

**Bureau international des poids et mesures**

**Rapport du directeur  
sur l'activité et la gestion  
du Bureau international  
des poids et mesures**

(1<sup>er</sup> juillet 2002 – 30 juin 2003)

Note sur l'utilisation du texte anglais (*voir* page 133)

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

Imprimé par : Stedi, Paris  
ISSN 1606-3740  
ISBN 92-822-2201-2

## TABLE DES MATIÈRES

États membres de la Convention du Mètre et Associés à la Conférence générale **11**

Le BIPM et la Convention du Mètre **13**

Liste du personnel du Bureau international des poids et mesures **17**

### **Rapport du directeur sur l'activité et la gestion du Bureau international des poids et mesures (1<sup>er</sup> juillet 2002 – 30 juin 2003) 19**

- 1 Introduction **21**
  - 1.1 Introduction générale et résumé des travaux scientifiques **21**
  - 1.2 Publications, conférences et voyages du directeur **29**
    - 1.2.1 Publications extérieures **29**
    - 1.2.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **29**
  - 1.3 Activités du directeur en liaison avec des organisations extérieures **30**
- 2 Longueurs **31**
  - 2.1 Comparaisons et mesures absolues de fréquence **31**
  - 2.2 Lasers asservis **33**
    - 2.2.1 Lasers à He-Ne asservis sur le méthane à  $\lambda \approx 3,39 \mu\text{m}$  en cuve interne et externe **33**
    - 2.2.2 Lasers à diode asservis sur le rubidium à  $\lambda \approx 778 \text{ nm}$  en utilisant les composantes hyperfines des transitions 5S-5D à deux photons **34**
    - 2.2.3 Lasers à He-Ne asservis sur l'iode à  $\lambda \approx 633 \text{ nm}$  **34**
    - 2.2.4 Lasers à Nd:YAG asservis sur l'iode à  $\lambda \approx 532 \text{ nm}$  **34**
  - 2.3 Cuves à iode **35**
  - 2.4 Gravimétrie **35**
  - 2.5 Métrologie dimensionnelle : lasers à l'état solide, pompés par diode, asservis sur l'iode, pour la métrologie dimensionnelle et la gravimétrie absolue **36**
  - 2.6 Transfert de technologie **36**
  - 2.7 Publications, conférences et voyages : section des longueurs **36**
    - 2.7.1 Publications extérieures **36**
    - 2.7.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **38**

- 2.8 Activités liées au travail des Comités consultatifs **39**
- 2.9 Visiteurs de la section des longueurs **39**
- 3 Masses et grandeurs apparentées **40**
  - 3.1 Étalonnages **40**
  - 3.2 Détermination de la masse volumique de l'air **41**
  - 3.3 Balance hydrostatique **42**
  - 3.4 Mesure de l'adsorption de vapeur d'eau sur des masses étalons par les méthodes ellipsométrique et gravimétrique **43**
  - 3.5 Comparaison entre les étalons de masse en acier inoxydable et en platine iridié **44**
  - 3.6 Balance de torsion pour la mesure de  $G$  **45**
  - 3.7 Générateur d'humidité **45**
  - 3.8 Balance du watt **46**
  - 3.9 Pression **47**
  - 3.10 Propriétés magnétiques des étalons de masse **47**
  - 3.11 Publications, conférences et voyages : section des masses **47**
    - 3.11.1 Publications extérieures **47**
    - 3.11.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **47**
  - 3.12 Activités liées au travail des Comités consultatifs **49**
  - 3.13 Visiteurs de la section des masses **49**
  - 3.14 Stagiaires et chercheurs invités **49**
- 4 Temps **50**
  - 4.1 Temps atomique international (TAI) et Temps universel coordonné (UTC) **50**
  - 4.2 Algorithmes pour les échelles de temps **50**
    - 4.2.1 Stabilité de l'EAL **50**
    - 4.2.2 Exactitude du TAI **51**
    - 4.2.3 Échelles de temps atomique indépendantes **51**
  - 4.3 Liaisons horaires **52**
    - 4.3.1 Mesures utilisant le code du Global Positioning System (GPS) et du Global Navigation Satellite System (GLONASS) **52**
    - 4.3.2 Mesures de phase et de code des récepteurs géodésiques **53**
    - 4.3.3 Comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite **54**
    - 4.3.4 Incertitudes sur les liaisons horaires du TAI **54**
  - 4.4 Pulsars **55**

- 4.5 Références spatio-temporelles **55**
- 4.6 Autres études **55**
- 4.7 Publications, conférences et voyages : section du temps **56**
  - 4.7.1 Publications extérieures **56**
  - 4.7.2 Publications du BIPM **57**
  - 4.7.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **58**
- 4.8 Activités en liaison avec des organisations extérieures **61**
- 4.9 Activités liées au travail des Comités consultatifs **61**
- 4.10 Visiteurs de la section du temps **62**
- 5 **Électricité 62**
  - 5.1 Potentiel électrique : effet Josephson **62**
    - 5.1.1 Mesures de réseaux de jonctions de Josephson **62**
    - 5.1.2 Projet 429 de l'EUROMET : comparaison d'étalons de tension de 10 V **63**
    - 5.1.3 Mesures de diodes de Zener **63**
  - 5.2 Résistance électrique et impédance **64**
    - 5.2.1 Mesures de résistance en courant continu **64**
    - 5.2.2 Conservation d'un étalon de référence de capacité et étalonnages de capacités **64**
  - 5.3 Détermination des caractéristiques de bruit et de stabilité **65**
    - 5.3.1 Détermination des caractéristiques de bruit et de stabilité des procédures de mesure de tension avec inversion de la polarité **66**
    - 5.3.2 Projet commun avec le NIST pour déterminer le bruit et la stabilité des étalons de tension en courant continu et des instruments de mesure **67**
    - 5.3.3 Analyse des séries temporelles appliquées aux photomètres de référence étalons mesureurs d'ozone **68**
  - 5.4 Comparaisons clés continues du BIPM d'étalons électriques **68**
  - 5.5 Étalonnages **68**
  - 5.6 Publications, conférences et voyages : section d'électricité **69**
    - 5.6.1 Publications extérieures **69**
    - 5.6.2 Rapports BIPM **69**
    - 5.6.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **70**
  - 5.7 Activités en liaison avec des organisations extérieures **70**
  - 5.8 Activités liées au travail des Comités consultatifs **70**
  - 5.9 Visiteurs de la section d'électricité **71**

- 6 Radiométrie, photométrie et thermométrie **71**
  - 6.1 Radiométrie **71**
  - 6.2 Photométrie **72**
  - 6.3 Thermométrie **72**
  - 6.4 Étalonnages **73**
  - 6.5 Publications, conférences et voyages : section de radiométrie, photométrie et thermométrie **74**
    - 6.5.1 Publications extérieures **74**
    - 6.5.2 Rapport BIPM **74**
    - 6.5.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **74**
  - 6.6 Activités liées au travail des Comités consultatifs **75**
  - 6.7 Visiteurs de la section de radiométrie, photométrie, thermométrie **75**
  - 6.8 Chercheurs invités **76**
- 7 Rayonnements ionisants **77**
  - 7.1 Rayons x et  $\gamma$  **77**
    - 7.1.1 Calculs de Monte Carlo **77**
    - 7.1.2 Étalons et équipements pour la dosimétrie **78**
    - 7.1.3 Comparaisons de dosimétrie **78**
    - 7.1.4 Étalonnage d'étalons nationaux pour la dosimétrie **79**
  - 7.2 Radionucléides **80**
    - 7.2.1 Comparaisons clés internationales de mesures d'activité **80**
    - 7.2.2 Autres comparaisons clés **82**
    - 7.2.3 Système international de référence (SIR) pour la mesure d'activité de radionucléides émetteurs de rayonnement gamma **82**
    - 7.2.4 Courbe d'efficacité du SIR **83**
    - 7.2.5 Spectrométrie de rayonnement gamma **83**
  - 7.3 Publications, conférences et voyages : section des rayonnements ionisants **83**
    - 7.3.1 Publications extérieures **83**
    - 7.3.2 Rapports BIPM **86**
    - 7.3.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **86**
  - 7.4 Activités en liaison avec des organisations extérieures **87**
  - 7.5 Activités liées au travail des Comités consultatifs **88**
  - 7.6 Visiteurs de la section des rayonnements ionisants **88**

