of magnitude larger than the gravitational torques traditionally used in such experiments. The performance of the prototype torsion balance gives us confidence in our predictions of the behaviour of the strip suspension. It is our contention that the origin of some of the present inconsistencies in measurements of G , which amount to 0.6 %, is that the ratio of gravitational signal to non-gravitational perturbation has often been too small. Work continues on this project and Dr S. Richman is constructing an apparatus designed to measure G with a relative uncertainty of less than 10^{-3} .

* Guest worker from the KRISS.

** Research fellow.

3.5 Platinum-iridium 1 kg prototypes (R.S. Davis, T.J. Quinn)

Prototype No. 53, belonging to the Netherlands, was calibrated in January 1997. It was found that, before cleaning and washing at the BIPM, its mass had increased by 44 μg with respect to the result obtained during the third verification of national prototypes of the kilogram. This unusual increase had been suspected by the NMI-VSL (Delft) and was the motivation for the new BIPM calibration. After three successive cleanings and washings by the BIPM method, the mass of prototype No. 53 was still 16 μg greater than the result of the third periodic verification. No explanation has been found for the unusually large increase in mass or for its resistance to cleaning and washing.

Provisionally, prototypes No. 81 and No. 82 are now considered complete; they are currently at the NPL where they are being used in vacuum studies.

We expect delivery in the first quarter of 1998 of a new lathe for diamond-turning of platinum-iridium prototypes. This system is completely automated and will replace the present lathe which is now barely adequate. The system has been developed for us by Dr S. Ueno of the Technical Research Institute of the Japan Society for the Promotion of Machine Industry and will be a gift from the Japanese government.

3.6 New hydrostatic balance (R.S. Davis)

The present hydrostatic balance used for determining the density of artefact mass standards is more than twenty years old and thus based on old technology. A programme is therefore under way to replace this system with a modern, automated device that can use either water or a solid artefact as the density reference. A basic measurement algorithm for the new device was developed with the aid of Dr Z.J. Jabbour*. More recently, the detailed design and full production drawings of the apparatus have been prepared with the aid of Dr R. Spurný**. Assembly of the apparatus is scheduled for October 1997, after which testing will begin.

3.7 Publications, lectures, travel: Mass section

3.7.1 External publications

1. QUINN T.J., DAVIS R.S., SPEAKE C.C., BROWN L.M., The restoring torque and damping in wide Cu-Be torsion strips, *Phys. Lett.*, 1997, **A228**, 36-42.

* Guest worker from the NIST.

** Guest worker from the SMU.

2. STEINER R.L., GILLESPIE A.D., FUJII K.-I., WILLIAMS E.R., NEWELL D.B., PICARD A., STENBAKKEN G.N., OLSEN P.T., The NIST watt balance: Progress toward monitoring the kilogram, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1997, **46**, 601-604.
3. GILLESPIE A.D., FUJII K.-I., NEWELL D.B., OLSEN P.T., PICARD A., STEINER R.L., STENBAKKEN G.N., WILLIAMS E.R., Alignment uncertainties of the NIST watt experiment, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1997, **46**, 605-608.
4. ARMITAGE D., DAVIS R., GLÄSER M., PENDRILL L., European comparison of air density determination with buoyancy artefacts, *Proc. XIV IMEKO World Congress*, 1997, **III**, 37-42.
5. QUINN T.J., SPEAKE C.C., DAVIS R.S., Novel torsion balance for the measurement of the Newtonian gravitational constant, *Metrologia*, 1997, **34**, 245-249.

3.7.2 Travel (conferences, lectures and presentations, visits)

R.S. Davis to:

- Greifensee (Switzerland), 2 December 1996, with M.-J. Coarasa, to visit Mettler-Toledo AG.
- NMI-VSL, Delft (Netherlands), 3-7 February 1997, for meeting of EUROMET contact persons in mass and related quantities.

A. Picard to the NIST, Gaithersburg (United States), 14 July 1995 to 14 July 1996 and 14 April to 9 May 1997, to collaborate on the NIST watt experiment.

3.8 Activities related to the work of Consultative Committees

R.S. Davis is executive secretary of the CCM and the CCQM.

3.9 Visitors to the Mass section

- Dr C. Sutton (IRL), 19 February 1997.
- Dr W. Beer (OFMET), 12 March 1997.
- Dr R. Spurný (SMU), 3-29 March and 5-30 May 1997.
- Mr J.W. Chung (KRISS), 26 March 1997 for a period of one year.
- Dr W. Bich (IMGC), 23 May 1997.
- Dr J.-Y. Do (KRISS), 30 May 1997.
- Dr A. Ooiwa (NRLM), 6 June 1997.

4 TIME (C. Thomas)

4.1 International Atomic Time (TAI) and Coordinated Universal Time (UTC)

Reference time scales TAI and UTC have been computed regularly and have been published in the monthly *Circular T*. Definitive results for 1996 have been available, in the form of computer-readable files on the BIPM Time section Internet anonymous FTP, since 22 February 1997, and printed volumes of the *Annual Report of the BIPM Time Section* for 1996 (Volume 9) were distributed in April 1997.

4.2 Algorithms for time scales (J. Azoubib, C. Thomas)

Research concerning time scale algorithms includes studies which aim to improve the long-term stability of the free atomic time scale EAL and the accuracy of TAI.

4.2.1 EAL stability

Since January 1996, access to TAI and UTC has been provided for the Modified Julian Days (MJDs) ending in 4 and 9, which corresponds to an update period of 5 days instead of the 10 days used previously. The replacement of clocks of older design by new ones of type HP 5071A continues with consequent improvement in the stability of EAL, the first step in the calculation of TAI. The medium-term stability of EAL, expressed in terms of the Allan standard deviation σ_y , is estimated to be 1.3×10^{-15} for averaging times of about 40 days. This improves the predictability of UTC for averaging times of between 1 and 2 months, a scale attribute of fundamental importance for institutions charged with the dissemination of real-time time scales.

To improve the stability of EAL further, the algorithm which produces it may need to be revised. With this in view, experiments on real clock data collected

at the BIPM are being carried out to show the advantage of simultaneously using an upper limit on relative weights, rather than one on absolute weights, and a basic interval of computation of one month, rather than one of two months. The BIPM intends to report on these studies to the CCDS working group on TAI with a view to implementing consequent changes in January 1998.

4.2.2 TAI accuracy

To characterize the accuracy of TAI, estimates are made of the relative departure, and of its uncertainty, of the duration of the TAI scale interval from the SI second as produced on the rotating geoid by primary frequency standards. Since July 1996, individual measurements of the TAI frequency have been provided by three primary frequency standards:

- NIST-7, which is the optically pumped primary frequency standard developed at the NIST, Boulder. In the period covered by this report, it provided only two measurements. These cover two 10 day periods in December 1996 and June 1997, the type B uncertainty of NIST-7 being 7×10^{-15} (1σ).
- PTB CS2 and PTB CS3, which are classical primary frequency standards operating continuously as clocks at the PTB. Frequency measurements are taken over successive two-month periods and the standard type B uncertainties (1σ) are respectively 1.5×10^{-14} and 1.4×10^{-14} .

As large frequency steps were observed in PTB CS3 in September 1996 (about 3×10^{-14}) and March 1997 (about 1.5×10^{-14}), its data are not yet used in the processing. In addition, no measurements from the caesium fountain LPTF-FO1, developed at the BNM-LPTF (type B standard uncertainty 2×10^{-15}), have been received at the BIPM since May 1996. It follows that, since July 1996, estimates of the accuracy of TAI have been based mainly on the results obtained from a single primary frequency standard, PTB CS2. This situation is the worst we have experienced for some years: in 1994 and 1995 five accurate primary frequency standards were in operation (those quoted above and PTB CS1), and before 1994 data were available from two standards (PTB CS1 and PTB CS2).

The global treatment of individual measurements [6] leads to a relative departure of the duration of the TAI scale unit from the SI second on the geoid, for July-August 1997, of 2.0×10^{-14} with an uncertainty of 1.0×10^{-14} . This discrepancy is equal to that resulting from uniform application of the correction for the black-body radiation frequency shift in 1995, for which a

procedure for compensation was applied immediately and still continues (cumulative frequency steering corrections, each of relative amplitude 1×10^{-15} , applied on dates separated by 60 day intervals). Current results suggest that this procedure only compensated for the natural drift of the scale and that it should be reinforced, keeping in mind that the middle-term stability of the scale should not be degraded. For this reason successive frequency steering corrections of larger relative amplitude, 2×10^{-15} , have been applied starting May 1997.

Work has been initiated in the framework of the CCDS working group on the expression of uncertainties in primary frequency standards. The aim is to develop a better understanding between laboratories that evaluate the accuracy of their primary frequency standards and the BIPM which uses the measurements provided by these standards. The first problems to be resolved concern the length of the averaging time over which measurements should be taken and the classification of uncertainty components into types A and B as recommended by the *ISO Guide to the expression of uncertainty in measurement*.

4.3 Time links (J. Azoubib, W. Lewandowski, J. Nawrocki*, G. Petit, C. Thomas)

Since the beginning of 1995, the GPS common-view technique has been the sole means of time transfer used for TAI computation. Nevertheless, the BIPM Time section is interested in any other time comparison method which has the potential for nanosecond accuracy, in particular GLONASS common views and two-way time transfer via geostationary satellites.

4.3.1 Global Positioning System (GPS)

The BIPM still issues, twice a year, GPS international common-view schedules. Schedule No. 28 was implemented in GPS time receivers on 3 January 1997 and Schedule No. 29 on 1 October 1997. Rough GPS data are collected and treated regularly following well-known procedures. The international network of GPS time links used by the BIPM is organized to follow a pattern of local stars within a continent, together with two long-distance links, NIST-OP and CRL-OP, for which data are corrected to take account of on-site ionospheric measurements and post-processed precise satellite ephemerides. Only strict common-views are used in order to

* Guest worker from the AOS (Poland).

overcome effects due to the implementation of Selective Availability on satellite signals.

The BIPM also publishes an evaluation of the daily time differences [*UTC – GPS time*] in its monthly *Circular T*. These differences are obtained by smoothing data taken at the OP from a selection of satellites observed with an angle of elevation greater than 30°. The standard deviation of the daily results is about 10 ns, as the procedure does not fully eliminate Selective Availability.

An important part of our current work is to check the differential delays between GPS receivers which operate on a regular basis in collaborating timing centres or, on special request, in other laboratories. In August–November 1996, GPS equipment in operation in the CRL and in major time laboratories in Australia and New Zealand, was differentially calibrated with respect to the OP receiver [21]. Another series of differential calibrations of GPS equipment, involving the OP and European time laboratories equipped with two-way time transfer stations, was carried out in June–August 1997 [23].

GPS time and frequency transfer may be carried out using dual-frequency carrier-phase measurements. It is expected that an uncertainty of one part in 10^{15} in frequency transfer will be obtained over a period of one day. Such data are obtained from the Allen Osborne Associates TTR-4P receiver in operation at the BIPM. A first experiment, using this and similar receivers, has shown that the technique has great potential for frequency comparison but is limited by the sensitivity of the hardware to environmental variations [7]. A newly acquired Ashtech Z12-T receiver is expected to be more suitable for metrological work, and collaborative work with other laboratories equipped with this kind of receiver has begun. Our intention is to demonstrate the performance of this technique for frequency comparison and then to apply it to the comparison of primary frequency standards.

Technical directives, agreed in 1993 for the standardization of GPS time receiver software, are now widely implemented. In May 1997, more than half of the timing centres contributing to TAI provided data according to the new data format. Within the CCDS sub-group on GPS and GLONASS time transfer standards, the BIPM is working to reduce the sensitivity to outside temperature of some types of receiver currently in operation. Three temperature-controlled ovens have been built at the BIPM and used to protect antennas: some improvement in time transfer data has been demonstrated [8, 9]. In addition, the BIPM will soon be equipped with a commercial temperature-stabilized antenna for one of its 3S Navigation receivers.

The BIPM is also conducting studies on multichannel receivers: software which fulfils all standards agreed for accurate time transfer is being developed for one of these, the Motorola Oncore 8-channel receiver [10].

4.3.2 Global Navigation Satellite System (GLONASS)

The BIPM issues, twice a year, GLONASS international common-view schedules. Schedule No. 3 was implemented in GLONASS time receivers on 3 January 1997 and Schedule No. 4 on 1 October 1997. Rough GLONASS data taken by eight time laboratories are collected and studied at the BIPM, but are not yet used in the current TAI computation.