- 7.7 Stagiaires et chercheurs invités **88**
- 8 Chimie **89**
  - 8.1 Programme de comparaisons d'étalons de référence mesureurs d'ozone **89**
    - 8.1.1 Fabrication et détermination des caractéristiques des photomètres de référence étalons **89**
    - 8.1.2 Analyses temporelles des mesures de photomètres de référence étalons mesureurs d'ozone **90**
    - 8.1.3 Comparaisons d'étalons de référence mesureurs d'ozone **90**
  - 8.2 Équipements pour les étalons primaires de dioxyde d'azote **90**
  - 8.3 Équipements pour le titrage en phase gazeuse **91**
  - 8.4 Équipements pour les comparaisons d'étalons de monoxyde d'azote **91**
  - 8.5 Équipements pour la spectroscopie infrarouge par transformée de Fourier **92**
  - 8.6 Composition de l'air **92**
  - 8.7 Programme d'analyse organique **93**
  - 8.8 Publications, conférences et voyages : section de chimie **93**
    - 8.8.1 Publications extérieures **93**
    - 8.8.2 Rapport BIPM **93**
    - 8.8.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **94**
  - 8.9 Activités en liaison avec des organisations extérieures **95**
  - 8.10 Activités liées au travail des Comités consultatifs **96**
  - 8.11 Visiteurs de la section de chimie **96**
  - 8.12 Chercheur invité **96**
- 9 La base de données du BIPM sur les comparaisons clés **97**
  - 9.1 Informations enregistrées dans la base de données **97**
  - 9.2 Progrès dans la mise en œuvre du système KCDB **98**
  - 9.3 Faire connaître la KCDB **98**
  - 9.4 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **99**
  - 9.5 Activités liées au travail des Comités consultatifs **99**
- 10 Informatique et qualité **99**
  - 10.1 Informatique **99**
  - 10.2 Systèmes qualité **100**
  - 10.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) : section informatique et qualité **100**

- 10.4 Visiteurs de la section informatique et qualité **101**
- 11 Publications du BIPM **101**
  - 11.1 Rapports du CIPM et de ses Comités consultatifs **101**
  - 11.2 *Metrologia* **102**
- 12 Réunions et exposés au BIPM **103**
  - 12.1 Réunions **103**
  - 12.2 Exposés **104**
- 13 Certificats et Notes d'étude **105**
  - 13.1 Certificats **105**
  - 13.2 Notes d'étude **112**
- 14 Gestion du BIPM **113**
  - 14.1 Comptes **113**
    - 14.1.1 Compte I : fonds ordinaires **113**
    - 14.1.2 Compte II : caisse de retraite **115**
    - 14.1.3 Compte III : fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique **115**
    - 14.1.4 Compte IV : caisse de prêts sociaux **116**
    - 14.1.5 Compte V : réserve pour les bâtiments **116**
    - 14.1.6 Compte VI : *Metrologia* **117**
    - 14.1.7 Compte VII : fonds de réserve pour l'assurance maladie **117**
    - 14.1.8 Bilan au 31 décembre 2002 **118**
  - 14.2 Personnel **120**
    - 14.2.1 Engagements **120**
    - 14.2.2 Prologations de service **120**
    - 14.2.3 Promotions et changements de grade **120**
    - 14.2.4 Changements et transferts de postes **120**
    - 14.2.5 Chercheurs associés **121**
    - 14.2.6 Départs **121**
  - 14.3 Bâtiments **121**
    - 14.3.1 Grand Pavillon **121**
    - 14.3.2 Bâtiment des lasers **121**
    - 14.3.3 Observatoire **121**
    - 14.3.4 Bâtiment des rayonnements ionisants **121**
    - 14.3.5 Nouveau Pavillon **122**
    - 14.3.6 Extérieurs et parc **122**

**Liste des sigles utilisés dans le présent volume 123**

## ÉTATS MEMBRES DE LA CONVENTION DU MÈTRE ET ASSOCIÉS À LA CONFÉRENCE GÉNÉRALE

au 1<sup>er</sup> juillet 2003

### États membres de la Convention du Mètre

Afrique du Sud	Irlande
Allemagne	Israël
Argentine	Italie
Australie	Japon
Autriche	Malaisie
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.)	Serbie-et-Monténégro
Égypte	Singapour
Espagne	Slovaquie
États-Unis	Suède
Finlande	Suisse
France	Tchèque (Rép.)
Grèce	Thaïlande
Hongrie	Turquie
Inde	Uruguay
Indonésie	Venezuela
Iran (Rép. islamique d')	

### Associés à la Conférence générale

Bélarus	Lituanie
Cuba	Malte
Équateur	Philippines
Hong Kong, Chine	Slovénie
Kenya	Taipei chinois
Lettonie	Ukraine

## **LE BIPM ET LA CONVENTION DU MÈTRE**

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

Le Bureau international a son siège près de Paris, dans le domaine (43 520 m<sup>2</sup>) du Pavillon de Breteuil (Parc de Saint-Cloud) mis à sa disposition par le Gouvernement français ; son entretien est assuré à frais communs par les États membres de la Convention du Mètre.

Le Bureau international a pour mission d'assurer l'unification mondiale des mesures physiques ; il est 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), aux échelles de temps (1988) et à la chimie (2000). 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, en 1988 pour la bibliothèque et des bureaux, et en 2001 a été inauguré un bâtiment pour l'atelier, des bureaux et des salles de réunion.

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 dans le *Rapport du directeur sur l'activité et la gestion du Bureau international des poids et mesures*.

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, 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 dix :

1. le Comité consultatif d'électricité et magnétisme (CCEM), 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  $\gamma$ , électrons), Section II (Mesure des radionucléides), Section III (Mesures neutroniques), Section IV (Étalons d'énergie  $\alpha$ ) ; cette dernière section a été dissoute en 1975, son domaine d'activité étant confié à la Section II) ;
7. le Comité consultatif des unités (CCU), créé en 1964 (ce Comité consultatif a remplacé la « Commission du système d'unités » instituée par le 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 et la métrologie en chimie (CCQM), créé en 1993 ;
10. le Comité consultatif de l'acoustique, des ultrasons et des vibrations (CCAUV), créé en 1999.

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

- *Comptes rendus des séances de la Conférence générale des poids et mesures* ;

- *Procès-verbaux des séances du Comité international des poids et mesures ;*
- *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 le *Rapport du directeur sur l'activité et la gestion du Bureau international des poids et mesures*.

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 DU PERSONNEL DU  
BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES**

au 1<sup>er</sup> juillet 2003

**Directeur** : M. T.J. Quinn

**Sous-directeur, directeur désigné** : M. A.J. Wallard

**Longueurs** : M. A.J. Wallard

MM. R. Felder, L. Robertsson, L.F. Vitouchkine, L.-S. Ma<sup>1</sup>, M. Zucco<sup>2</sup>  
M. J. Labot

**Masse** : M. R.S. Davis

Mme H. Fang, Mme C. Goyon-Taillade, M. A. Picard, M. H.V. Parks<sup>2</sup>  
Mme J. Coarasa, M. J. Hostache

**Temps** : Mme E.F. Arias

MM. J. Azoubib, Z. Jiang, W. Lewandowski, G. Petit, P. Wolf<sup>6</sup>  
Mme H. Konaté, Mme M. Thomas, M. L. Tisserand

**Électricité** : M. T.J. Witt

MM. F. Delahaye, D. Reymann  
MM. D. Avrons, R. Chayramy, A. Jaouen

**Radiométrie et photométrie** : M. M. Stock

MM. R. Goebel, S. Solve

**Rayonnements ionisants** : Mme P.J. Allisy-Roberts

M. D.T. Burns, Mme C. Michotte, Mme S. Picard, M. G. Ratel,  
Mme C. Kessler<sup>2</sup>  
MM. C. Colas, M. Nonis, P. Roger, C. Veyradier<sup>3</sup>

**Chimie** : M. R. Wielgosz

M. M. Esler, Mme J. Viallon  
M. P. Moussay

**Publications** : M. P.W. Martin

Mme J.R. Miles

**Base de données du BIPM sur les comparaisons clés** : Mme C. Thomas<sup>3</sup>

Mme S. Maniguet<sup>2</sup>

**Informatique et qualité**: M. R. Köhler

MM. L. Le Mée, G. Petitgand

**Secrétariat** : Mme F. Joly

Mmes D. Le Coz<sup>3</sup>, G. Négadi, J. Varenne

**Finances, administration** : Mme B. Perent

M. F. Ausset

Mmes D. Etter, M.-J. Martin, D. Saillard<sup>3</sup>

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

*Agents d'entretien* : Mme R. Prieto, M. Y. Sokhona, Mme R. Vara

*Jardiniers* : MM. C. Dias-Nunes, A. Zongo<sup>4</sup>

**Atelier de mécanique et entretien des bâtiments** : M. J. Sanjaime

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

P. Lemartrier, D. Rotrou,

MM. E. Dominguez<sup>5</sup>, C. Neves<sup>5</sup>

**Directeur honoraire** : M. P. Giacomo

---

1 Chercheur associé supérieur.

2 Chercheur associé(e).

3 Également aux publications.

4 Également à l'atelier.

5 Également à l'entretien des bâtiments.

6 En détachement au SYRTE-OP depuis le 1<sup>er</sup> septembre 2002.

**Rapport du directeur  
sur l'activité et la gestion  
du Bureau international  
des poids et mesures**

(1<sup>er</sup> juillet 2002 – 30 juin 2003)

## **1 INTRODUCTION**

### **1.1 Introduction générale et résumé des travaux scientifiques**

Dans mon introduction au Rapport du directeur de 2002, j'avais mis en évidence les nombreuses activités du personnel du Bureau international des poids et mesures (BIPM) qui s'ajoutent au travail scientifique dans les laboratoires. Les réponses des directeurs des laboratoires nationaux de métrologie au questionnaire qui leur a été envoyé en 2001 montrent clairement qu'ils leur accordent beaucoup d'importance. C'est encore plus vrai cette année compte tenu du nombre toujours croissant de réunions au BIPM et de contacts avec des organisations extérieures, et avec l'extension à de nouveaux domaines, notamment en réponse au besoin pressant de l'industrie concernant la reconnaissance internationale des matériaux de référence pour la médecine de laboratoire.

J'aimerais souligner cette année que le succès remporté par le BIPM dans la mise en œuvre de toutes ces activités repose en grande partie sur la compétence technique du personnel, compétence qui découle de sa participation active au travail scientifique dans les laboratoires du BIPM, c'est-à-dire en métrologie. Il est très clair d'après les réponses au questionnaire envoyé en 2001 que les laboratoires nationaux de métrologie apprécient hautement l'assistance technique que le personnel du BIPM apporte aux Comités consultatifs. À cet égard, les physiciens et chimistes de haut niveau du BIPM ont consacré beaucoup de temps à les aider à analyser et à interpréter les résultats des comparaisons clés du Comité international et à les relier à ceux des comparaisons clés des organisations régionales de métrologie correspondantes. La présence du personnel du BIPM dans les réunions techniques des organisations régionales de métrologie est aussi très appréciée, ce qui ne serait certainement pas le cas sans cette compétence technique.

Le travail de laboratoire du BIPM, décrit dans ce rapport, donne à son personnel la compétence technique nécessaire à tous ces services, et notamment le rend apte à jouer le rôle de laboratoire pilote d'un certain nombre de comparaisons clés. Certaines d'entre elles sont des comparaisons clés en continu et d'autres sont effectuées de temps à autre. J'attire votre attention en particulier cette année sur la mise en œuvre d'une comparaison sur la concentration d'ozone dans l'atmosphère qui deviendra à l'avenir une comparaison clé en continu. L'expérience de nombreux laboratoires

nationaux de métrologie montre que le fait d'être le laboratoire pilote de comparaisons clés est une procédure coûteuse en temps et en moyens financiers.

La compétence technique du personnel du BIPM nous permet aussi de fournir des étalonnages pour près de la moitié des États membres de la Convention du Mètre. Le transfert de technologie pendant les étalonnages au BIPM, et en particulier pendant les comparaisons clés du BIPM, a aussi été souligné comme un avantage important pour les laboratoires nationaux de métrologie.

Par dessus-tout, la compétence technique du personnel du BIPM lui permet de fournir de nombreux services utiles à tous les laboratoires nationaux de métrologie, petits ou grands.

Il m'est impossible de dissimuler que la décision prise en octobre 2002 de fermer la section de photométrie et radiométrie et de réduire de manière significative les efforts dans le domaine des longueurs affaibliront l'impact du BIPM dans ces domaines, mais les activités nouvelles en chimie organique sont, toutefois, appelées à répondre à un besoin pressant. Le personnel du BIPM continuera à faire tous les efforts possibles pour continuer à aider les laboratoires nationaux de métrologie et les Comités consultatifs dans ces domaines.

Tout en reconnaissant les contraintes financières qui nous ont conduits à prendre ces décisions et la nécessité fondamentale de renforcer nos activités dans le domaine de la chimie organique, j'aimerais saisir cette occasion pour attirer l'attention des directeurs des laboratoires nationaux de métrologie sur l'efficacité du BIPM et sur l'intérêt pour tous de lui permettre de la conserver à un niveau maximum.

Le texte qui suit est un résumé des activités scientifiques et techniques mises en œuvre au BIPM depuis juillet 2002. Le corps du rapport les décrit plus en détail, et présente la liste des publications, visites et réunions, les changements concernant le personnel, et les travaux d'entretien des bâtiments et du site du BIPM.

**Longueurs :** La section des longueurs s'est principalement consacrée en 2003 à la mise au point du système à peigne du BIPM, à son utilisation pour l'étalonnage absolu de treize fréquences de lasers des laboratoires nationaux de métrologie, et à des expériences ayant pour but de mettre en évidence les limites actuelles de la technique des peignes. Nous possédons maintenant deux systèmes à peigne, ce qui nous place en excellente position pour évaluer l'état actuel de l'art et nous permet d'effectuer des étalonnages qui

remplacent l'ancien service de comparaisons de lasers hétérodynes offert pendant de nombreuses années.

Notre réalisation la plus remarquable a été la collaboration avec l'East China Normal University, qui a permis de montrer que la mesure simultanée d'un seul laser au moyen de deux peignes peut être effectuée à un niveau meilleur que un hertz. Une comparaison similaire, en cours à l'heure actuelle, a ensuite été entreprise au NIST/JILA (États-Unis).

Nous continuons à améliorer notre source laser compacte. Nous espérons l'utiliser pour améliorer le gravimètre du BIPM et pour les mesures dimensionnelles nécessaires aux projets sur le condensateur calculable et sur la balance du watt. En ce qui concerne la gravimétrie, nous avons publié les résultats de la comparaison internationale de gravimètres absolus de 2001, obtenus en utilisant un nouveau logiciel d'analyse.

**Masses :** Trois nouveaux prototypes de 1 kg ont été fabriqués et étalonnés, et deux autres sont presque terminés. La procédure de finition a été modifiée, le polissage final est réalisé à la pâte de diamant à la place de l'outil au diamant. Ce travail demande une étroite collaboration entre l'atelier et la section des masses pour les étalonnages de volume et de masse. Dans le domaine de la recherche, des mesures supplémentaires tendent à confirmer une petite différence systématique entre la masse volumique de l'air déterminée au moyen de la formule du CIPM-1981/91 et au moyen d'artefacts pour la mesure de la poussée de l'air. Nous cherchons une explication. Les effets de surface ont aussi été étudiés par gravimétrie et ellipsométrie. La mise au point de notre nouvel appareil pour la détermination de la constante newtonienne de gravitation,  $G$ , continue constamment à progresser et on devrait obtenir des résultats définitifs vers la fin de 2003. Enfin, le BIPM a maintenant commencé la mise en oeuvre d'une balance du watt de conception novatrice et les membres de la section des masses jouent un rôle actif au sein de l'équipe chargée de cette activité.

**Temps :** La procédure de calcul du Temps atomique international (TAI) a été automatisée, et depuis mai 2003 la *Circulaire T* du BIPM a été améliorée : les résultats sont donnés au dixième de nanoseconde près et les informations sur les liaisons horaires utilisées pour le TAI sont publiées dans une nouvelle section. La stabilité à moyen terme du TAI, exprimée sous forme de l'écart-type d'Allan, est estimée à environ  $0,6 \times 10^{-15}$  en valeur relative pour des durées moyennes de vingt à quarante jours. L'exactitude du TAI est fondée sur les données de neuf étalons primaires de fréquence, parmi lesquels on compte cinq fontaines à césium (IEN CSF1, BNM-SYRTE FOM, BNM-SYRTE FO2, NIST-F1 et PTB CSF1). L'unité d'échelle du TAI correspond,

selon nos estimations, à la seconde du SI à  $2 \times 10^{-15}$  près en valeur relative depuis août 2002. Une partie importante de l'activité de la section concerne les études des comparaisons de temps et de fréquence au moyen de systèmes de navigation par satellite. Le réseau de liaisons horaires internationales, traditionnellement fondé sur la technique des observations simultanées réalisées avec des récepteurs du Global Positioning System (GPS) à un seul canal utilisant le code C/A, compte maintenant douze liaisons horaires fondées sur des récepteurs GPS à canaux multiples et neuf liaisons horaires par aller-retour. Nous nous sommes consacrés à l'estimation des incertitudes de types A et B des liaisons horaires pour le calcul du TAI ; les résultats seront bientôt publiés dans la *Circulaire T*. Une expérience pilote permettant d'évaluer, pour certaines liaisons horaires du TAI, l'utilisation de mesures du code P porté par les deux fréquences des signaux du GPS et reçues par des récepteurs géodésiques est en cours. Des campagnes d'étalonnage de récepteurs du GPS ont été organisées et menées à bien par la section.

Des activités de recherche sont aussi consacrées aux systèmes de référence spatio-temporels, en particulier à la définition et la réalisation des coordonnées temporelles dans le cadre relativiste. La section du temps du BIPM et l'USNO (États-Unis) ont la responsabilité d'établir conjointement, dans le cadre du Conventions Product Centre du Service international de la rotation terrestre, des conventions à utiliser pour déterminer les systèmes de référence spatio-temporels. D'autres activités de recherche concernent les pulsars, les projets d'utilisation d'horloges dans l'espace et l'interférométrie atomique.