Since January 1997, the BIPM has published an evaluation of the daily time differences [$UTC - GLONASS\ time$] in its monthly *Circular T*. These differences are obtained by smoothing data, taken at the NMI-VSL, from a selection of satellites at high elevation. The standard deviation of the daily results is about 5 ns. This value is smaller than that obtained for the daily time differences [$UTC - GPS\ time$] mainly because GLONASS signals are not affected by intentional degradation such as the Selective Availability of GPS. However, the combined standard uncertainty of the daily values [$UTC - GLONASS\ time$] is not better than several hundred nanoseconds as there are no absolutely calibrated GLONASS time receivers.

The BIPM is equipped with two GLONASS time receivers from the 3S Navigation company: a two-channel C/A-code single-frequency GLONASS unit, and a multichannel GPS/GLONASS receiver with two-channel P-code double-frequency for GLONASS observation together with twelve channels for C/A-code single-frequency GPS or GLONASS observation. Results from these receivers make it possible to conduct research on the use of GPS and GLONASS for international time transfer in single and multichannel modes [11, 12]. A recent study has demonstrated a stability gain between one-channel GPS observations and multichannel GPS and GLONASS observations for averaging times less than 10^4 seconds [13].

Within the CCDS sub-group on GPS and GLONASS time transfer standards, the BIPM has helped to adapt the standard GPS data format for use in dual-system, dual-frequency, dual-code observation [14].

4.3.3 Two-way time transfer

The CCDS working group on two-way satellite time transfer met for the fourth time in Turin (Italy), on 3-4 October 1996. A more technical meeting of representatives of the European two-way stations was held on 5 March 1997

in Neuchâtel (Switzerland), during the 11th EFTF. At these meetings the main topics of discussion were: preparation for routine operation, station calibration problems, and the new format for reporting data. Regular time transfer sessions began on 20 January 1997 using the INTELSAT 706 satellite on a commercial basis. The first months of operation were dedicated to testing. The BIPM is involved in the calibration of two-way time transfer links by comparison with GPS.

4.4 Application of general relativity to time metrology

(G. Petit, C. Thomas, P. Wolf)

A summary of the research on general relativity and the metrology of time carried out over the last four years in the BIPM Time section was published in the form of a doctoral thesis by P. Wolf. It was presented and accepted for the degree of Ph.D. at Queen Mary and Westfield College (University of London) on 30 March 1997 [15]. This work was also published as a *BIPM Monographie* [22].

A novel test of the second postulate of special relativity (the universality of the speed of light) has been carried out using data from clock comparisons between hydrogen maser clocks on the ground, and caesium and rubidium clocks on 25 GPS satellites [17, 18, 19]. The clocks were compared via carrier-phase measurements of the GPS signal using Allen Osborne Associates Rogue and Turbo-Rogue geodetic receivers at a number of stations of the International GPS Service for Geodynamics (IGS) spread world-wide. A violation of the second postulate can be modelled by an anisotropy of c along a particular spatial axis with experiments setting a limit on the value of $\delta c/c$ along this axis. Within this model the experiment is sensitive to a possible anisotropy in any spatial direction, and on a non-laboratory scale (baselines $\geq 20\,000$ km). The results presented set an upper limit on the anisotropy of c of $\delta c/c < 5 \times 10^{-9}$ when considering all spatial directions and $\delta c/c < 2 \times 10^{-9}$ for the component in the equatorial plane. These are the most stringent limits on this parameter reported so far.

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

Millisecond pulsars can be used as stable clocks to realize a time scale by means of a stability algorithm. The work carried out over recent years on how such a pulsar time scale could be realized and what implications it would have for atomic time is an on-going subject of presentations. Collaboration is

* Research student (partly supported through a contract with the CNES).

maintained with radio-astronomy groups observing pulsars and analysing pulsar data. The Time section provided these groups with the latest version of its post-processed realization of Terrestrial Time TT(BIPM97) in April 1997. This collaboration also continues through the working group on pulsar timing of the IAU Commission 31 (Time), which is chaired by G. Petit.

A new technique which could be used at radio observatories to obtain more pulsar data is being developed with the collaboration of the Centre National d'Études Spatiales, CNES (France). The use of this technique to search for new pulsars is the subject of the doctoral work undertaken by B. Rougeaux at the BIPM, in collaboration with the CNES, the Observatoire Midi-Pyrénées, Toulouse (France) and the Paris Observatory, OP, Meudon (France). Test observations have been made and processed.

4.6 Space-time references (G. Petit, P. Wolf)

Studies have been initiated to unify the work on space-time references being carried out at the BIPM, within the CCDS working group on the application of relativity to metrology, and in working groups within the IAU, the IUGG, and the IERS.

The IAU and the BIPM have created the BIPM/IAU Joint Committee on general relativity in space-time reference systems and metrology [IAU Resolution B3 (1997)]. The membership has yet to be established, but the Joint Committee will start its work under the Chairmanship of G. Petit. Steps are being taken to extend this collaboration towards the IAG.

4.7 Publications, lectures, travel: Time section

4.7.1 External publications

1. THOMAS C., Impact of New Clock Technologies on the Stability and Accuracy of the International Atomic Time, *IEEE Trans. Ultras. Fer. Freq. Cont.*, 1997, **44**, 696-700.
2. THOMAS C., TAVELLA P., Time Scales, *Selection and Use of Precise Frequency and Time Systems*, ITU Handbook, Chapter VI, Geneva, 1997, 119-149.
3. THOMAS C., Impact of international decisions on TAI generation, *Proc. 28th PTTI*, 1996, 25-36.
4. THOMAS C., The CCDS Working Groups, *Proc. 28th PTTI*, 1996, 327-330.
5. FERRE-PICAL E.S., VIG J.R., CAMPARO J.C., CUTLER L.S., MALEKI L., RILEY W.J., STEIN S.R., THOMAS C., WALLS F.L., WHITE J.D., Revision of IEEE

- STD 1139-1988, standard definitions of physical quantities for fundamental frequency and time metrology, *Proc. 51st FCS*, 1997, 338-357.
6. THOMAS C., The accuracy of the international atomic time TAI, *Proc. 11th EFTF*, 1997, 283-289.
 7. PETIT G., Frequency Comparison Using GPS Carrier Phase: Some Experimental Results, *Proc. 11th EFTF*, 1997, 336-340.
 8. LEWANDOWSKI W., MOUSSAY P., GUERIN P., MEYER F., VINCENT M., Testing Motorola Oncore GPS Receiver and Temperature-Stabilized Antennas for Time Metrology, *Proc. 28th PTTI*, 1996, 387-396.
 9. LEWANDOWSKI W., MOUSSAY P., DANAHER J., GERLACH R., LEVASSEUR E., Temperature-Protected Antennas for Satellite Time Transfer Receivers, *Proc. 11th EFTF*, 1997, 498-503.
 10. LEWANDOWSKI W., MOUSSAY P., GUERIN P., MEYER F., VINCENT M., Testing Motorola Oncore GPS Receiver for Time Metrology, *Proc. 11th EFTF*, 1997, 493-497.
 11. LEWANDOWSKI W., AZOUBIB J., GEVORKYAN A.G., BOGDANOV P.P., DE JONG G., HAHN J., First Results From GLONASS Common-View Time Comparisons Realized According to the BIPM International Schedule, *Proc. 28th PTTI*, 1996, 357-366.
 12. LEWANDOWSKI W., AZOUBIB J., WEISS M., ZHANG V., HANNS V., GEVORKYAN A.G., BOGDANOV P.P., TUTOLMIN N., DANAHER J., DE JONG G., HAHN J., MIRANIAN M., GLONASS Time Transfer and Its Comparison with GPS, *Proc. 11th EFTF*, 1997, 187-193.
 13. LEWANDOWSKI W., AZOUBIB J., DE JONG G., NAWROCKI J., DANAHER J., A New Approach to International Satellite Time and Frequency Comparisons: 'All-in-View' Multichannel GPS+GLONASS Observations, *Proc. ION GPS'97*, 1997, 1085-1091.
 14. LEWANDOWSKI W., AZOUBIB J., GEVORKYAN A.G., BOGDANOV P.P., KLEPCZYNSKI W.J., MIRANIAN M., DANAHER J., KOSHELYAEVSKY N.B., ALLAN D.W., A Contribution to the Standardization of GPS and GLONASS Time Transfers, *Proc. 28th PTTI*, 1996, 367-383.
 15. WOLF P., *Relativity and the Metrology of Time*, Ph.D. Thesis, Queen Mary and Westfield College, University of London, 1997, 169 p.
 16. PETIT G., WOLF P., Computation of the Relativistic Rate Shift of a Frequency Standard, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1997, **46**, 201-204.
 17. PETIT G., WOLF P., Tester la Relativité sans Quitter son Fauteuil, *La Recherche*, April 1997, 38-39.
 18. WOLF P., PETIT G., A Test of Special Relativity Using the GPS System, *Proc. 11th EFTF*, 1997, 298-302.

19. WOLF P., PETIT G., Satellite test of special relativity using the global positioning system, *Phys. Rev. A*, 1997, **56**, 4405-4409.

4.7.2 BIPM publications

20. LEWANDOWSKI W., MOUSSAY P., Determination of the differential time correction between GPS time equipment located at the Observatoire de Paris, Paris, France, and the United States Naval Observatory, Washington DC, U.S.A., *Rapport BIPM-96/10*, 1996, 9 p.
21. LEWANDOWSKI W., MOUSSAY P., Determination of the differential time corrections between GPS time equipment located at the Observatoire de Paris, Paris, France, the National Measurement Laboratory, Sydney, Australia, the Orroral Geodetic Observatory, Belconnen, Australia, the Measurement Standards Laboratory, Lower Hutt, New Zealand, and the Communications Research Laboratory, Tokyo, Japan, *Rapport BIPM-97/1*, 1997, 11 p.
22. WOLF P., Relativity and the Metrology of Time, *BIPM Monographie 97/1*, 1997, 169 p.
23. LEWANDOWSKI W., MOUSSAY P., Determination of the differential time corrections between GPS time equipment located at the OP, NPL, VSL, DTAG, PTB, TUG, IEN and OCA, *Rapport BIPM-97/5*, 1997, 14 p.

4.7.3 Travel (conferences, lectures and presentations, visits)

C. Thomas to:

- Sextant Avionique, Toulouse (France), 13 November 1996 and 10 September 1997.
- Reston (Virginia, United States), 2-6 December 1996, for the 28th PTTI meeting, lectures on "Impact of international decisions on TAI generation" and "The CCDS working groups", and for the open forum on GPS standardization organized by the CCDS sub-group on GPS and GLONASS time transfer standards, oral presentation on "Implementation of the Technical Directives for GPS receiver software".
- CRL, Tokyo (Japan), 16-21 December 1996, for the 1st CRL External Review Committee.
- OP, Paris (France), 22 January 1996, for a presentation of the PHARAO project.
- Neuchâtel (Switzerland), 4-6 March 1997, for the 11th EFTF, lecture on "The accuracy of the International Atomic Time TAI" and for the 1st meeting of the CCDS working group on expression of uncertainties in primary frequency standards.

J. Azoubib to Neuchâtel (Switzerland), 4-6 March 1997, for the 11th EFTF.

W. Lewandowski to:

- Turin (Italy), 3-4 October 1996, for the 4th meeting of the CCDS working group on two-way satellite time transfer.
- Reston (Virginia, United States), 2-6 December 1996, for the 28th PTTI meeting, lecture on "First results from GLONASS common-view time comparisons realized according to the BIPM international schedule", poster presentations on "A contribution to the standardization of GPS and GLONASS time transfers" and "Testing Motorola Oncore GPS receiver and temperature-stabilized antennas for time metrology", and for the open forum on GPS standardization organized by the CCDS sub-group on GPS and GLONASS time transfer standards, oral presentation on "Recent research on GPS and GLONASS time receivers".
- Neuchâtel (Switzerland), 4-7 March 1997, for the 11th EFTF, lecture on "GLONASS time transfer and its comparison with GPS", poster presentations on "Temperature-protected antennas for satellite time transfer receivers" and "Testing Motorola Oncore GPS receiver for time metrology", and for a technical meeting of representatives of two-way stations organized by the CCDS working group on two-way satellite time transfer.
- Alexandria (Virginia, United States), 17-22 March 1997, for the 29th meeting of the Civil GPS Service Interface Committee, lecture on "Recent studies in GPS, GLONASS and two-way time satellite transfers".
- Vernon (France), 5 June 1997, for a meeting of the Groupe de travail permanent du CNIG, Positionnement statique et dynamique, lecture on "GLONASS time transfer".
- Kansas City (Missouri, United States), 14-19 September 1997, for the 30th meeting of the Civil GPS Service Interface Committee, lecture on "Common use of GPS and GLONASS for time and frequency transfer", and for the ION GPS'97 meeting, lecture on "A New Approach to International Time and Frequency Comparisons: 'All-in-View' Multichannel GPS+GLONASS Observations".

G. Petit to:

- Amsterdam (Netherlands), 24 September 1996, for the Royal Academy Colloquium on Pulsar Timing, General Relativity and the Internal Structure of Neutron Stars, lecture on "The stability of atomic time scales versus millisecond pulsars".
- Paris (France), 14-15 October 1996, for the IERS workshop.

- Nançay (France), 4-5 November 1996 and 27-28 January 1997, for pulsar observation.
- Université de Lille, Lille (France), 19 November 1996, lecture on “Histoire de la mesure du temps”.
- IAUB and OFMET, Wabern (Switzerland), 9-10 December 1996.
- Neuchâtel (Switzerland), 4-7 March 1997, for the 11th EFTF meeting, lecture on “Frequency comparison using GPS carrier phase: some experimental results”.
- Vienna (Austria), 24 April 1997, for the Directing Board of the IERS.
- OP, Meudon (France), 16 May 1997, lecture on “Pulsars et échelles de temps”.
- Kyoto (Japan), 19-27 August 1997, for the General Assembly of the IAU.

P. Wolf to:

- Gif-sur-Yvette (France), 10-11 October 1996, for a meeting of the GREX (Groupe de Recherche du CNRS: Gravitation et Expériences), lecture on “Test de la relativité restreinte à l’aide du système GPS”.
- Queen Mary and Westfield College, University of London, London (United Kingdom), 21-24 January 1997 and 29-30 April 1997, for defence of his doctoral thesis.
- Neuchâtel (Switzerland), 4-7 March 1997, for the 11th EFTF meeting, lecture on “A test of special relativity using the GPS system”.
- OP, Meudon (France), 14 March 1997, lecture on “Test de la relativité restreinte à l’aide du système GPS”.
- BNM-LPTF, Paris (France), 23-26 June 1997.
- Les Houches (France), 25-26 September 1997, to participate in the CNRS workshop “Gravitation et Expériences”.

4.8 Activities related to external organizations

C. Thomas is a member of Commission 31 (Time) of the IAU, of the Comité National Français de Géodésie et Géophysique, and of the External Review Committee of the CRL (Japan).

W. Lewandowski is the BIPM representative on the Civil GPS Service Interface Committee and chairman of its Sub-committee on time.

G. Petit participates in the work of the IAU, for which he is vice-chairman of Commission 31 (Time), chairman of its working group on pulsar timing, and chairman of the BIPM/IAU Joint Committee on General Relativity for Space-Time Reference Systems and Metrology. He is a member of the Scientific

Council of the GRGS (France) and of the IERS Central Bureau (France). He is a member of the Comité National Français de Géodésie et Géophysique.

P. Wolf is a member of the GREX (Groupe de Recherche du CNRS: Gravitation et Expériences).

4.9 Activities related to the work of Consultative Committees

C. Thomas is executive secretary of the CCDS. She is secretary of the CCDS working groups on the application of general relativity to metrology and on the expression of uncertainties in primary frequency standards. She is also secretary of the CCDS sub-group on GPS and GLONASS time transfer standards, and a member of the CCDS working group on TAI.

W. Lewandowski is secretary of the CCDS working group on two-way satellite time transfer and a member of the CCDS sub-group on GPS and GLONASS time transfer standards.

G. Petit is a member of the CCDS working group on the application of general relativity to metrology and of the CCDS sub-group on GPS and GLONASS time transfer standards.

P. Wolf is a member of the CCDS working group on the application of general relativity to metrology.

4.10 Visitors to the Time section

- Dr T. Morikawa (CRL), 21 October 1996.
- Dr M. Lawn (CSIRO-NML), 12 November-6 December 1996.
- Dr M. Seville (Scotland), 28 January 1997.
- Miss V. Molina Lopez (CENAM), 10-19 March 1997 and 26-28 March 1997.
- Dr H.A. Chua and Dr Z. Dai (PSB), 21 April 1997.
- Dr J. Nawrocki (AOS), 4 May-31 July 1997.

5 ELECTRICITY (T.J. Witt)

5.1 Electrical potential: Josephson effect (D. Reymann)

A new comparison of 1 V Josephson array voltage standards was carried out in November 1996. We took our equipment to the IEN (Italy) and compared the two Josephson standards by the usual direct and indirect methods. The result of the comparison, expressed as the difference between the values attributed to a 1.018 V standard by the two laboratories, along with the combined type A and type B uncertainties, u_c , is

$$U_{\text{IEN}} - U_{\text{BIPM}} = +0.1 \text{ nV}; u_c = 0.2 \text{ nV}. \quad (1)$$

A common feature of our Josephson comparisons is comparison of the results of calibrations of a secondary voltage standard with the two Josephson standards. This time the secondary standard was a Zener-diode standard brought to the IEN on 24 October 1996 for use in a prototype bilateral voltage standard comparison. The objective was to test the reproducibility of the Zener as a travelling standard in a situation that replicates a bilateral comparison. The Zener was repeatedly calibrated against the IEN Josephson standard in the weeks preceding the Josephson comparison and on one day in the course of the comparison. For this day, 27 November 1996, the examination of the Josephson calibrations gives

$$U_{\text{IEN}} - U_{\text{BIPM}} = -4.2 \text{ nV}; u = 1.6 \text{ nV}. \quad (2)$$

where $U_{\text{IEN}} - U_{\text{BIPM}}$ represents the difference between the values, and u the type A standard uncertainty. This result should be compared with that obtained from the usual bilateral comparison procedure in Section 5.4.

Another novelty of this comparison is that the IEN uses a frequency-stabilization technique that results in a true phase-locked millimetre-wave source with a much narrower bandwidth than that of the BIPM source. The

IEN asked that we carry out a low-frequency spectral analysis of our dc detector output for the two Josephson systems for comparison with the high-frequency spectra of the two different millimetre-wave sources. No noticeable difference was observed in the low-frequency spectra, probably because it was masked by drift of the voltage transfer device and the noise of the dc detector. However, spectral analyses of direct and indirect array comparisons allowed us to compare the noise levels with *a priori* estimates. After correction for first- and second-order drifts (which is routinely done in the data analysis procedure), the mean noise level for the indirect comparisons was about $2.3 \text{ nV} \cdot \text{Hz}^{-1/2}$ and for the direct comparisons about $1.1 \text{ nV} \cdot \text{Hz}^{-1/2}$. The detector bandwidth is about 1 Hz. For the direct comparisons, taking into account the $35 \text{ } \Omega$ equivalent noise resistance of our detector and some $16 \text{ } \Omega$ of resistance in the leads and filters in the two array circuits, a thermal noise level of $0.9 \text{ nV} \cdot \text{Hz}^{-1/2}$ was found, which shows that the observed noise level is very near the estimated limit.

During the regular array comparison we occasionally observed enhanced detector noise caused by electromagnetic interference (EMI). This resulted in a small, but detectable, change in the measurement results related to detector polarity. To elucidate this effect, we carried out some comparisons at the BIPM between two of our own 1 V arrays. The result and type A standard uncertainty are

$$U_{\text{array 1}} - U_{\text{array 2}} = +0.10 \text{ nV}; u = 0.13 \text{ nV}. \quad (3)$$

This result is perfectly compatible with that in (1) and represents the limit of uncertainty we can expect to obtain in 1 V array comparisons using our present equipment.

Following the 1 V tests, we examined the limit of the type A uncertainty we can obtain with our equipment in comparisons of 10 V arrays. This also provided an opportunity to test a cryogenic probe that we had recently made. Our two 10 V arrays were donated to the BIPM by the laboratories which fabricated them, the NIST and the PTB. Following some preliminary measurements using a 10 V transfer device, we carried out direct measurements using either manual or computer-assisted data acquisition. The latter method involved the use of a digital voltmeter which, like the computer, is a source of EMI. The results, with the type A standard uncertainties, are

$$U_{\text{NIST array}} - U_{\text{PTB array}} = +0.00 \text{ nV}; u = 0.17 \text{ nV (manual)} \quad (4)$$

$$U_{\text{NIST array}} - U_{\text{PTB array}} = +0.05 \text{ nV}; u = 0.11 \text{ nV (computer)}. \quad (5)$$

Thus a type A uncertainty of nearly one part in 10^{11} has been achieved for comparisons of 10 V arrays.

In some of our past Josephson comparisons we have observed unexplained variations in the measured values of Zener standards following seemingly innocuous changes in the connections to ground of a Zener output terminal or case. The changes cannot be explained by the measured leakage resistance. We have put considerable effort into the examination of these effects, looking in detail at several Zeners at the BIPM. In one case, changing the ground connection resulted in an 80 nV change in the 1.018 V Zener output. We believe that such changes are related to the response of our detector to EMI from ancillary instruments and from the Zeners themselves. Further investigation of this problem is planned.

At their meeting in May, the EUROMET experts on the Josephson effect proposed to organize a comparison of 10 V reference standards using travelling Zener diode-based standards. The BIPM intends to participate in this comparison. To help in the evaluation of techniques, we carried out a short bilateral comparison with the BNM-LCIE (France). On 10 and 11 July, two BIPM Zeners were measured at the BIPM in the morning and at the BNM-LCIE in the afternoon. On the same days two BNM-LCIE Zeners were measured at the BNM-LCIE in the morning and at the BIPM in the afternoon. In each case the travelling standards were measured directly against the laboratory Josephson standard and were measured by the team in the host laboratory. For these measurements, the BIPM Zeners were powered by internal batteries whereas those of BNM-LCIE were powered by the mains. The observed relative differences of $U_{\text{BNM-LCIE}} - U_{\text{BIPM}}$ ranged from -2×10^{-8} to $+3 \times 10^{-8}$ and the mean value of this difference is below 1 part in 10^8 .

In preparation for the EUROMET comparison, the BIPM measured the 10 V outputs of four Zeners for the NMi (Netherlands) both with our Josephson apparatus and with our usual calibration apparatus. Pressure and temperature coefficients were also measured.

5.2 Electrical resistance and impedance (F. Delahaye, J. Melcher*)

5.2.1 Measurements of the quantized Hall resistance at kilohertz frequencies

In measurements of Hall resistance we have observed relative differences of about 2 parts in 10^7 at frequencies near 1.6 kHz when using different samples

* Research fellow from the PTB.

or different plateaus. We have investigated this phenomenon using Hall samples with a special geometry, kindly fabricated for us by the PTB. In these samples a central window is included in the Hall bar so that the two-dimensional electron gas is bounded by an outer and an inner edge. Current and voltage contacts are provided on both edges so that two highly isolated quantum Hall resistances (QHR) are available, one corresponding to the outer edge the other to the inner edge. The purpose of this arrangement is to reduce ac losses arising in the centre of the sample by passing a suitable current through the inner resistance so that the inner edge forms a guard. Indeed, using this guard, we observe that the shape of the resistance plateau is somewhat improved but that some imperfections still remain. In particular, the residual current dependence of the Hall resistance observed in windowless samples is still present in the guarded samples. The values of the QHR measured at 1.6 kHz in the guarded samples agree to within 1 part in 10^7 with those measured in windowless samples.

Another direction of research is a study of the residual temperature dependence of the QHR measured at kilohertz frequencies. The BIPM recently acquired and put into service a new magnet (15 T at 4.2 K) and a cryostat equipped with a ^3He refrigerator capable of cooling a QHR sample to 0.3 K. Special care was taken in the design and wiring of the sample probe in order to increase the hold time for the charge of liquid ^3He . Using coaxial cables with low thermal conductivity, that are thermally anchored to the 1 K stage of the ^3He refrigerator, we obtained a hold time of more than 8 hours. A first set of measurements shows that the QHR measured at 1.6 kHz on the $i = 2$ plateau of a windowless sample decreased by 4 parts in 10^8 when the temperature was decreased from 1.7 K to 0.3 K.

5.2.2 Development of ac bridges for the calibration of capacitance standards

Considerable progress has been made in the establishment of a calibration chain linking 10 pF capacitance standards to the QHR. A major part of the chain is the impedance bridge, based on a voltage ratio transformer, which is now installed and tested. The bridge allows us to calibrate impedance ratios that differ slightly from integer values. We are particularly interested in nominal 10:1 ratios. In addition to the bridge, the calibration set-up needed to determine the small corrections to the voltage ratio transformer for these integer ratios is now ready for use.

To test the impedance bridge and its calibration set-up we carried out a bilateral comparison of capacitance ratios with the PTB, which provided the

travelling standard. This takes the form of a pair of capacitors, nominally of 10 pF and 100 pF capacity, fitted in temperature-controlled enclosures. The PTB determined the capacitance ratio r at 1592 Hz before and after transporting them to the BIPM. The PTB finds a relative deviation of r from the nominal value ($r_n = 10$) of $(r - r_n)/r_n = 49.9 \times 10^{-8}$ with a combined standard uncertainty, $u_c \approx 3 \times 10^{-8}$. This agrees well with the BIPM result, obtained using the new calibration set-up, of $(r - r_n)/r_n = 48.2 \times 10^{-8}$, with $u_c \approx 1 \times 10^{-8}$.