**Électricité :** En mars 2003, nous avons reçu de la PTB (Allemagne) notre premier réseau de jonctions de Josephson programmable. Notre premier travail a consisté à effectuer des vérifications systématiques. Premièrement, nous avons comparé la tension de sortie à 0,6 V de la moitié des jonctions à celle de l'autre moitié. La différence mesurée est égale à zéro avec une incertitude de 0,1 nV. Deuxièmement, nous avons comparé la tension de sortie totale à 1,2 V à la tension d'un réseau conventionnel non polarisé. La différence est égale à zéro avec la même incertitude. En ce qui concerne les étalonnages de tension, l'automatisation des étalonnages des étalons à diodes de Zener est terminée. Dans le domaine des mesures d'impédance, l'incertitude assignée à la différence entre la résistance en courant alternatif et en courant continu des résistances coaxiales est maintenant plus faible. Celles-ci constituent des liens critiques dans la chaîne de mesure du BIPM reliant la résistance de Hall quantifiée à l'impédance des condensateurs étalons. Ce travail étaye les étalonnages de capacité du BIPM, qui font

actuellement l'objet d'une forte demande, comme le montrent la quarantaine de certificats émis cette année pour douze laboratoires nationaux de métrologie. Les activités liées à la détermination du bruit et de la stabilité des instruments de mesure en courant continu au moyen de la variance d'Allan et de la technique de densité spectrale sont maintenant appliquées à l'analyse des mesures effectuées avec inversion de la polarité selon les méthodes classiques de ce domaine. Les résultats démontrent que les niveaux de bruit obtenus dans les deux mesures simultanées en polarité inversée, c'est-à-dire celle du signal étudié et celle des tensions résiduelles non inversées, sont cohérents avec les résultats des expériences effectuées à une seule polarité. Nos techniques d'analyse du bruit commencent à susciter l'intérêt des laboratoires nationaux de métrologie et un programme de collaboration a été mis en œuvre avec succès avec le NIST. Une autre collaboration intéressante concerne la section de chimie, pour laquelle les techniques d'analyse de séries temporelles sont appliquées aux mesures de concentration molaire. Enfin, la section d'électricité continue à jouer un rôle actif dans les comparaisons, avec notamment la participation pour la deuxième fois au projet 626 de l'EUROMET (vérification de réseaux programmables), avec le calcul du lien des résultats de la comparaison clé EUROMET.EM.BIPM-K11 d'étalons de 10 V à ceux de la comparaison clé en continu BIPM.EM-K11.b, avec une seconde série de mesures d'étalons voyageurs de 100  $\Omega$  pour la comparaison CCEM-K10, et avec l'achèvement d'une nouvelle comparaison bilatérale d'étalons de 10 V dans le cadre de la comparaison BIPM.EM-K11.b. Les membres de la section d'électricité participent aux discussions préliminaires sur le projet de balance du watt du BIPM.

**Radiométrie, photométrie, thermométrie :** Dans le cadre de la coopération entre le BIPM et le NMIJ/AIST (Japon) sur la mise au point de points fixes d'eutectiques métal-carbone, un groupe de radiomètres à filtre a été étalonné par rapport au radiomètre cryogénique afin de mesurer les températures thermodynamiques des plateaux de fusion et de congélation. Nous travaillons en parallèle à la préparation des cellules à points fixes et à l'évaluation de leurs performances. Le BIPM a participé à deux comparaisons de cellules d'origine différente au NPL (Royaume-Uni) et au VNIIOFI (Fédération de Russie). Les premières mesures de températures thermodynamiques sont prévues pour l'automne 2003. Quand elles seront terminées le travail s'arrêtera, conformément à la décision prise par le CIPM en 2002 de fermer la section de photométrie et radiométrie.

Dans le domaine de la photométrie, des lampes ont été étalonnées pour plusieurs États membres de la Convention du Mètre mais, suite à la décision du CIPM, nous n'avons plus accepté d'étalonnage après octobre 2002.

Les mesures de la comparaison du CCT de cellules à point triple de l'eau ont débuté en décembre 2002. Chaque participant a envoyé au BIPM une cellule préalablement comparée à la cellule de référence nationale. Toutes ces cellules ont été comparées à deux cellules de référence au BIPM. Les résultats obtenus à ce jour montrent que la qualité des résultats est bien meilleure que lors de la précédente comparaison de 1995. Les mesures devaient s'achever en juillet 2003, et être suivies de la préparation du rapport de la comparaison.

**Rayonnements ionisants :** Le programme de calcul de Monte Carlo pour les étalons de kerma dans l'air se déroule conformément aux prévisions et de nouveaux facteurs de correction pour les étalons de rayons x aux basses et aux moyennes énergies du BIPM seront appliqués à partir du 1<sup>er</sup> octobre 2003, en accord avec la décision prise par la Section I du CCRI en mai 2003. Le travail se poursuit pour améliorer les équipements liés aux étalons, avec de nouvelles qualités de rayonnements pour simuler les spectres utilisés en mammographie ; l'étalon d'équivalent de dose ambiant est à nouveau totalement opérationnel. Cinq comparaisons de dosimétrie avec trois laboratoires nationaux de métrologie et vingt-trois étalonnages pour six laboratoires nationaux de métrologie ont aussi été effectués cette année dans plusieurs faisceaux de photons. Suite à la décision prise par le CCRI, les résultats des comparaisons de dosimétrie des rayons x seront publiés dans l'annexe B de la base de données du BIPM sur les comparaisons clés (KCDB) à l'automne 2003. Dans le domaine des radionucléides, cinq comparaisons clés sont en cours, les projets A des rapports des comparaisons de  $^{32}\text{P}$  et de  $^{204}\text{Tl}$  sont déjà prêts. Nous attendons les résultats de la comparaison de  $^{192}\text{Ir}$ , et les mesures liées aux comparaisons de  $^{241}\text{Am}$  et de  $^{65}\text{Zn}$  sont en cours. Nous en sommes au stade du projet B de rapport pour deux comparaisons plus anciennes de  $^{152}\text{Eu}$  et de  $^{238}\text{Pu}$ . Dix laboratoires ont soumis douze radionucléides différents à mesurer dans le Système international de référence (SIR) cette année. À ce jour, vingt-trois rapports de comparaisons clés incluant les degrés d'équivalence, ont été publiés dans la KCDB. Le nombre total de comparaisons clés continues est de soixante-deux et il est prévu de publier le reste des rapports dès que possible. Le travail se poursuit sur les courbes d'efficacité du SIR pour améliorer le modèle et réduire les incertitudes. Les niveaux d'activité des impuretés de cinq

radionucléides soumis dans diverses comparaisons ont été mesurés avec le spectromètre gamma Ge(Li) du BIPM.

**Chimie :** Le BIPM a joué un rôle actif dans l'organisation de l'étude pilote CCQM-P28 (ozone, niveau ambiant). Le protocole de cette étude pilote, incluant le transport des étalons nationaux de référence et des étalons de transfert au BIPM, a été distribué aux laboratoires nationaux de métrologie ; vingt d'entre eux se sont inscrits pour participer à l'étude. Les mesures devraient débuter en juillet 2003 et se poursuivre jusqu'en septembre 2004.

La collaboration entre le NIST et le BIPM sur les étalons mesureurs d'ozone se poursuit, avec l'échange de membres du personnel, et l'installation de trois photomètres de référence mesureurs d'ozone (SRP 31, 32 et 33) au BIPM. Une série d'études visant à valider le bilan d'incertitude des photomètres étalons de référence a été réalisée au BIPM. D'autres études servant à quantifier les effets de réflexions multiples dans les cuves à gaz des photomètres sont prévues. Une comparaison des étalons de référence d'ozone de l'Institut hydrométéorologique tchèque et du BIPM a eu lieu. Le BNM-LNE (France) et le BIPM ont entrepris une série de comparaisons au moyen d'un étalon de transfert pour déterminer la stabilité de ces systèmes.

Un équipement servant à la préparation dynamique d'étalons primaires de dioxyde d'azote ( $\text{NO}_2$ ) a été mis en place. Une nouvelle balance à suspension magnétique a été installée afin de mesurer la perte de masse dans les tubes à perméation de  $\text{NO}_2$ . Une fois opérationnelle, l'ensemble servira de référence primaire pour les mesures de fraction molaire de dioxyde d'azote appliquées au titrage en phase gazeuse.

La mise au point d'équipements pour le titrage en phase gazeuse servant de deuxième méthode primaire de mesures de concentration d'ozone se poursuit. La détermination de leurs caractéristiques est en cours ; elle comprend l'étalonnage des contrôleurs de débit massique ; la détermination des temps de réponse des instruments de contrôle du titrage ; l'automatisation de son fonctionnement et de la collecte des données ; et l'étude des réacteurs à écoulement laminaire ou turbulent. Il est prévu que l'ensemble soit utilisé lors de l'étude pilote CCQM-P28.

Des équipements pour la comparaison des étalons de monoxyde d'azote de fraction molaire nominale  $50 \mu\text{mol/mol}$  ont été installés. Ils seront utilisés pour s'assurer que les mesures de fraction molaire de monoxyde d'azote dans le système de titrage en phase gazeuse sont traçables aux étalons primaires de gaz obtenus par gravimétrie. Un nouveau spectromètre de résolution moyenne utilisant la méthode de spectroscopie infrarouge par transformée de

Fourier (FTIR) pour l'analyse de gaz (ThermoNicolet Nexus) a été installé. Le système a été couplé aux équipements de titrage en phase gazeuse pour l'analyse simultanée du monoxyde d'azote, du dioxyde d'azote et de l'ozone, et sera utilisé pour analyser les impuretés dans les gaz dans les équipements pour le monoxyde et le dioxyde d'azote.