5.2.3 Change of the reference temperature for resistance calibrations to 23 °C

As a result of the responses to a questionnaire in March 1995 on possible changes in the maintained and reference temperatures of BIPM electrical standards (document CCE/95-6), and with the agreement of the CCE, the BIPM has changed the reference temperature used for its resistance standards. The change became effective in April 1997 and the new reference temperature is 23 °C. All BIPM resistance calibrations will now be referenced to this temperature. Because of the very marked decrease in the number of calibrations of standard cells being carried out and the inconvenience of changing the set point temperatures of our air baths, the reference temperature for standard cells is unchanged at 20 °C.

5.3 Measurements of temperature and pressure coefficients of electrical standards (T.J. Witt)

For several years now we have been estimating the pressure coefficients of standard resistors sent to us for calibration. Because the resistance may vary as a function of pressure and drift as a function of time, we use a multiple linear regression. Our 10 k Ω working standards are type SR-104 resistors fitted in thermoregulated enclosures. The resistance values are related to the QHR via a 100 Ω standard resistor. Although sealed, individual SR-104 resistors sometimes have a small pressure dependence. To check this effect in our 10 k Ω standards, we designed and built, in our mechanical workshop, a pressure-tight vessel capable of holding two BIPM thermoregulated enclosures each containing two SR-104 resistors. Alternatively the vessel can hold a Zener voltage standard as big as the model 732A. The vessel is fitted with copper coils allowing us to regulate the internal temperature via water flowing in a closed circuit from a small thermoregulated bath. Measurements of the pressure coefficients of four SR-104 resistors reveal that one has a pressure coefficient of $-6.3 \times 10^{-10}/\text{hPa}$ while, for the other three, coefficients

ranged from $-1.9 \times 10^{-10}/\text{hPa}$ to $-2.5 \times 10^{-10}/\text{hPa}$. The type A uncertainty for these values is $0.4 \times 10^{-10}/\text{hPa}$.

We next transferred the vessel to the voltage standard laboratory to investigate the pressure coefficients of Zener standards. These measurements have now been automated so that the pressure variations can be controlled by a PC. By adding thermal insulation around the pressure vessel, we have arranged that the internal temperature is sufficiently well regulated by the water bath that we can use it to measure the temperature coefficients of Zener standards. These temperature coefficient measurements have also been completely automated. The results show significant pressure coefficients for many, but not all, Zener standards and small, but statistically significant, temperature coefficients for about half of the Zeners studied so far. A complete report of the results will appear in due course.

5.4 **Bilateral comparisons of electrical standards at the BIPM (T.J. Witt)**

As announced last year, we are developing a new scheme for bilateral comparisons with the objective of demonstrating rigorous traceability of basic electrical standards to those of the BIPM. We are now purchasing, or seeking to purchase, travelling standards of the highest quality for use by national metrological institutes in bilateral comparisons. This scheme has several advantages over the usual method of sending standards from individual national institutes to the BIPM: 1) the travelling standards will be characterized by the BIPM before they are put into use, 2) they will be measured at the BIPM before and after each comparison so their behaviour over the period of a comparison can be assessed with the previous history of the standard, and 3) it is unnecessary for laboratories to send their own standards, sometimes including parts of their national reference group, to the BIPM. We have now added four new type 732B electronic voltage standards to the two we already possess. These have been completely characterized and are available to national institutes for use in bilateral comparisons. Last year, we reported the first bilateral comparison of this type, carried out in March 1996 with the IEN. The results were better than expected. To check the reproducibility of these results, we asked the IEN to participate in a second bilateral comparison of voltage standards carried out from September 1996 to January 1997. As in the first comparison, a BIPM 732B Zener standard was used and corrections were applied for temperature and pressure effects. The corrections improved the agreement of the results of the two laboratories by 90 nV. The data obtained during this comparison allows us to estimate the stability of the Zener travelling standard and the Josephson comparisons of

November provide an additional check. The result of the prototype bilateral comparison, for the mean date of 17 November 1996, is

$$U_{\text{IEN}} - U_{\text{BIPM}} = -4 \text{ nV}; u = 22 \text{ nV}, \quad (6)$$

where u is the type A standard uncertainty estimated from the day-to-day scatter. The results in (6) should be compared with that given in (2) for simultaneous calibrations of the travelling standard using the BIPM and IEN Josephson standards.

A bilateral comparison with the NML (Ireland) was carried out using two BIPM travelling Zener standards. The results, given in the following table, are excellent and show that bilateral comparisons are effective in maintaining accurate voltage reference standards in national institutes. We look forward to wider use of this type of bilateral comparison but we shall, of course, continue to carry out bilateral comparisons of the traditional type using travelling standards belonging to the participating national institutes.

Voltage standards

Laboratory	Date	1.018 V		10 V		Change
		$(U_{\text{LAB}} - U_{\text{BIPM}})/\mu\text{V}$	$u_c/\mu\text{V}$	$(U_{\text{LAB}} - U_{\text{BIPM}})/\mu\text{V}$	$u_c/\mu\text{V}$	
NML (Dublin)	1997-03-30	0.02	0.50	0.73	2.50	no

We have also made some progress towards equipping the BIPM with first-rate travelling 10 k Ω resistance standards. After evaluating their stability, we purchased six SR-104 resistors. These will be mounted in transportable thermoregulated enclosures and their resistances evaluated as functions of temperature and pressure before they are put into use for bilateral comparisons.

5.5 Routine calibrations

This year, calibrations were carried out on the following standards: Zener diode standards at 1.018 V and 10 V for Belgium, the Czech Republic and Portugal; 1 Ω resistors for Belgium, the Czech Republic, Ireland, Norway, Singapore, Slovakia, South Africa, Spain and Turkey; 10 k Ω resistors for Belgium, the Czech Republic, Denmark, Ireland, Norway, Singapore, Slovakia and Spain.

5.6 Publications, lectures, travel: Electricity section

5.6.1 External publications

1. REYMANN D., WITT T.J., EKLUND G., PAJANDER H., NILSSON H., Comparison of the Josephson Voltage Standards of the SP and the BIPM, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1997, **46**, 220-223.

2. DELAHAYE F., WITT T.J., PESEL E., SCHUMACHER B., WARNECKE P., Comparison of the quantum Hall effect resistance standards of the PTB and the BIPM, *Metrologia*, 1997, **34**, 211-214.
3. DELAHAYE F., MELCHER J., Impedance metrology and the ac quantum Hall effect, *1997 NCSL workshop and symposium: Success in the 21st century depends on modern metrology*, 1997, **2**, 737-741.
4. WITT T.J., Low-frequency spectral analysis of dc nanovoltmeters and voltage reference standards, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1997, **46**, 220-223.

5.6.2 Travel (conferences, lectures and presentations, visits)

T.J. Witt to:

- CMI, the Czech Technical University and the Czech Academy of Science, Prague and Brno (Czech Rep.), 13-15 November 1996, lecture to the Czech Association of Calibration Laboratories on "International Comparisons of Electrical Standards at the BIPM".
- IEN, Turin (Italy), 18 November 1996, 26 February and 17 July 1997 for meetings of the Scientific Council of the IEN.

T.J. Witt and D. Reymann to IEN, Turin (Italy), 24-29 November 1996, for on-site comparisons of Josephson array voltage standards; T.J. Witt lectured on "BIPM comparisons of Josephson voltage standards".

F. Delahaye to Warsaw (Poland), 22-26 April 1997, for meetings of the IEC Working group on general concepts in electrotechnology.

F. Delahaye and J. Melcher to:

- University of Geneva, Geneva (Switzerland), 25 March 1997, F. Delahaye lectured on "Accurate ac measurements of the quantized Hall resistance at kilohertz frequencies".
- INETI, Lisbon (Portugal), 27 May 1997, for meeting of EUROMET experts on the QHE.

J. Melcher to PTB, Braunschweig (Germany), 10-12 February 1997.

D. Reymann to INETI, Lisbon (Portugal), 28 May 1997, for a meeting of EUROMET experts on the Josephson effect.

5.7 Activities related to external organizations

T.J. Witt is a member of the Scientific Council of the IEN. He is also a member of the Executive Committee of the CPEM.

F. Delahaye is a member of the IEC Working group on general concepts in electrotechnology.

5.8 Activities related to the work of Consultative Committees

T.J. Witt is executive secretary of the CCE and member of the CCE working group on key comparisons, and takes part in meetings of the working group on radiofrequency.

5.9 Visitors to the Electricity section

- Dr P. Vrabček (SMU), 2 December 1996.
- Mr D. Jarrett (NIST), 14 January 1997.
- Mr J. Nicolas (IGM), 6 February 1997.
- Dr H.A. Chua and Dr Z. Dai (PSB), 21 April 1997.
- Dr A. Šebela and Mr P. Chrobok (CMI), 23 April and 2 July 1997.
- Mr T. Sørdsal and Mr Per Otto Hetland (Justervesenet, Oslo), 6 May 1997.
- Mr F. Hernández (CENAM), 22 May 1997.
- Dr R.L. Kautz (NIST), 6 June 1997.

6 RADIOMETRY, PHOTOMETRY, THERMOMETRY AND PRESSURE (R. Köhler)

6.1 Radiometry, photometry (R. Köhler, R. Goebel, M. Stock, P. Martin*)

Currently, most of the work of the Radiometry and photometry section concerns the international comparisons agreed during the 13th CCPR in 1994. The comparison of cryogenic radiometers using trap detectors, piloted by the BIPM, is proceeding on schedule and is based on the circulation of transfer detectors constructed at the BIPM. It is planned that this will be carried out in three separate loops, each involving five participating laboratories. An additional round involving more laboratories and some bilateral comparisons is under consideration. The first step in the comparison was to determine the characteristics of the trap detectors and to compare them both with a group of BIPM reference detectors and with the BIPM cryogenic radiometer. They were sent to the laboratories participating in the first loop: the CSIRO (Australia), the HUT (Finland), the NIST (United States), the NPL (United Kingdom) and the SP (Sweden). On return to the BIPM they were calibrated against the cryogenic radiometer and the data analysed. For this group of five laboratories, the comparison is thus complete. The transfer detectors have since been sent off again for circulation among the second group of participants. The results obtained by the first group were not presented at the CCPR meeting in June 1997 so that all participants would be treated in the same way. It is already clear, however, that the transfer detectors have performed satisfactorily so far. Preliminary results demonstrate the feasibility of basing accurate large-scale comparisons on the circulation of transfer detectors. Experiments aimed at improving the transfer detectors and the calibrations with the BIPM cryogenic radiometer are under way.

The international comparison of luminous responsivity of photometers, again piloted by the BIPM, is complete. The fifteen participating laboratories sent a

* Research fellow from the University of British Columbia, Canada.

total of thirty-three photometers to the BIPM. All photometers had already been calibrated in terms of their luminous responsivities at their home laboratories before being compared with the reference group at the BIPM. The results show good overall agreement. On return to their laboratories the photometers were subjected to a final check to ensure that they had remained stable throughout the comparison. Only then were the final results calculated and published. These comparisons were completed by the date scheduled.

Four commercial photometers were modified by fitting them with calibrated precision apertures purchased from the NPL. Spectro-radiometric measurements then allowed them to be calibrated as illuminance-meters, so providing a direct radiometric realization of the candela. This is the first time that the BIPM has realized a photometric unit directly, previous representations of these units being maintained by a group of lamps for which the average output was linked to the last international comparison. When the result of this new realization was compared with those obtained during the international comparison of photometers and with the maintained candela from the 1985 comparison of luminous intensity the agreement was excellent. This new realization will improve the stability of the candela maintained at the BIPM.

6.2 Thermometry and pressure (R. Köhler, M. Stock)

A pressure balance belonging to the VNIIMS (Russian Fed.) was calibrated in the pressure range 2 kPa to 100 kPa against the BIPM primary standard manobarometer. This transfer standard will be compared with the manobarometer operated at the VNIIMS. In the course of this work, the uncertainties of the BIPM manobarometer, developed around 1965, were re-assessed. The largest contributions were identified as resulting from the determination of the temperature of the mercury and from the measurement of residual pressure in the vacuum column. Current work should reduce both uncertainties considerably, giving an uncertainty of 0.3 Pa at atmospheric pressure (3 parts in 10^6). A new computer program for data reduction has been developed, allowing more accurate calculation of instrumental corrections. An international comparison of pressure standards in the range from 10 kPa to 140 kPa will begin in 1998. In preparation for this, a commercial pressure balance has been modified so as to optimize it for use as a transfer standard in a pilot comparison between the BIPM and the NPL.

6.3 Calibration work

Twenty-five platinum resistance thermometers were calibrated at the triple point of water and at the melting point of gallium for the Electricity, Mass, Length and

Radiometry sections. Several precision thermometry resistance bridges (Guildline, ASL and Hart Scientific) have been compared at room temperature and the results obtained agree to within the uncertainties of the bridges. Triple point of water cells from the INMETRO (Brazil), the BNM-INM (EUROMET cell), the NMi-VSL (Netherlands) and the VNIIM (Russian Fed.) were compared with two BIPM cells.

Forty-one lamps of colour temperature, luminous intensity or luminous flux were calibrated: three lamps of colour temperature, seven lamps of luminous intensity and seven lamps of luminous flux for the INM (Romania); four lamps of luminous intensity and four lamps of luminous flux for the PSB (Singapore); three lamps of colour temperature, three lamps of luminous intensity and three lamps of luminous flux for the UME Marmara Research Centre (Turkey); seven lamps of luminous intensity for the BFMMP (Yugoslavia). The regular calibration of pressure gauges for the Mass, Electricity and Ionizing radiation sections has continued.

6.4 General work (R. Köhler, R. Goebel)

A systems engineer (L. Le Mée) has been engaged to develop internal network services and assist the BIPM staff with micro-computing and software. Through its networks the BIPM will upgrade systems for data exchange, data storage, data back-up and data processing. On the basis of this first development, an Internet server will be created. This will provide an external view of the BIPM activities for the scientific community through the World Wide Web.

6.5 Publications, lectures, travel: Radiometry, photometry, thermometry and pressure section

6.5.1 External publications

1. GOEBEL R., PELLO R., STOCK K.D., HOFFER H., Direct comparison of cryogenic radiometers from the BIPM and the PTB, *Metrologia*, 1997, **34**, 257-259.
2. PELLO R., GOEBEL R., KÖHLER R., Results of an international comparison of water triple-point cells, *Metrologia*, 1997, **34**, 393-400.
3. QUINN T.J., The Comité Consultatif de Thermométrie and International Temperature Scales from 1939 to the Present, *Proc. TempMeko'96*, Levrotto & Bella, Turin, 1997, 3-6 (The Luigi Crovini Memorial Lecture).

6.5.2 Travel (conferences, lectures and presentations, visits)

R. Köhler to:

- NMi-VSL, Delft (Netherlands), 20-21 February 1997, for a meeting of the CCPR working group on key comparisons.

- FORBAIRT, Dublin (Ireland), 10-11 March 1997, for a meeting of EUROMET contact persons in thermometry.
- Gothenburg (Sweden), 17-18 March 1997, for a meeting of EUROMET contact persons in radiometry and photometry.
- NPL, Teddington (United Kingdom), 24-26 March 1997, to attend the CIE conference on "Visual scales".
- IRMM, Geel (Belgium), 23-24 June 1997, lecture on "Radiometry and photometry at the BIPM".

R. Köhler and R. Goebel to the NPL, Teddington (United Kingdom), 11-12 November 1996, to attend a workshop on cryogenic radiometry.

R. Pello to the BNM-INM, Paris (France), 23 April and 28 May 1997.

M. Stock to:

- PTB, Berlin (Germany), 11 November to 6 December 1996 and 14-15 April 1997.
- University of Osnabrück (Germany), lecture on "Strahlungsthermometrie-Temperaturmessung mit der Planckschen Strahlungsformel".

6.6 Activities related to the work of Consultative Committees

R. Köhler is executive secretary of the CCT and the CCPR, member of the joint CCT/CCPR working group on high-temperature measurement, and secretary of the CCPR working group on key comparisons and of the CCT working group 3.

6.7 Visitors to the Radiometry, photometry, thermometry and pressure section

- Mr L. Cipriano (INMETRO), 19-22 October 1996.
- Mrs S. Novikova (VNIIMS), 22 October to 5 November 1996.
- Mrs E. Filipe (IPQ), 25 October 1996.
- Mr P. Carré (retired from BIPM), December 1996 and January 1997.
- Dr M. Simionescu (INM, Romania), 3 January 1997.
- Dr M. Nogueira Frota (INMETRO), 17 and 19 February 1997.
- Dr M. El Sherif (NIS), 3-7 March 1997.
- Mr G. Bonnier (BNM-INM), 8 March 1997.
- Mr M. Videt (student, guest worker), April-June 1997.
- Dr G. Andor (OMH), 8 April 1997.
- Dr P. Rullhusen (IRMM), 11 April 1997.
- Prof. E. Ikonen (HUT), 28 April 1997.
- Mr D. Sporea (IAP), 29 April 1997.
- Mr E. Méndez Lango (CENAM), 6 June 1997.
- Mr Voukradin (BFMMP), 16-20 June 1997.

7 IONIZING RADIATION (M. Boutillon)

7.1 X- and γ -rays (M. Boutillon, P.J. Allisy-Roberts, D.T. Burns)

7.1.1 Correction factors for free-air chambers

The Monte Carlo code EGS4 has been used to calculate correction factors for electron loss, k_e , and photon scatter, k_{sc} , for free-air chamber standards operating at beam qualities up to 300 kV. The geometry used, consisting of a series of concentric cylinders, has allowed k_e and k_{sc} to be studied as a function of the plate separation and measuring plate width of free-air chambers. The effects of backscatter from these plates and of different air attenuation path lengths have also been studied. This flexible approach allows values for k_e and k_{sc} to be calculated for any chamber of circular or rectangular cross section. Values have been derived for all free-air chambers which have been compared with the BIPM chambers, at the beam qualities used for comparisons at the BIPM. When applied to the results of international comparisons for medium-energy x-rays, there is a significant improvement in the consistency of the results obtained at different beam qualities. This results mainly from the use, in earlier work, of a value for the electron loss correction for the BIPM chamber smaller than that used at present.

7.1.2 Recombination coefficient

An experimental determination of the recombination coefficient m^2 has been made under conditions as close as possible to those required for strict application of the basic equations. Two free-air chambers of different dimensions were used. Under normal conditions, the recombination coefficient thus obtained is $3.97 \times 10^{14} \text{ s m}^{-1} \text{ C}^{-1} \text{ V}^2$ (relative standard deviation of the mean $s = 2.5 \%$). The influence of air density and humidity on the value of m^2 was also investigated. Several chambers of different types were used in order to separate the effects of initial and volume recombination.

The results indicate that the coefficient m^2 varies with the air density ρ as $\rho^{2.46}$. The total recombination changes by 3 % for a change of 10 % in relative humidity.

7.1.3 Comparisons and calibrations at the BIPM

A new comparison with the NMi-VSL (Netherlands) [4] standard has been made in the low-energy x-ray range. Using the same parameters as in the previous comparison twenty-five years ago, the difference obtained between the two standards, about 0.4 %, remains unchanged. However, some of the correction factors have been re-determined by calculation at the NMi-VSL and the new values reduce the above difference. The final results will be evaluated on completion of the calculations for the BIPM standard, described in Section 7.1.1 above.

Comparisons in terms of air kerma in the ^{60}Co beam have been made with the ARL (Australia), the NMi-VSL and the NPL (United Kingdom). The results are in good agreement, within the stated uncertainties, with earlier comparisons made up to fifteen years previously. Comparisons made for the first time with the GUM (Poland) [5] and the VNIIM (Russian Fed.) also show good agreement between their standards and the BIPM standard.

Comparisons with the ARL, the NIST (United States) and the NPL in terms of absorbed dose to water in ^{60}Co radiation have been completed. The results are in good agreement. The NPL comparison included absorbed dose to graphite measurements.

Twenty-eight calibrations of secondary standards were made in terms of the quantities air kerma, absorbed dose to water and ambient dose equivalent, and collaboration has continued with the IAEA on thermoluminescent dosimeter irradiations for their international programme. An analysis of past calibration factors has identified problems with three early calibrations in terms of absorbed dose to water ($N_{D,w}$) for secondary standards of type NE 2561, made at the BIPM between four and six years ago. Since that time the calibration factors have remained stable within the uncertainties. The experimental relationship between $N_{D,w}$ and the air kerma calibration factor N_K is now used to test chamber response.

In pursuit of the high-energy x-ray absorbed dose project, the BIPM now has four transfer chambers all of which are measured periodically in the BIPM ^{60}Co beam. A series of preliminary measurements is planned at a local hospital: this will use two linear accelerator beams at five energies between

10 MV and 25 MV. A procedure will then be established so that the transfer system may be used at national laboratories.

7.1.4 Regional and international comparisons

In view of current discussions concerning equivalence, data from three sets of regional air kerma comparisons (APMP, COOMET and EUROMET) were analysed and compared with those from international comparisons. At x-ray energies above 100 kV the spread of the results is similar, but at energies below 50 kV the spread in the regional comparisons is larger by a factor of about two. This is probably because the use of transfer instruments is more problematic in the low-energy range, as found in previous work at the BIPM.

7.2 Radionuclides (G. Ratel, C. Michotte)

7.2.1 Activity measurements

i) *Trial comparison of a solution of ^{192}Ir*

Results are now available from the trial comparison of activity measurements of a solution of ^{192}Ir . Ten laboratories (BIPM, BNM-LPRI, ETL, IIR, IRA, IRMM, KRISS, NPL, OMH and VNIIM) took part and sixteen results were obtained using five different methods. These show a total spread of 2.5 % ($s = 0.4$ %) which is considered to be excessive and originates mainly from data obtained by the $4\pi\beta\text{-}\gamma$ method. The three results obtained by the $4\pi\gamma$ method are in close agreement. Among those participants who had previously submitted ^{192}Ir specimens to the SIR, the results obtained in this study generally follow the pattern of the earlier studies which show two distinct groups of data. The evaluation of the equivalent activity of the solution used at the BIPM after measurement in the SIR chamber appears to support the lower values obtained by these groups.

Some problems remain to be solved in the determination of activity concentrations of ^{192}Ir solutions. Closer investigation of the γ -gate settings is necessary as is an assessment of the uncertainty to take proper account of the spread of the data.

ii) *International comparison of activity measurement of a solution of ^{204}Tl*

The BIPM full-scale comparison of activity measurements of a solution of ^{204}Tl has begun. The radioactive solution, in the form of $260\ \mu\text{g/g}$ of TlCl in HCl 0.1 M with an approximate massic activity of $70\ \text{kBq/g}$, was prepared, bottled and dispatched to twenty-three laboratories by the BIPM. The NBS-

type ampoules were filled with about 3.6 g of active solution: half of the results were available in June 1997.

iii) *International reference system for gamma-ray emitting radionuclides (SIR)*

In 1996, eight laboratories (BARC, BNM-LPRI, CNEA, IRA, NIRH, NIST, OMH and PSPKR) sent sixteen ampoules filled with nine radionuclides (^{57}Co , ^{60}Co , ^{85}Sr , ^{131}I , ^{133}Ba , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{139}Ce and ^{140}Ba). The radionuclide ^{140}Ba was measured for the first time; the resulting equivalent activity is in good agreement with the expected value calculated from both the efficiency calibration curve of the ionization chamber and the tabulated decay data of ^{140}Ba and ^{140}La . In the twenty-one years since the SIR began, the number of ampoules measured at the BIPM has reached 681, with a total of 503 independent results. The results obtained in 1996 thus represent about 3 % of the total, although the number of ampoules received was only 70 % of the number planned. Two results (for ^{54}Mn and ^{60}Co) were withdrawn during 1996, the total number of such results now being twenty-three which is 4.6 % of the number of results registered.

iv) *Extension of the SIR: Comparison of activity measurements of standardized solutions of ^{90}Sr*

The comparison of ^{90}Sr solutions previously standardized in participating national laboratories has been carried out in the framework of the extended SIR. Ampoules sent by ten laboratories (BNM-LPRI, CIEMAT, ETL, IRA, IRMM, NIST, NPL, OMH, PTB and RC) were measured by the CIEMAT/NIST method; the solutions from the BARC and the IIR are awaited. For each ampoule received, a set of five vials filled with 10 cm³ of the new scintillator Ultima Gold XR was prepared. The amount of radioactive solution poured into each vial was chosen according to the absolute activity stated by the laboratory so as to ensure proper operation of the liquid-scintillation spectrometer. At the same time, and with the same scintillator, a further set of tritium standards was prepared and quenched by adding increasing amounts of nitromethane (some microlitres). The detection efficiency of the system was calculated taking into account the contributions of both ^{90}Sr and ^{90}Y which reached equilibrium after about 64 hours. Only the contribution of the β transition of maximum energy 523 keV in the ^{90}Y decay was neglected (emission probability about 0.016 %). Ratios between the activity determined by the BIPM and by the laboratory concerned were evaluated. The unweighted mean value of the ten results is 0.9998 ($s = 0.0012$). This encouraging result suggests that the extension of the SIR to β emitters, using liquid-scintillation counting, can be considered operational.