Le BIPM a examiné avec le Groupe de travail du CCQM sur l'analyse organique l'extension éventuelle du programme de travail du BIPM au domaine de l'analyse organique. Un questionnaire a été distribué aux laboratoires nationaux de métrologie membres du groupe de travail à propos de leurs activités relatives aux matériaux organiques de substance pure, ainsi que les demandes relatives à un programme international dans ce domaine. L'établissement d'un programme de laboratoire au BIPM pour étayer et coordonner la série de comparaisons de pureté organique en cours dans le cadre de l'étude pilote CCQM-P20 a été approuvé par le CCQM.

**Informatique et qualité :** Le site Web du BIPM continue à attirer un grand nombre de visiteurs, de l'ordre de 1600 connexions par jour en provenance du monde entier. Un nouveau site Web est en préparation, offrant un accès plus commode et un nouveau graphisme. Il devrait être disponible en ligne avant la Conférence générale d'octobre 2003. La sécurité du site Web du BIPM et de la KCDB, ainsi que des services informatiques généraux du BIPM, reste la priorité majeure. Des efforts considérables ont été effectués pour offrir toutes sortes de services informatiques pendant les réunions, ainsi qu'aux visiteurs du BIPM. Le système qualité des services d'étalonnage du BIPM a bien progressé et il est examiné section par section par des experts des laboratoires nationaux de métrologie.

**Base de données du BIPM sur les comparaisons clés :** Environ cinq cents comparaisons clés et supplémentaires mises en œuvre sous les auspices du CIPM ou des organisations régionales de métrologie sont maintenant enregistrées dans la base de données du BIPM sur les comparaisons clés, qui constitue l'annexe B de l'Arrangement de reconnaissance mutuelle du CIPM (MRA). L'annexe C contient maintenant environ 14 000 aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages. Nous avons consacré cette année beaucoup d'efforts non seulement à entrer les données, mais aussi à améliorer la structure sous-jacente des bases de données et la programmation du site Web. Le nouveau site Web de la KCDB a été ouvert sur l'Internet le 4 mars 2003. Comme en 2002, la KCDB a été présentée à la conférence de chimie PITTCON aux États-Unis ; elle a suscité beaucoup d'intérêt.

**Comité mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM (JCRB) :** Le JCRB s'est réuni deux fois par an depuis la signature de

l'Arrangement de reconnaissance mutuelle du CIPM en 1999. Lors de sa dixième réunion à Tsukuba (Japon) en mars 2003, il est apparu clairement que la plupart des questions techniques et organisationnelles relatives à la mise en œuvre de l'Arrangement du CIPM et concernant les aptitudes de mesure et d'étalonnages des laboratoires nationaux de métrologie étaient résolues ; il n'est probablement plus nécessaire de réunir le JCRB deux fois par an dans ce but. Les participants ont toutefois le sentiment que les contacts étroits entre les organisations régionales de métrologie du monde entier engendrés par ces réunions bisanuelles ne doivent pas disparaître. Le JCRB ré-examine donc ses activités dans le cadre des attributions globales qui lui ont été conférées dans le texte de l'Arrangement du CIPM. En qualité de président du JCRB, j'ai rédigé quatre rapports annuels à l'attention des directeurs des laboratoires signataires de l'Arrangement et du CIPM, plus un rapport résumant les activités du JCRB depuis 1998. Ce dernier rapport sera distribué au CIPM et aux directeurs en temps utile avant la Conférence générale et la réunion des directeurs qui se tiendront en octobre 2003.

## **1.2 Publications, conférences et voyages du directeur**

### **1.2.1 Publications extérieures**

1. Quinn T.J., International metrology: the evolving role of the Metre Convention, *Proc. XVII IMEKO World Congress, Metrology in the 3rd Millenium*, 2003, 1-3.

### **1.2.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)**

T.J. Quinn s'est rendu à :

- Braunschweig et Berlin (Allemagne), du 1<sup>er</sup> au 3 juillet 2002 ; à Berlin, les 27 et 28 août 2002 ; et à Braunschweig, le 5 novembre 2002, pour des réunions du comité d'évaluation de la PTB ;
- Tokyo (Japon), du 25 au 27 septembre 2002, au METI et au NMIJ/AIST ;
- Londres (Royaume-Uni), le 29 novembre 2002, à la Royal Society ;
- Berlin (Allemagne), le 16 décembre 2002, pour la présentation du PTB Review Report ;
- Londres (Royaume-Uni), le 23 janvier 2003, à l'Institute of Physics, pour recevoir la Glazebrook Medal ;

- Utrecht (Pays-Bas), le 10 février 2003, à l'University Hospital, pour des discussions sur la chimie clinique ;
- Genève (Suisse), le 14 février 2003, à l'Organisation mondiale de la santé (OMS), pour des discussions avec le directeur exécutif de l'OMS sur la traçabilité des mesures en chimie clinique ;
- Londres (Royaume-Uni), les 17 février, 25 avril et 27 juin 2003, pour des réunions du Paul Fund ;
- Genève (Suisse), les 19 et 20 février 2003, à l'OMS, pour une réunion du Comité d'experts sur les étalons biologiques ;
- Tsukuba (Japon), du 28 février au 5 mars 2003, pour la 10<sup>e</sup> réunion du JCRB ;
- Sydney (Australie), du 6 au 14 mars 2003, pour visiter le NML-CSIRO ;
- Paris (France), le 31 mars et le 19 mai 2003, à l'Institut de France, pour des réunions du groupe de travail de l'Académie des sciences « Unités de base et constantes fondamentales » ;
- Genève (Suisse), le 4 avril 2003, à l'OMS, pour des discussions sur la chimie clinique ;
- Moscou (Fédération de Russie), du 27 au 30 avril 2003, pour visiter le Gosstandart ;
- Budapest (Hongrie), du 26 au 28 mai 2003, pour une réunion du Comité de l'EUROMET ;
- Grasse (France), du 2 au 4 juin 2003, pour une réunion du bureau du Comité ;
- Dubrovnik (Croatie), les 23 et 24 juin 2003, pour le congrès mondial de l'IMEKO.

### **1.3 Activités du directeur en liaison avec des organisations extérieures**

Le directeur est membre du conseil de l'Institut des étalons nationaux de mesure du NRC, membre du CODATA Task Group on Fundamental Constants, de l'Interdivisional Committee on Nomenclature and Symbols de l'Union internationale de chimie pure et appliquée, du Comité d'experts de l'OMS sur les étalons biologiques, et membre du groupe de travail de l'Académie des sciences de Paris « Unités de base et constantes fondamentales ». Il est président du Paul Instrument Fund de la Royal

Society, du JCRB et du Comité commun pour les guides en métrologie (JCGM).

## 2 LONGUEURS (A.J. WALLARD)

### 2.1 Comparaisons et mesures absolues de fréquence

(L. Robertsson, L.-S. Ma, S. Picard\* et M. Zucco)

Ce domaine a été au cœur des activités de la section des longueurs cette année, période pendant laquelle le système à peigne permanent du BIPM a fonctionné régulièrement et a été utilisé pour des comparaisons internationales. Il a aussi été utilisé pour étalonner la fréquence absolue des lasers de certains laboratoires nationaux de métrologie. De plus, des comparaisons directes de peignes ont aussi débuté pendant l'année pour étudier le niveau d'exactitude que l'on peut atteindre dans la détermination absolue de la fréquence au moyen de systèmes à peigne. En plus des étalonnages directs et des comparaisons, les efforts réalisés pour étendre l'utilisation des techniques fondées sur des peignes ont débouché sur une nouvelle technique permettant de déterminer le rang absolu des composantes du spectre du peigne.

Le but de l'activité d'étalonnage est de placer le BIPM en position d'offrir des mesures absolues de fréquence aux laboratoires nationaux de métrologie deux fois par an pour économiser les efforts. Ces étalonnages périodiques bisannuels offrent aussi aux laboratoires nationaux de métrologie une opportunité d'effectuer des mesures bilatérales ou d'autres mesures spécifiques entre eux, ou avec les systèmes laser de référence du BIPM.

À ce jour, plusieurs laboratoires nationaux de métrologie ont bénéficié de ce service et des mesures absolues de fréquence de lasers à He-Ne asservis sur l'iode à 633 nm ou à 543 nm ont été effectuées pour le BNM-INM, le CEM, le CENAM, le CMI, le DFM, le GUM, le JV, le MIKES, le NIM, le NMI, le NRC, le SPRING Singapore et l'UME. L'énorme avantage d'utiliser des systèmes à peigne plutôt que la technique de mesure hétérodyne classique

---

\* Jusqu'en avril 2003, date à laquelle elle a rejoint la section des rayonnements ionisants.

tient à la rapidité des mesures et à l'aptitude à mesurer avec précision des décalages systématiques – ce qui était bien plus difficile autrefois. Nous pouvons donc maintenant examiner plus attentivement les incertitudes et les petits décalages associés au laser de référence du BIPM (BIPM4). Nous avons ainsi confirmé l'existence de ces décalages dans le temps, et vérifié que la dispersion ( $1\sigma$ ) des mesures de fréquence du laser BIPM4 était inférieure à 2 kHz sur la période comprise entre avril 2002 et mai 2003. Elle se situe bien dans les limites des incertitudes publiées dans la Mise en pratique. Pour étayer ces mesures plus précises, nous poursuivrons nos efforts pour établir le bilan d'incertitude ultime des étalons asservis sur l'iode grâce à une meilleure compréhension des facteurs qui y contribuent.