It should be noted that this result was obtained under favourable conditions: the radionuclide is well-characterized; the chemical compositions of the solutions used by the laboratories were very similar and they were prepared close to the measurement date; and the CIEMAT/NIST method has already been tested successfully with this radionuclide. Particular care in preparation will be needed for the measurement of radionuclides known to be more difficult to standardize. Research is still required into the measurement of electron capture radionuclides.

7.2.2 Detection of radioactive impurities

Technical developments in γ -ray spectrometry using the BIPM Ge(Li) detector are in progress. The lead shielding has been enlarged to allow measurements to be made at a distance of 50 cm from the detector. The energy resolution has been improved to 2.4 keV at 1.33 MeV by reducing the electronic noise. A linear-gate-and-stretcher module (LGS) has been included in the electronics as an additional stage between the amplifier and the analogue-to-digital converter (ADC). In correcting for the dead time of the electronics, the bipolar output of the amplifier is used to produce a logic gate signal with a known, constant and non-extended dead time. This gate signal is applied to the LGS and thus controls the conversion of the unipolar pulses. The dead-time correction is then easily calculated using the appropriate formula. The pile-up correction has been measured by the two-source method, both as a function of the count rate and at several γ -ray energies. It has been observed that the results depend on the radionuclide used to increase the count rate, unless the count rate below the energy threshold (at around 25 keV) is taken into account. The total and peak efficiencies have been measured between 30 keV and 2 MeV in four detection geometries, using twelve SIR ampoules. Typical relative uncertainties for the peak efficiency are: 1.6 % for ^{241}Am , 0.7 % for ^{139}Ce and 0.4 % for ^{60}Co . Analysis of the results is in progress.

7.3 Publications, lectures, travel: Ionizing radiation section

7.3.1 External publications

1. BURNS D.T., KLEVENHAGEN S.C., NAHUM A.E., PITCHFORD G.P., THWAITES D.I., The IPEMB Code of practice for electron dosimetry for radiotherapy beams of initial energy from 2 to 50 MeV based on an air-kerma calibration, *Phys. Med. Biol.*, 1996, **41**, 2557-2603.
2. HARDING L.K., ALLISY-ROBERTS P.J., How can we achieve a positive impact on legislation pertaining to the administration of radioactive substances to man?, *Eur. J. Nucl. Med.*, 1996, **23**, 1560-1561.

3. LEITNER A., WITZANI J., BOUTILLON M., ALLISY-ROBERTS P., DELAUNAY F., LEROY E., LAMPERTI P., STRACHOTINSKY C., CSETE I., International comparisons of air kerma standards in ^{137}Cs gamma radiation, *Metrologia*, 1997, **34**,169-175.

7.3.2 BIPM reports

4. ALLISY-ROBERTS P.J., BOUTILLON M., GRIMBERGEN T.W.M., VAN DIJK E., Comparison of the standards of air kerma of the NMi and the BIPM for ^{60}Co γ rays, *Rapport BIPM-97/4*, 1997, 10 p.
5. ALLISY-ROBERTS P.J., BOUTILLON M., REFEROWSKI Z., PAZ N., Comparison of the standards of air kerma of the GUM and the BIPM for ^{60}Co γ -rays, *Rapport BIPM-97/2*, 1997, 7 p.

7.3.3 Travel (conferences, lectures and presentations, visits)

M. Boutillon to:

- Sèvres (France), 12-16 August 1996, for ICRU meeting at the BIPM.
- IAEA, Vienna (Austria), 30 September to 4 October 1996, for 7th meeting of the SSDL Scientific Committee.

P.J. Allisy-Roberts to:

- London (United Kingdom), 30 October 1996 and 21 July 1997, for the U.K. Health and Safety Commission Ionising Radiation Advisory Committee; 11 March 1997, for a presentation at a British Institute of Radiology Seminar.
- Teddington (United Kingdom), 2 October 1996 and 8 April 1997, for the British Committee on Radiation Units; 6-7 November 1996 for the NPL radiation metrology annual review.
- Washington DC (United States), 12-15 November 1996, for the Council for Ionizing Radiation Measurements and Standards at the NIST.
- Vienna (Austria), 5-9 May 1997, for the IAEA working group on the production of a Charter for Secondary Standard Dosimetry Laboratories.
- Nice (France), 9 and 15 to 19 September 1997, for presentations at an international summer school and the World Congress on Medical Physics.

D.T. Burns to:

- Vienna (Austria), 25-29 November 1996, for an IAEA Consultants' meeting on the need for a new international Code of Practice for external beam radiotherapy.
- Madison (United States), 25-29 August 1997, for a meeting of the Main Commission of the ICRU.

- Nice (France), 15-19 September 1997, for the World Congress on Medical Physics.
- Monte-Carlo (Monaco), 20 September 1997, for a symposium on Monte Carlo calculations for radiation dosimetry.

C. Michotte and G. Ratel to Gaithersburg (United States), 19-23 May 1997, for the Conference on Radionuclide Metrology and its Applications ICRM'97, to give two presentations: "Extension of the SIR to beta-ray emitters: International comparison of activity measurements of solutions of ^{90}Sr using the liquid scintillation technique" (G. Ratel) and "Trial international comparison of activity measurements of a solution of ^{192}Ir " (G. Ratel), and a presentation during the β - and γ -ray spectroscopy working group meeting (C. Michotte).

7.4 Activities related to external organizations

M. Boutillon is a member of the SSDL Scientific Advisory Committee of the IAEA and is a referee for *Physics in Medicine and Biology* and for *Radiation Physics and Chemistry*.

P.J. Allisy-Roberts is a member of the British Committee for Radiation Units. She is a referee for the NPL radiation metrology annual review for the U.K. Department of Trade and Industry, and is a scientific member of the U.K. Health and Safety Commission Ionising Radiation Advisory Committee. She finished her term on Committee 3 of the International Commission for Radiological Protection in the spring of 1997. She has recently served as a consultant to the IAEA Dosimetry Group in connection with a publication concerning their Secondary Standard Dosimetry Laboratory programme.

D.T. Burns recently served as a consultant to the IAEA reporting on the need for a new international Code of Practice for external beam radiotherapy, and is now serving as a chief scientific investigator for the IAEA in the development of the new Code of Practice. He recently completed his membership of a working group of the IPEMB (now the IPERM) with the publication of a U.K. Code of Practice for electron beam radiotherapy. He represented the BIPM at the meeting of the Main Commission of the ICRU in August 1997. He is a referee for *Physics in Medicine and Biology*.

G. Ratel is the BIPM representative at the ICRM.

7.5 Activities related to the work of Consultative Committees

M. Boutillon is executive secretary of the CCEMRI. P.J. Allisy-Roberts is a member of the CCEMRI(I) working group on metrological equivalence. G. Ratel is a member of the CCEMRI (II) working groups on the extension of the SIR, on the equivalence of national and international measurements and on the analysis of ^{192}Ir comparison results.

7.6 Visitors to the Ionizing radiation section

- Mr L. Czap (IAEA), 7-11 October 1996.
- Dr P. Cassette (BNM-LPRI) and Mrs T. Terlikowska-Drożdziel (RC), 11 October 1996.
- Dr J. da Silva (LNMRI), 14 October 1996 to 15 November 1996.
- Miss A. Kane (student, Lycée J. Decourt), 18 and 29 October 1996.
- Dr P. Cassette and Mr E. Monnard (BNM-LPRI), 23 October 1996.
- Dr I. Salati (LNMRI), 26 October 1996.
- Dr M.-M. Bé (BNM-LPRI) and Dr M.V. Chechev (V.G. Khlopin Radium Institute, St Petersburg, Russian Fed.), 28 October 1996.
- Dr M.-N. Péron and Mr J. de Sannoit (BNM-LPRI), 30 October 1996.
- Mrs T.E. Sazonova and Dr I. Kharitonov (VNIIM), 12 November 1996.
- Dr Z. Referowski (GUM), 25-29 November 1996.
- Dr T.W.M. Grimbergen and Dr E. van Dijk (NMi-VSL), 25-29 November 1996.
- Ms M. Saravi (CNEA), 2-13 December 1996.
- Dr M.-M. de Araújo (LNMRI), 12 December 1996.
- Dr M.-N. Péron and M. Chazelles (BNM-LPRI), 12 February 1996.
- Dr J. Boas (ARL), 8-18 April 1997.
- Dr I.A. Kharitonov and Dr N. Karmalitsyn (VNIIM), 21-25 April 1997.
- Mr C. Moretti (NPL), 2-13 June 1997.
- Ms N. Rabie (NIS), 16 June to 29 August 1997.
- Dr S. Duane and Dr R. Thomas (NPL), 9-25 July 1997.
- Dr S. Seltzer (NIST), 12 September 1997.

8 PUBLICATIONS OF THE BIPM

8.1 General publications

Since October 1996 the following have been published:

- *Comptes Rendus des Séances de la 20^e Conférence Générale des Poids et Mesures* (1995), 1996, 230 p.
- *Procès-Verbaux des Séances du Comité International des Poids et Mesures*, 85th meeting (1996), 1997, **64**, 219 p.
- *Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde*, 13th meeting (1996), 1996, 81 p.
- *Comité Consultatif pour la Quantité de Matière*, 2nd meeting (1996), 1996, 38 p.
- *Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants*, 14th meeting (1996), 1997, 140 p.
- *Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées*, 6th meeting (1996), 1997, 47 p.
- *Annual Report of the BIPM Time Section* (1996), 1997, **9**, 162 p.
- *Circular T* (monthly), 6 p.

8.2 Metrologia (D.A. Blackburn)

Volume 33 of *Metrologia* was published in 1996. For the first time it takes the form of five research issues supplemented by a single special issue. In this case the supplement is indeed a special one, being dedicated to the memory of Luigi Crovini, former chairman of the Comité Consultatif de Thermométrie, and written by his many friends from around the world. It was distributed at the Tempmeko conference held in Turin in September 1996.

In Volume 33, 79 articles were published, of which 67 were research articles and 12 were international reports. In the year 1 January 1996 to 31 December 1996, 102 research papers were submitted for publication. Of these, 65 have

been published, 12 are in press, 13 were refused publication, 1 was withdrawn and, at 30 September 1997, 11 remained under consideration. From 1 January 1997 to 30 September 1997, 51 research papers and 5 international reports were submitted. At 30 September 1997, 4 of the research papers had been published, 23 had been accepted for publication, 9 had been refused and 15 remained under consideration.

A major innovation this year is that *Metrologia* is now available in electronic form over the Internet (<http://www.catchword.co.uk>). The on-line version of volume 34 now in production is an exact reproduction of the printed one, but has the added advantage of being fully searchable. This service was introduced on 2 June 1997 and is available free at least until the end of 1997.

9 MEETINGS AND LECTURES AT THE BIPM

9.1 Meetings

A meeting of directors of national metrology institutes was held on 17 and 18 February 1997.

The CCQM met on 20 and 21 February 1997.

The CCEMRI Section I met on 14, 15 and 16 April 1997.

The CCEMRI Section III met on 21 and 22 April 1997.

The CCEMRI Section II met on 23, 24 and 25 April 1997.

The CCPR met on 10 and 11 June 1997.

The CCE met on 24, 25 and 26 June 1997, preceded by a meeting of the GT-RF on 23 June 1997.

The CCEMRI met on 7 and 8 July 1997.

The CCDM met on 16, 17 and 18 September 1997.

9.2 Lectures

The following lectures were given at the BIPM as part of the regular schedule of seminars:

- P. Pinot (BNM-INM, Paris, France): Étude de la stabilité des étalons de masse, 9 October 1996.
- A. Picard: Réalisation du watt au NIST, 13 November 1996.
- A. Clairon (BNM-LPTF, Paris, France): Un nouvel étalon de fréquence à césium, une fontaine atomique refroidie par laser, 4 December 1996.
- E. Tomasi-Gustafsson (CEA, Saclay, France): La polarisation en physique nucléaire, méthodes et applications, 15 January 1997.
- W. Beer (OFMET, Wabern, Switzerland): A new project for a watt balance at OFMET, 12 March 1997.
- J. Faller (JILA, Boulder, United States): Measurement of the Newtonian gravitational constant using an absolute gravimeter, 28 March 1997.

- R. Köhler: La photométrie au BIPM, 30 April 1997.
- A. Marschal (BNM-LNE, Paris, France): Métrologie et chimie, 14 May 1997.
- P. Wolf: Métrologie du temps et relativité, 5 June 1997.
- D. Kautz (NIST, Boulder, United States): Noise, chaos, and the Josephson voltage standard, 6 June 1997.
- J. Melcher: A representation of the farad based on the von Klitzing constant, 18 June 1997.

10 CERTIFICATES AND NOTES OF STUDY

In the period from 1 October 1996 to 30 September 1997, 57 Certificates and 8 Notes of Study were delivered.

Certificates

1996

Nos.	
34.	Ionization chambers, NE 2561-265 and NE 2561-321 Agence internationale de l'énergie atomique, Vienna, Austria.
35.	Ionization chamber, NE2571-1018 Id.
36.	Three secondary standards of luminous intensity (2800K), nos. IS.001, IS.002, IS.003 Ulusal Metroloji Enstitüsü, Gebze-Kocaeli, Turkey.
37.	Three secondary standards of luminous flux (2800K), nos. IA.001, IA.002, IA.003 Id.
38.	Three secondary standards of colour temperature, nos. RS.001, RS.002, RS.003 Id.
39.	Ionization chamber, NE 2561-265 Agence internationale de l'énergie atomique, Vienna, Austria.
40.	Resistance standard of 1 Ω , no. 1 883 431 (addition)..... National Metrology Laboratory (FORBAIRT), Dublin, Ireland.
41.	Resistance standard of 10 000 Ω , no. 1 876 641 (addition)..... Id.

- | | |
|--|--|
| 42. Zener diode electromotive force standard,
no. 4 185 005 (addition)..... | Id. |
| 43. Resistance standard of 1 Ω ,.....
no. 1 894 059 | Centro Español de Metrologia,
Madrid, Spain. |
| 44. Resistance standard of 10 000 Ω ,
no. 224 109 (addition)..... | Id. |
| 45. Zener diode electromotive
force standard,
no. 5 575 404 | National Metrology Laboratory
(Council for Scientific
and Industrial Research),
Pretoria, South Africa. |
| 46. Zener diode electromotive force standard,
no. 5 575 104 | Id. |
| 47. Resistance standard of 1 Ω ,
no. 1 146 606 (addition)..... | Id. |
| 48. Resistance standard of 1 Ω ,
no. 1 132 427 (addition)..... | Id. |
| 49. Ionization chamber,
ND 1005-8303..... | Glówny Urząd Miar, Warsaw,
Poland. |
| 50. Resistance standard of 10 000 Ω ,
no. J20 106 91 30104 (addition)..... | Danish Institute of Fundamental
Metrology, Lyngby, Denmark. |
| 51. Two ionization chambers,
NE 2611-133
and NE 2561-156 | Laboratorio Secundario de
Calibración Dosimétrica,
Buenos Aires, Argentina. |
| 52. Ionization chamber,
NE 2575-467 | Id. |

1997

Nos.

- | | |
|---|---|
| 1. Ionization chamber,
NE 2561-246 | Nederlands Meetinstituut,
Utrecht, Netherlands. |
| 2. Ionization chamber,
NE 2561-264 | Laboratório Nacional de
de Metrologia das Radiações
Ionizantes, Rio de Janeiro, Brazil. |
| 3. Ionization chamber,
NE 2561-207 | Id. |
| 4. Resistance standard of 1 Ω ,
no. 64174 (addition)..... | Service de la métrologie belge,
Brussels, Belgium. |
| 5. Resistance standard of 1 Ω ,
no. 1816192 (addition)..... | Id. |

- | | |
|---|---|
| 6. Resistance standard of 10 000 Ω ,
no. 718011 (addition)..... | Id. |
| 7. Resistance standard of 10 000 Ω ,
no. 616007 (addition)..... | Id. |
| 8. Resistance standard of 1 Ω ,
no. 1870794 (addition)..... | Id. |
| 9. Zener diode electromotive force standard,
no. 5740201 (addition)..... | Id. |
| 10. Three secondary standards
of colour temperature,
nos. 204/505, 205/506, 206/507 (addition) ... | Institut national de métrologie,
Bucharest, Romania. |
| 11. Six secondary standards of luminous
intensity (2800K),
nos. 195/473, 196/474, 197/475, 198/476,
199/477, 210/479 (addition)..... | Id. |
| 12. Seven secondary standards of luminous flux
(2800K), nos. 1/864, 2/865, 3/866, 5/868,
LP8885, LP8886, LP8888 (addition)..... | Id. |
| 13. Mass prototype no. 53 (addition) | Netherlands. |
| 14. Resistance standard of 1 Ω ,
no. 144 487 (addition)..... | Slovak Institute of Metrology,
Bratislava, Slovak Republic. |
| 15. Resistance standard of 1 Ω ,
no. 222 039 (addition)..... | Id. |
| 16. Resistance standard of 1 Ω ,
no. 1 859 009 | Id. |
| 17. Resistance standard of 10 000 Ω ,
no. 117 720 (addition)..... | Id. |
| 18. Resistance standard of 10 000 Ω ,
no. 148 058 (addition)..... | Id. |
| 19. Helium-neon laser
at a wavelength of 633 nm..... | Standards and Calibration
Laboratory, Wanchai,
Hong Kong. |
| 20. Ionization chamber,
Shonka 3239..... | Swedish Radiation Protection
Institute, Stockholm, Sweden. |
| 21. Ionization chamber,
Shonka 1057..... | Id. |
| 22. Ionization chamber,
Exradin no. A3 168 | Id. |
| 23. Resistance standard of 1 Ω ,
no. 59099 (addition)..... | Czech Metrological Institute,
Prague, Czech Republic. |

- | | |
|---|--|
| 24. Resistance standard of 1 Ω ,
no. 94 375..... | Id. |
| 25. Resistance standard of 1 Ω ,
no. 225 323 (addition)..... | Id. |
| 26. Resistance standard of 1 Ω ,
no. 474 694..... | Id. |
| 27. Resistance standard of 10 000 Ω ,
no. 149 372 (addition)..... | Id. |
| 28. Resistance standard of 10 000 Ω ,
no. K 201 09 93 30 104 (addition) | Id. |
| 29. Resistance standard of 1 Ω ,
no. 1 915 181 | Singapore Productivity
and Standards Board, Singapore. |
| 30. Resistance standard of 10 000 Ω ,
no. G 207 07 87 30 104 (addition) | Id. |
| 31. Zener diode electromotive force standard,
no. 24 489-8 (addition) | Czech Metrological Institute,
Brno, Czech Republic. |
| 32. Resistance standard of 10 000 Ω ,
no. J 203 07 91 30 104 (addition)..... | Danish Institute of Fundamental
Metrology, Lyngby, Denmark. |
| 33. Three secondary standards of luminous
intensity (2800K),
nos. 1/1, 1/2, 1/3 (addition)..... | Bureau fédéral des mesures
et métaux précieux, Belgrade,
Yugoslavia. |
| 34. Four secondary standards of luminous
intensity (2800K), nos. 7HA78, 7HB78,
7HC78, 7GW78 (addition)..... | Id. |
| 35. Mass standard of 1 kg, no. 33,
of Nicral D (addition)..... | Id. |
| 36. Mass standard of 1 kg, no. 00601066,
of stainless steel | Czech Metrological Institute,
Brno, Czech Republic. |
| 37. Mass standard of 1 kg, no. 00601152,
of stainless steel | Id. |
| 38. Mass standard of 1 kg,
of stainless steel (addition)..... | Mettler-Toledo AG, Greifensee,
Switzerland. |

Notes of Study

1996

Nos.

- | | |
|---|--|
| 2. Four photodiodes,
nos. H1015, H1016, U1007, U1008 | Singapore Institute of Standards
and Industrial Research,
Singapore. |
|---|--|

- 3. Water triple point cell,
no. 221.....

Instituto Nacional de Metrologia,
Normalização e Qualidade
Industrial, Rio de Janeiro,
Brazil.

1997

Nos.

- 1. Helium-neon laser at a wavelength
of 543.5 nm
- 2. Pressure balance,
CEC no. 4162.....
- 3. Resistance standard of 1 Ω ,
no. 270286.....
- 4. Resistance standard of 1 Ω ,
no. 270288.....
- 5. Water triple point cell,
no. 679.....
- 6. Two water triple point cells,
nos 931 et 932

Centro Nacional de Metrologia
Querétaro, Mexico.

Russian Research Institute
for Metrological Service
of Gosstandart of Russia,
Moscow, Russian Federation.

Ulusal Metroloji Enstitüsü,
Gebze-Kocaeli, Turkey.

Id.

BNM-INM, Paris, France.

Institut de métrologie
D.I. Mendéléev,
St Petersburg,
Russian Federation.

11 MANAGEMENT OF THE BIPM

11.1 Accounts

Details of the accounts for 1996 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 166-171.

The headings for the tables may be translated as follows:

Compte I : Fonds ordinaires	Account I: Ordinary funds
Compte II : Caisse de retraite	Account II: Pension fund
Compte III : Fonds spécial pour 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
Compte VI : Metrologia	Account VI: Metrologia
Compte VII : Fonds de réserve pour l'assurance maladie	Account VII: Reserve fund for medical insurance

Two additional tables detail the payments made against budget in 1996 and the balance of accounts at 31 December 1996. This is done under the headings:

Détail des dépenses budgétaires	Statement of budgetary expenditure
Bilan au 31 décembre 1996	Balance at 31 December 1996

It should be noted that in all tables the unit of currency is the gold franc (franc-or) which is defined by the equivalence 1 franc-or = 1.814 52 French francs.

11.2 Staff

11.2.1 Promotions and changes of grade

Penelope Allisy-Roberts, *physicien*, was promoted to the grade of *physicien principal*.

Guy Ratel, *physicien*, was promoted to the grade of *physicien principal*.

Alain Picard, *assistant*, was promoted to the grade of *physicien* from 1 January 1997.

The first two changes were ratified by the CIPM during its meeting of September 1997.

11.2.2 Appointments

Michael Stock, born 29 May 1964 in Oldenburg (Germany), previously a physicist at the Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Berlin), was engaged as *physicien* in the Radiometry section from 1 October 1996.

André Zongo, born 11 May 1965 in Marin (Martinique), was appointed contractual *aide-jardinier* from 1 October 1996 for a period of one year.

Laurent Le Mée, born 31 July 1964 in Savigny-sur-Orge (Essonne), previously systems engineer in a private company, was appointed contractual *technicien principal* from 10 March 1997; he has charge of the internal computer network at the BIPM.

Françoise Joly, born 2 January 1951 in Saint-Georges-de-Didonne (Charente-Maritime), previously personal assistant to the director of a private company, was engaged as contractual *secrétaire de direction* from 20 May 1997. She acts as secretary and personal assistant to the Director.

Janet R. Miles, born 27 January 1969 in London (United Kingdom), previously an associate editor with Wiley-VCH in Germany, was engaged as *physicien* from 1 July 1997. She takes part in the editing of all BIPM publications and is the Assistant Editor of *Metrologia*.

Fabrice Boyer, born 1 October 1968 in Courbevoie (Hauts-de-Seine), previously milling machine operator in a private company, was appointed contractual *mécanicien* from 1 September 1997.

Pascal Lemartrier, born 16 October 1958 in Versailles (Yvelines), previously painter in a private company, was appointed contractual *maçon* from 1 September 1997.

11.2.3 Research fellows

Peter Wolf, research fellow in the Time section from 1 April 1995, has had his fellowship extended until December 1997.

Jürgen Melcher, research fellow in the Electricity section from 1 September 1995, left the BIPM on 30 August 1997 at the end of his contract.

Samuel Richman, born 26 October 1968 in New Mexico (United States), previously postgraduate research student at the JILA in Boulder, was engaged as a research fellow in the Mass section from 1 September 1997 for a period of two years.

11.2.4 Death

Christophe Angot, *jardinier* from 1 November 1986, died on 5 November 1996.

11.2.5 Departures

Caroline Lawrence, *secrétaire de rédaction*, resigned on 31 January 1997 after nearly six years of service.

Jacqueline Monprofit, *secrétaire de direction*, retired on 31 May 1997 after 34 years of service carried out with great competence and devotion.

Angelina Perez, *agent d'entretien*, retired on 30 September 1997 after 24 years of devoted and effective service.

Alfredo Gama, *maçon*, retired on 30 September 1997 after 35 years of service carried out with great devotion and efficiency.

11.3 Buildings

11.3.1 Grand Pavillon

Redecoration of an office.

Painting of toilets in the basement.

Replacement of the fitted carpet of the staircase.

Vitrification of the parquet in the corridor.

11.3.2 Petit Pavillon

Partial redecoration of the visitor's apartment.

Sealing of leaks in the roof above the mechanical workshop.

11.3.3 Observatoire

Refurbishment of the upper Caveau, including the purchase of a new safe.

Redecoration of a laboratory (Room 6).

Replacement of the air-conditioning equipment in two laboratories (Rooms 6 and 14).

Replacement of the stone steps outside the main door.

11.3.4 Ionizing radiation building

Redecoration of an office.

Installation of a room for the new diamond turning lathe.

11.3.5 Neutron building

Continuation of the study of the conversion of the building for future use as a mechanical workshop and offices.

11.3.6 Outbuildings and park

Felling of a number of dangerous trees.

Pruning of the lime trees along the Allée du Mail.