Le système à peigne du BIPM a aussi été utilisé pour effectuer des mesures directes de fréquence des systèmes à fréquence double du BIPM asservis sur le Nd:YAG, qui sont une des pierres angulaires du réseau mondial d'étalons de ce type conservés par les différents laboratoires nationaux de métrologie. Certains de ces lasers ont été soumis à des déterminations absolues de fréquence au moyen d'autres peignes, et leurs résultats ont été publiés.

Un second système à peigne du BIPM, portable, a été récemment soumis à des essais et est déjà utilisé couramment pour les comparaisons de peignes et les mesures absolues de fréquence. Nous avons pu exploiter notre aptitude à effectuer des mesures simultanées de fréquence d'un même laser avec deux peignes pour vérifier les performances de la technique des peignes en général et des systèmes à peigne du BIPM en particulier. Nous pouvons ainsi dire que la première comparaison internationale de peignes a confirmé que ces systèmes peuvent offrir une exactitude à un niveau meilleur que un hertz, ce qui nous place en bonne position pour poursuivre notre détermination des caractéristiques des deux systèmes à peigne du BIPM. En effectuant ces mesures à un niveau meilleur que un hertz, nous avons aussi bénéficié de la présence au BIPM du tout nouveau système à peigne portable de l'East China Normal University (ECNU), à Shanghai, ce qui nous a permis d'effectuer des mesures avec trois systèmes à peigne. Une comparaison de peignes similaire entre le BIPM, l'ECNU et le NIST a été effectuée en juin 2003 dans les laboratoires du NIST à Boulder.

Les expériences utilisant les peignes sont contrôlées par un programme LabView qui pilote les compteurs, établit le seuil à partir duquel on peut éliminer les résultats aberrants, et effectue les calculs pour l'estimation du nombre entier correct  $N$  et de la fréquence. Un fichier HTML est produit à des fins d'archivage et pour des vérifications du programme en utilisant des données externes.

Enfin, nous avons mis au point une nouvelle méthode pour déterminer de manière absolue le rang des composantes de peignes laser à impulsions femtosecondes asservis en mode bloqué, à partir duquel il n'est pas nécessaire de connaître a priori la fréquence du laser. Il est alors inutile d'effectuer des mesures complémentaires de longueur d'onde au moyen d'ondemètres et les mesures absolues sont simplifiées.

## 2.2 Lasers asservis

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

Le but de ce travail est toujours d'effectuer des mesures absolues de fréquence du laser asservi sur le méthane du BIPM, au moyen du système à peigne. Une fois que nous y serons parvenus, nous pourrons offrir aux laboratoires nationaux de métrologie l'opportunité d'effectuer une comparaison. L'importance de ce système laser diminue toutefois, parce que de nombreux laboratoires nationaux de métrologie ont cessé de maintenir les chaînes de fréquence complexes nécessaires pour relier les radiations optiques (mètre) aux radiations micro-ondes (horloge atomique), pour lesquelles le laser asservi sur le méthane constitue un point de référence bien établi. Nous avons néanmoins l'intention d'effectuer des mesures absolues de fréquence pour vérifier les précédentes mesures et mettre en avant les techniques de mesure à peigne et infrarouge qui peuvent être appliquées aux lasers dans le proche infrarouge, et qui intéressent l'industrie des télécommunications.

Les principales activités en 2002-2003 ont donc concerné la remise en service des lasers du BIPM et la préparation des mesures absolues de fréquence.

Pour préparer les lasers, nous avons eu besoin de remplacer certains composants internes, et plusieurs cuves à méthane à incidence de Brewster modifiées seront ainsi remplies au moyen d'un four à température programmable, que l'on peut aussi utiliser pour la réalisation des tubes laser.

Le tube à He-Ne du laser hétérodyne associé à notre laser de référence (BIDM1) a eu besoin d'être remplacé et, comme nous n'avions pas de tube d'avance, nous avons modifié d'anciens tubes conçus à l'origine pour les radiations dans le visible. Cela a nécessité l'étude et la conception d'une nouvelle structure mécanique par l'atelier du BIPM. Nous avons ainsi obtenu

une source plus puissante qui, nous l'espérons, permettra d'effectuer plus facilement la liaison entre BIDM1 et le générateur de peigne du BIPM.

La radiation infrarouge du laboratoire des lasers asservis sur le méthane est propagée jusqu'au générateur de peigne du BIPM grâce à une fibre optique de forme spéciale. Celle-ci a été conçue pour la transmission de la radiation d'un laser à He-Ne à  $3,39\ \mu\text{m}$ , mais elle est aussi transparente pour les radiations dans le visible, afin de faciliter les alignements optiques préliminaires. Une première série d'expériences a déjà démontré la faisabilité de la liaison par fibre optique.

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

Bien qu'un certain nombre de laboratoires nationaux de métrologie continuent à être intéressés par des comparaisons de lasers à diode asservis sur le rubidium à  $\lambda \approx 778\ \text{nm}$ , il a été mis fin, avec regret, à ce projet en raison de l'établissement de nouvelles priorités et suite à la décision prise par le CIPM en 2002 de réduire les activités de la section des longueurs du BIPM.

#### 2.2.3 Lasers à He-Ne asservis sur l'iode à $\lambda \approx 633\ \text{nm}$ (M. Zucco)

Nous continuons à maintenir un laser de référence à cette longueur d'onde et à contrôler ses performances au moyen de mesures absolues de fréquence régulières.

#### 2.2.4 Lasers à Nd:YAG asservis sur l'iode à $\lambda \approx 532\ \text{nm}$ (L.-S. Ma, S. Picard\*, L. Robertsson et M. Zucco)

Un système portable à Nd:YAG a été mis au point. Sa stabilité à court terme est de  $5 \times 10^{-14}$  en valeur relative pour une durée de 1 s ; le palier de scintillation est de  $5 \times 10^{-15}$  en valeur relative et est atteint pour une durée de moyenne de 100 s. En raison de leur grande stabilité et de l'absence de modulation de fréquence, les lasers à Nd:YAG fournissent de bonnes radiations d'essai pour les comparaisons de peignes. Ce système portable a donc été utilisé pour la première comparaison de peignes au BIPM (voir

---

\* Jusqu'en avril 2003, date à laquelle elle a rejoint la section des rayonnements ionisants.

Section 2.1). En dehors de cette utilisation, ils peuvent aussi servir de référence pour le système à peigne parce qu'ils présentent l'avantage d'offrir une stabilité à court terme meilleure que celle que l'on peut obtenir, par exemple, avec des masers à hydrogène. Cette caractéristique pourrait devenir importante pour les comparaisons horaires futures.

### 2.3 Cuves à iode (S. Picard\*, M. Zucco ; J. Labot)

L'activité de remplissage des cuves à iode se poursuit au BIPM et ce service est offert, moyennant paiement, aux laboratoires nationaux de métrologie et aux autres clients. Ce système a été automatisé l'an passé et des procédures qualité, ainsi que des procédures de diagnostic, ont été rédigées. Des notices d'information sur les possibilités du BIPM ont été envoyées aux laboratoires nationaux de métrologie et autres.

### 2.4 Gravimétrie (L.F. Vitouchkine et Z. Jiang)

Le rapport final de la sixième comparaison internationale de gravimètres absolus (ICAG-2001) a été préparé et publié dans un numéro spécial de *Metrologia* [39(5)]. Les résultats définitifs de la comparaison ICAG-2001 comprennent les valeurs de l'accélération en chute libre pour quatre sites du réseau gravimétrique du BIPM et les résultats individuels de mesure de chaque gravimètre absolu. Pour la première fois, nous avons procédé à un ajustement combinant les valeurs des mesures absolues et relatives, au moyen du programme « adjG » du BIPM. Des conclusions importantes ont été tirées des résultats ; elles seront prises en compte pour l'organisation de la prochaine comparaison internationale de gravimètres absolus en 2005.

La première réunion du Groupe de travail du CCM sur la gravimétrie a été organisée le 28 octobre 2002 à Münsbach (Luxembourg).

---

\* Jusqu'en avril 2003, date à laquelle elle a rejoint la section des rayonnements ionisants.

## 2.5 **Méetrologie dimensionnelle : lasers à l'état solide, pompés par diode asservis sur l'iode, pour la méetrologie dimensionnelle et la gravimétrie absolue** (L.F. Vitouchkine et O.A. Orlov\*)

L'ILP SOI (Saint-Pétersbourg, Fédération de Russie) et le BIPM ont continué à apporter des améliorations au laser compact à l'état solide, à Nd:YVO<sub>4</sub>/KTP à 532 nm, pompé par diode et asservi sur l'iode, asservi au moyen de la technique de détection du troisième harmonique. D'autres études sur ce laser amélioré ont été effectuées au BIPM, et on a obtenu une stabilité relative de fréquence de  $2 \times 10^{-13}$  et de  $4 \times 10^{-14}$  pour des durées de 10 s et 1 000 s, respectivement. Le premier essai du laser à Nd:YVO<sub>4</sub>/KTP asservi sur l'iode, sans modulation, a été réalisé avec succès.