Repairing and partial replacement of the lightning conductors.

Partial replacement of the boxwood hedges in the garden.



LIST OF ACRONYMS USED IN THE PRESENT VOLUME

1 Acronyms for laboratories, committees and conferences

AOS	Astronomiczne Obserwatorium Szerokościowe, Borowiec (Poland)
APEC	Asia-Pacific Economic Cooperation
APMP	Asia/Pacific Metrology Programme
ARL	Australian Radiation Laboratory, Yallambie (Australia)
BARC	Bhabha Atomic Research Centre, Trombay (India)
BEST	State Bureau of Technical Supervision, Beijing (China)
BFMMP/SZMDM	Savezni Zavod za Mere i Dragocene Metale, Belgrade (Yugoslavia)
BIML	Bureau International de Métrologie Légale
BIPM	Bureau International des Poids et Mesures
BNM	Bureau National de Métrologie, Paris (France)
BNM-INM	Bureau National de Métrologie: Institut National de Métrologie, Paris (France)
BNM-LCIE	Bureau National de Métrologie: Laboratoire Central des Industries Électriques, Fontenay-aux-Roses (France)
BNM-LPRI	Bureau National de Métrologie: Laboratoire Primaire des Rayonnements Ionisants, Saclay (France)
BNM-LPTF	Bureau National de Métrologie: Laboratoire Primaire du Temps et des Fréquences, Paris (France)
*CBNM	Central Bureau for Nuclear Measurements, IRMM-CCE, Geel (Belgium), see IRMM

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

*CCDM	Consultative Committee for the Definition of the Metre, see CCL
*CCDS	Consultative Committee for the Definition of the Second, see CCTF
*CCE CCEM	Consultative Committee for Electricity, see CCEM (formerly the CCE) Consultative Committee for Electricity and Magnetism
*CCEMRI	Consultative Committee for Standards of Ionizing Radiation, see CCRI
CCL	(formerly the CCDM) Consultative Committee for Length
CCM	Consultative Committee for Mass and Related Quantities
CCPR	Consultative Committee for Photometry and Radiometry
CCQM	Consultative Committee for Amount of Substance
CCRI	(formerly the CCEMRI) Consultative Committee for Ionizing Radiation
CCT	Consultative Committee for Thermometry
CCTF	(formerly the CCDS) Consultative Committee for Time and Frequency
CCU	Consultative Committee for Units
CEA	Commissariat à l'Énergie Atomique, Paris (France)
CEC	Commission of the European Communities
CEM	Centro Español de Metrología, Madrid (Spain)
CENAM	Centro Nacional de Metrología, Mexico (Mexico)
CERN	Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire, Geneva (Switzerland)
CGPM	Conférence Générale des Poids et Mesures
CIE	International Commission on Illumination
CIEMAT	Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Madrid (Spain)
CIML	Comité International de Métrologie Légale
CIPM	Comité International des Poids et Mesures
CLEO	Conference on Lasers and Electro-Optics
CMA/MIKES	Mittatekniikan Keskus/Centre for Metrology and Accreditation, Helsinki (Finland)
CMI	Český Metrologický Institut/Czech Metrological Institute, Prague and Brno (Czech Rep.)
CNEA	Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires (Argentina)

CNES	Centre National d'Études Spatiales, Toulouse (France)
CNIG	Conseil National de l'Information Géographique, Paris (France)
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique, Paris (France)
CODATA	Committee on Data for Science and Technology
COOMET	Cooperation in Metrology among the Central European Countries
CPEM	Conference on Precision Electromagnetic Measurements
CRL	Communications Research Laboratory, Tokyo (Japan)
CSIR	(formerly the NPRL) Council for Scientific and Industrial Research, National Metrology Laboratory, Pretoria (South Africa)
CSIRO-NML	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization: National Measurement Laboratory, Lindfield (Australia)
*CSMU	Československý Metrologický Ústav, Bratislava and Prague (Slovakia and Czech Rep.), see CMI and SMU
DFM	Danish Institute of Fundamental Metrology, Lyngby (Denmark)
*DSIR	Department of Scientific and Industrial Research, Lower Hutt (New Zealand), see MSL
DTAG	Deutsche Telecom AG, Darmstadt (Germany)
EA	European Cooperation for Accreditation
EAM	see OFMET
EFTF	European Frequency and Time Forum
ENS	École Normale Supérieure, Paris (France)
*EOLAS	Irish Science and Technology Agency, Dublin (Ireland), see FORBAIRT
EQEC	European Quantum Electronics Conference
ETCA	Établissement Technique Central de l'Armement, Arcueil (France)
ETL	Electrotechnical Laboratory, Tsukuba (Japan)
EUROMET	European Collaboration in Measurement Standards
FCS	Frequency Control Symposium
FORBAIRT-NML	(formerly the EOLAS) National Metrology Laboratory, Dublin (Ireland)
GREX	Groupe de Recherche du CNRS: Gravitation et Expériences (France)

GRGS	Groupe de Recherches de Géodésie Spatiale
GT-RF	CCE working group on radiofrequency quantities
GUM	(formerly the PKNM) Główny Urząd Miar/Central Office of Measures, Warsaw (Poland)
HUT	Helsinki University of Technology, Helsinki (Finland)
IAEA	International Atomic Energy Agency
IAG	International Association of Geodesy
IAP	Institute of Atomic Physics, Bucarest (Romania)
IAU	International Astronomical Union
IAUB	Astronomical Institute of the University of Bern, Bern (Switzerland)
ICAG	International Conference of Absolute Gravimeters
ICRM	International Committee for Radionuclide Metrology
ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurements
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IEN	Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin (Italy)
*IER-EPFL	see IRA
IERS	International Earth Rotation Service
IGM	Inspection Générale de la Métrologie, Brussels (Belgium)
IIR	(formerly the UVVVR) Inspectorate for Ionizing Radiation, Prague (Czech Rep.)
ILAC	International Laboratory Accreditation Conference
ILP	Institute of Laser Physics, Academy of Sciences of Russia, Novosibirsk (Russian Fed.)
IMEKO	International Measurement Confederation
IMGC	Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin (Italy)
*IMM	see VNIIM
INEAM	International and National Aspects of Ecological Monitoring, St Petersburg (Russian Fed.)
INETI	(formerly the LNETI) Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, Lisbon (Portugal)
IRMM	(formerly the CBNM) Institute for Reference Materials and Measurements, Geel (Belgium)
*INM	Institut National de Métrologie, Paris (France), see BNM-INM
INM	Institutul National de Metrologie, Bucarest (Romania)

INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, Rio de Janeiro (Brazil)
INTELSAT	International Telecommunications Satellite Organization
INTI	Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Buenos Aires (Argentina)
ION	Institute of Navigation, Alexandria VA (United States)
IPEM	Institute of Physics and Engineering in Medicine, York (United Kingdom)
*IPEMB	Institute of Physics and Engineering in Medicine and Biology, York (United Kingdom), see IPEM
IPQ	Instituto Português da Qualidade, Lisbon (Portugal)
IRA	(formerly the IER-EPFL) Institut de Radiophysique Appliquée, Lausanne (Switzerland)
IRL	Industrial Research Limited, Lower Hutt (New Zealand)
IRMM	(formerly the CBNM) Institute for Reference Materials and Measurements, Geel (Belgium)
ISI	Institute of Scientific Instruments, Academy of Sciences of the Czech Republic, Brno (Czech Rep.)
ISO	International Organization for Standardization
ISO/TAG 4	International Organization for Standardization: Technical Advisory Group 4 (Metrology)
ITU	International Telecommunication Union
IUGG	International Union of Geodesy and Geophysics
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry
IUPAP	International Union of Pure and Applied Physics
JCGM	Joint Committee for Guides in Metrology
JILA	Joint Institute for Laboratory Astrophysics, Boulder CO (United States)
KRISS	(formerly the KSRI) Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon (Rep. of Korea)
*KSRI	Korea Standards Research Institute, Taejon (Rep. of Korea), see KRISS
LATU	Laboratório Tecnológico del Uruguay, Montevideo (Uruguay)
*LCIE	Laboratoire Central des Industries Électriques, Fontenay-aux-Roses (France), see BNM-LCIE
*LMRI	Laboratoire de Métrologie des Rayonnements Ionisants, Saclay (France), see LPRI

*LNETI	Laboratório Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, Lisbon (Portugal)
LNMRI	Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes, Rio de Janeiro (Brazil)
*LPRI	(formerly the LMRI) Laboratoire Primaire des Rayonnements Ionisants, Saclay (France), see BNM-LPRI
*LPTF	Laboratoire Primaire du Temps et des Fréquences, Paris (France), see BNM-LPTF
MFQ	Mouvement Français pour la Qualité (France)
MIKES	Mittatekniikan Keskus, Helsinki (Finland), see CMA
MRI	Metrology Research Institute, Helsinki (Finland)
MSL-IRL	(formerly the DSIR) Measurement Standards Laboratory of New Zealand, Lower Hutt (New Zealand)
*NBS	National Bureau of Standards, Gaithersburg MD (United States), see NIST
NCSL	National Conference of Standards Laboratories
NILPRP	National Institute for Laser, Plasma and Radiation Physics, Bucarest (Romania)
NIM	National Institute of Metrology, Beijing (China)
*NIRH/SSI	National Institute of Radiation Protection, Stockholm (Sweden), see SRPI
NIS	National Institute for Standards, Cairo (Egypt)
NIST	(formerly the NBS) National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg MD (United States)
NMi-VSL	Nederlands Meetinstituut: Van Swinden Laboratorium, Delft (Netherlands)
NML	see FORBAIRT
*NML	National Measurement Laboratory, Lindfield (Australia), see CSIRO
NORAMET	North American Metrology Cooperation
NPL	National Physical Laboratory, Teddington (United Kingdom)
*NPRL	National Physical Research Laboratory, Pretoria (South Africa), see CSIR
NRC	National Research Council of Canada, Ottawa (Canada)
NRLM	National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba (Japan)
OCA	Observatoire de la Côte d'Azur, Grasse (France)

OFMET	Office Fédéral de Métrologie/Eidgenössisches Amt für Messwesen, Wabern (Switzerland)
OIML	Organisation Internationale de Métrologie Légale
OMH	Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest (Hungary)
OP	Observatoire de Paris (France)
ORB	Observatoire Royal de Belgique, Brussels (Belgium)
*PKNM	Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakości, Warsaw (Poland), see GUM
PSB	(formerly the SISIR) Singapore Productivity and Standards Board (Singapore)
PSPKR	Pusat Standardisasi dan Penelitian Keselamatan Radiasi, Jakarta (Indonesia)
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig and Berlin (Germany)
PTTI	Precise Time and Time Interval Applications and Planning Meeting
RC	Radioisotope Centre, Otwock/Swierk (Poland)
SCL	Standards and Calibration Laboratory (Hong Kong)
*SISIR	Singapore Institute of Standards and Industrial Research (Singapore), see PSB
SMU	(formerly the CSMU) Slovenský Metrologický Ústav/Slovak Institute of Metrology, Bratislava (Slovakia)
SP	(formerly the Statens Provningsanstalt) Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut/ Swedish National Testing and Research Institute, Borås (Sweden)
SRPI	(formerly the NIRP/SSI) Swedish Radiation Protection Institute, Stockholm (Sweden)
SSDL	Secondary Standards Dosimetry Laboratories
STU	Physicochemical Symbols, Terminology and Units, IUPAC Commission
SUN-AMCO	Symbols, Units and Nomenclature, Atomic Masses and Fundamental Constants, IUPAP Commission
SZMDM	see BFMMP
TUG	Technical University, Graz (Austria)
UME	Ulusal Metroloji Enstitüsü/National Metrology Institute, Marmara Research Centre, Gebze-Kocaeli (Turkey)
*UVVVR	see IIR
VNIIM	(formerly the IMM) D.I. Mendeleev Institute for Metrology, St Petersburg (Russian Fed.)

VNIIMS	Russian Research Institute for Metrological Service of Gosstandart of Russia, Moscow (Russian Fed.)
*VSL	Van Swinden Laboratorium, Delft (Netherlands), see NMI-VSL

2 Acronyms for scientific terms

CCD	Charge-Coupled Device
EAL	Free atomic time scale
FTP	File Transfer Protocol
GLONASS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
IGS	International GPS Service for Geodynamics
KTP	Potassium titanyl phosphate
LGS	Linear gate and stretched module
LPTF-FO1	Fontaine à césium n° 1 du Laboratoire Primaire du Temps et des Fréquences
MJD	Modified Julian Day
PHARAO	Projet d'horloge atomique à refroidissement d'atomes en orbite
QHE	Quantum Hall Effect
QHR	Quantum Hall Resistance
SI	International System of Units
SIR	International Reference System for gamma-ray emitting radionuclides
TAI	International Atomic Time
UTC	Coordinated Universal Time