Une nouvelle tête laser compacte à Yb:KGdW/KTP a été mise au point (à l'ILP SOI, en coopération avec le BIPM) et l'on a obtenu une radiation monomode à la longueur d'onde de 515 nm (puissance laser 5 mW) lors de la première expérience réalisée avec M. O. Orlov à l'ILP SOI.

Ces lasers seront utilisés comme dispositifs pratiques de mesure des distances pour la balance du watt du BIPM et le condensateur calculable, et pour apporter des améliorations au gravimétre absolu du BIPM.

## 2.6 **Transfert de technologie**

La section a organisé avec succès un atelier international sur la technologie des peignes les 13 et 14 mars 2003. Certains participants avaient aussi apporté leurs lasers pour des mesures absolues de fréquence. Cet atelier, qui comptait une cinquantaine de participants, a été centré sur des questions pratiques liées à la technologie des peignes et à la fabrication de systèmes fiables.

## 2.7 **Publications, conférences et voyages : section des longueurs**

### 2.7.1 Publications extérieures

1. Gubin M., Kovalchuk E., Petrukhin E., Shelkovnikov A., Tyurikov D., Gamidov R., Erdogan Ch., Sahin E., Felder R., Gill P., Lea S., Kramer G., Lipphardt B., Absolute frequency measurements with a set of transportable He-Ne/CH<sub>4</sub> OFS and prospects for future design and

---

\* ILP SOI, Saint-Pétersbourg (Fédération de Russie).

- applications, *Proc. 6th Symp. Freq. Stand. Metrol.* (St Andrews, Royaume-Uni), 2002, 453-460.
2. Ma L.-S., Robertsson L., Picard S., Chartier J.-M., Karlsson H., Prieto E., Ranka J.K., Windeler R.S., The BIPM laser standards at 633 nm and 532 nm simultaneously linked to the SI second using a femtosecond laser in an optical clock configuration, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 2003, **52**, 232-235.
  3. Onae A., Okumura K., Sugiyama K., Hong F.-L., Matsumoto H., Nakagawa K., Felder R., Acef O., Optical frequency standard at 1.5  $\mu\text{m}$  based on doppler-free acetylene absorption, *Proc. 6th Symp. Freq. Stand. Metrol.* (St Andrews, Royaume-Uni), 2002, 445-452.
  4. Picard S., Robertsson L., Ma L.-S., Millerioux Y., Juncar P., Wallerand J.-P., Balling P., Křen P., Nyholm K., Merimaa M., Ahola T.E., Hong F.-L., Results from international comparisons at the BIPM providing a world-wide reference network of  $^{127}\text{I}_2$  stabilized frequency-doubled Nd:YAG lasers, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 2003, **52**, 236-239.
  5. Picard S., Robertsson L., Ma L.-S., Nyholm K., Merimaa M., Ahola T.E., Balling P., Křen P., Wallerand J.-P., Comparison of  $^{127}\text{I}_2$ -stabilized frequency-doubled Nd:YAG lasers at the Bureau International des Poids et Mesures, *Appl. Opt.*, 2003, **42**, 1019-1028.
  6. Quinn T.J., International Report: Practical realization of the definition of the metre, including recommended radiations of other optical frequency standards (2001), *Metrologia*, 2003, **40**, 103-133.
  7. Vitushkin L., Becker M., Jiang Z., Francis O., van Dam T.M., Faller J., Chartier J.-M., Amalvict M., Bonvalot S., Debeglia N., Desogus S., Diamant M., Dupont F., Falk R., Gabalda G., Gagnon C.G.L., Gattacceca T., Germak A., Hinderer J., Jamet O., Jeffries G., Kähler R., Kopaev A., Miard J., Lindau A., Longuevergne L., Luck B., Maderal E.N., Mäkinen J., Meurers B., Mizushima S., Mrlina J., Newell D., Origlia C., Pujol E.R., Reinhold A., Richard Ph., Robinson I.A., Ruess D., Thies S., Van Camp M., Van Ruymbeke M., de Villalta Compagni M.F., Williams S., Results of the Sixth International Comparison of Absolute Gravimeters, ICAG 2001, *Metrologia*, 2002, **39**, 407-424.
  8. Ye J., Peng J.-L., Jones J., Holman K.W., Hall J.L., Jones D.J., Diddams S.A., Klitching J., Bize S., Bergquist J.C., Hollberg L., Robertsson L., Ma L.-S., Delivery of high-stability optical and

microwave frequency standards over an optical fiber network, *J. Opt. Soc. Am.*, 2003, **20**, 1459-1467.

## 2.7.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

A.J. Wallard s'est rendu à :

- San Diego (États-Unis), du 15 au 31 août 2002, pour le discours d'ouverture de la conférence annuelle de la National Conference of Standards Laboratories International ;
- Stockholm (Suède), le 28 septembre 2002, pour une réunion du JCDCMAS ;
- Hanoi (Viet Nam), du 11 au 15 novembre 2002, pour l'assemblée générale de l'Asia/Pacific Metrology Programme ;
- Londres (Royaume-Uni), le 12 décembre 2002 et le 15 mars 2003, pour des réunions de la Physical Society ; les 4 juillet 2002, 17 octobre 2002, 17 décembre 2002 et 23 janvier 2003, pour l'Institute of Physics Council and President's Committee ; les 16 octobre 2002, 5 mars 2003 et 25 juin 2003 à l'IOP Membership and Qualifications Board ; et le 20 février 2003 à l'IOP Chartered Physicist Committee ;
- Rotterdam (Pays-Bas), les 16 et 17 décembre 2002, pour une réunion du projet « MERA » de l'Union européenne ;
- San Diego (États-Unis), du 17 au 21 janvier 2003, pour une réunion du bureau de la National Conference of Standards Laboratories International ;
- Aberystwyth (Royaume-Uni), les 17 et 18 février 2003 pour le Departmental Meeting of the University of Wales Physics Committee ;
- Turin (Italie), le 12 mars 2003 et le 16 avril 2003, pour le conseil scientifique de l'Istituto Elettrotecnico Galileo Ferraris ;
- La Haye (Pays-Bas), le 19 mars 2003, pour un exposé à l'assemblée générale d'EUROLAB ;
- Édimbourg (Royaume-Uni), du 22 au 28 mars 2003, pour le conseil et le congrès de l'Institute of Physics ;
- Evesham (Royaume-Uni), du 4 au 6 avril 2003, pour la réunion annuelle de l'United Kingdom Research Directors "Ilkley" Group ;
- Vienne (Autriche), les 23 et 24 avril 2003, pour une réunion du JCDCMAS ;

- Tokyo et Tsukuba (Japon), du 18 au 22 mai 2003, pour la célébration du centenaire du National Metrology Institute of Japan.

L. Robertsson s'est rendu au JILA et au NIST (États-Unis), du 10 au 29 juin 2003.

L.-S. Ma s'est rendu :

- à l'East China Normal University, Shanghai (Chine), du 20 décembre 2002 au 17 janvier 2003 ;
- au JILA et au NIST (États-Unis), du 29 mai au 1<sup>er</sup> septembre 2003.

R. Felder s'est rendu :

- chez Fichou, Fresnes (France), le 29 octobre 2002, pour des discussions techniques sur la réalisation pratique de tubes laser à He-Ne ;
- au CNRS, Verrières (France), le 2 avril 2003, pour des discussions techniques sur la réalisation pratique de tubes laser et une collaboration future.

L. Vitouchkine s'est rendu à :

- Münsbach (Luxembourg), du 28 au 30 octobre 2002, pour assister à l'atelier Instrumentation and Metrology in Gravimetry (IMG-2002) ;
- Saint-Petersbourg (Fédération de Russie), du 10 au 14 mars 2003, pour participer aux essais du nouveau système électronique du laser de l'ILP SOI ;
- Moscou (Fédération de Russie), du 27 au 30 avril 2003, pour participer à une réunion avec le vice-président du Gosstandart et visiter le VNIIMS ;
- Moscou et Saint-Petersbourg (Fédération de Russie), du 16 au 20 juin 2003, pour assister à une réunion sur la gravimétrie du comité technique du Gosstandart et de l'Académie de métrologie de Russie, et pour participer aux essais d'un laser à 515 nm à l'ILP SOI.

## **2.8 Activités liées au travail des Comités consultatifs**

A.J. Wallard est secrétaire exécutif du CCL.

## **2.9 Visiteurs de la section des longueurs**

- M. P. Plombin (Ets. Dumas, Noizay, France), le 18 octobre 2002 et le 21 mai 2003.
- M. M.P. Sassi (IMGC), le 23 octobre 2002.

- M. O.A. Orlov (ILP SOI, Saint-Pétersbourg), octobre-décembre 2002.
- M. Yan Xiaoke (NIM), le 27 novembre 2002.
- M. S. van den Berg (NMI), du 2 au 6 décembre 2002.
- MM. V. Augevicuis et M. El Gourdou (BNM-INM), le 16 décembre 2002.
- M. C. Salomon (ENS), le 18 décembre 2002.
- MM. F. Nez et O. Arnoult (Université de Jussieu, Paris, France) et M. A. Amy-Klein (LPL), le 19 mars 2003.
- MM. S. Thies et P. Fuchs (METAS), le 26 mars 2003.
- M. R. Gamidov (UME), du 3 au 5 mars et le 10 mars 2003.
- Les participants à l'atelier sur le peigne, le 14 mars 2003.
- M. L.B. Okun, Institute of Theoretical and Experimental Physics (Moscou, Fédération de Russie), pour discuter des problèmes relatifs aux unités physiques et aux constantes fondamentales, le 7 mai 2003.

### **3 MASSES ET GRANDEURS APPARENTÉES** (R.S. DAVIS)

#### **3.1 Étalonnages** (R.S. Davis ; J. Coarasa et J. Hostache)

Pendant la période couverte par ce rapport, nous avons émis des certificats pour les prototypes (en platine iridié) n° 70 (Allemagne), n° 35 (France), n° 57 (Inde), n° 72 (République de Corée) et n° 55 (Allemagne). De plus, trois nouveaux prototypes ont été fabriqués par l'atelier du BIPM, étudiés par la section des masses, et distribués comme suit : n° 83 (Singapour), n° 84 (KRISS) et n° 85 (NIST). Ce dernier va être utilisé pour étayer l'expérience de la balance de Watt au NIST. Pour cela, le NIST a demandé au BIPM d'étudier la stabilité de sa masse entre l'air ambiant et le vide.

Le prototype n° 55 a été utilisé comme étalon de transfert dans le projet 509 de l'EUROMET dont le NPL est le laboratoire pilote. De plus, dans ce travail, le NPL a utilisé deux de ses étalons en platine iridié, « A » et n° 651. Ces trois étalons ont été étalonnés au BIPM avant le début du projet de

l'EUROMET et nous les avons à nouveau étalonnés cette année, à la fin du projet.

Les prototypes n<sup>os</sup> 83, 84 et 85 sont des éléments d'une série de cinq prototypes qui ont été commandés il y a quelques années. Les deux éléments restants sont en cours de finition. Il sera alors possible d'attribuer un prototype à la section des masses afin de remplacer le prototype n<sup>o</sup> 67 attribué à la République tchèque il y a quelques années. Nous avons également décidé de fabriquer une série de cinq disques empilables en platine iridiée, dont la masse nominale totale sera de 1,1 kg. Cette série sera utilisée pour l'étalonnage des étalons de 100 g.

Beaucoup de travail supplémentaire a aussi été nécessaire pour maintenir nos propres étalons de travail en platine iridiée. Alors que, dans le passé, nous avons largement utilisé les prototypes n<sup>os</sup> 9 et 31 comme étalons de travail, nous utilisons actuellement le prototype n<sup>o</sup> 63 et l'étalon n<sup>o</sup> 42'. Des mesures successives ont montré que les masses des prototypes n<sup>os</sup> 9 et 31 n'étaient plus suffisamment stables. Ces prototypes ont été nettoyés et lavés. Nous suivons maintenant l'évolution de leur masse.

Des certificats pour des étalons en acier inoxydable de 1 kg ont été établis pour Enterprise Ireland, l'IRMM et le SASO (Royaume d'Arabie Saoudite).

Nous avons continué d'étudier la stabilité de la masse de huit étalons de 1 kg en acier inoxydable qui serviront d'étalons de transfert pour la comparaison clé CCM.M-K4. Les masses de ces huit étalons sont enfin stables.

### 3.2 Détermination de la masse volumique de l'air

(A. Picard et H. Fang)

Le but de cette étude est de réduire l'incertitude sur la masse volumique de l'air utilisée pour la correction de poussée de l'air lors des comparaisons de masse. Elle est la continuité de la comparaison entre les deux méthodes absolues (formule du CIPM-1981/91 et mesure fondée sur des artefacts), car les résultats obtenus l'année dernière montrent une différence d'environ  $8 \times 10^{-5} \text{ kg m}^{-3}$  entre les deux méthodes. Pour identifier si cette différence vient de la formule ou bien de la méthode gravimétrique, des mesures supplémentaires ont été réalisées dans l'air, sous vide et dans l'azote sec. Comme l'année dernière, les artefacts du BIPM et de la PTB ont été employés.

Les différences de masse volumique de l'air obtenues en employant les artefacts du BIPM et de la PTB et en application de la formule du CIPM sont

respectivement de  $7,4 \times 10^{-5} \text{ kg m}^{-3}$  et de  $6,9 \times 10^{-5} \text{ kg m}^{-3}$ . Un bon accord de l'ordre de  $5 \times 10^{-6} \text{ kg m}^{-3}$  a été observé entre les deux paires d'artefacts. Pour les mesures effectuées dans l'azote sec, la différence moyenne entre la méthode gravimétrique et la formule du CIPM\* est de  $-2,3 \times 10^{-5} \text{ kg m}^{-3}$ . Ces résultats confortent l'hypothèse selon laquelle l'exactitude de la détermination de la masse volumique de l'air par application de la formule du CIPM est limitée par l'estimation de sa composition, pour laquelle l'incertitude relative de type B est évaluée à  $6 \times 10^{-5}$ . Nous notons que la formule du CIPM-1981/91 est fondée sur une fraction molaire de l'argon de  $9,17 \times 10^{-3}$ . Si cette fraction molaire était considérée égale à  $9,34 \times 10^{-3}$ , comme déterminée par des travaux plus anciens, la masse volumique de l'air obtenue avec la formule changerait de  $7 \times 10^{-5}$  en valeur relative, ce qui réduit largement la plupart des écarts mentionnés ci-dessus. La redétermination de la concentration de l'argon dans l'air a été suggérée lors de la dernière réunion du CCM en mai 2002 et des travaux sont en cours au sein d'un groupe de travail du CCQM pour résoudre ce problème.

### 3.3 Balance hydrostatique (R.S. Davis et C. Goyon-Taillade)

Cet appareil est utilisé pour déterminer la masse volumique des étalons de masse, et en particulier des nouveaux prototypes fabriqués au BIPM.

Nous avons continué à utiliser l'appareil décrit dans le rapport précédent pour déterminer la masse volumique d'un cylindre en platine iridié. L'étalon de masse volumique est l'eau bidistillée, dont la masse volumique est connue au moyen de la formule CIPM-2001. La différence relative entre un échantillon déterminé avec le nouvel appareil et le précédent est de  $10^{-5}$ . Bien que supérieur à la valeur attendue, cet écart représente une différence de volume inférieure à  $0,5 \text{ mm}^3$  pour un prototype de 1 kg, la conséquence sur la correction de poussée de l'air est donc négligeable.

Au cours du processus de fabrication des prototypes, la masse volumique est maintenant déterminée quand la masse du cylindre en platine iridié excède 1 kg d'environ 20 g. Précédemment, l'excès était approximativement de 100 g. Utiliser un excès plus faible aide à assurer qu'une faible inhomogénéité de masse volumique dans le cylindre aura une conséquence négligeable quand la masse volumique mesurée sera utilisée pour déterminer

---

\* Pour les mesures dans l'azote, la formule du CIPM a été modifiée pour prendre en compte les différences sur les masses molaires et les facteurs de compressibilité.

le volume du prototype terminé. Jusqu'à présent, nous avons déterminé la masse volumique de six cylindres en platine iridié en utilisant le nouvel appareil. Deux d'entre eux ont été déterminés deux fois au cours de leur fabrication. Les masses volumiques obtenues avec un excès de 5 g étaient, en fait, identiques aux valeurs initiales obtenues quand les masses des cylindres étaient de 1 kg plus 20 g.

Nous avons vérifié la linéarité des 100 g d'échelle de la balance en utilisant deux disques de 50 g.

Comme prévu l'année dernière, nous avons amélioré la fiabilité du mécanisme d'échange de masses et amélioré le système électronique utilisé pour commander les moteurs pas à pas.

Il est maintenant prévu de remplacer l'étalon de masse de référence de 1 kg en acier inoxydable utilisé comme référence dans l'air par un étalon de masse en platine iridié. Ceci réduira l'amplitude de la correction de poussée de l'air d'un facteur 2,7.

#### **3.4 Mesure de l'adsorption de vapeur d'eau sur des masses étalons par les méthodes ellipsométrique et gravimétrique (A. Picard et H. Fang)**

Le but de ce travail est d'étudier les effets de sorption de vapeur d'eau sur des masses étalons par les méthodes ellipsométrique et gravimétrique. Le coefficient d'adsorption de vapeur d'eau dans l'air humide et la quantité de vapeur d'eau désorbée lors du passage de l'air au vide ont été déterminées sur les surfaces des masses étalons. Les mesures ont été effectuées en utilisant les deux méthodes sur les mêmes masses en inox, platine iridié et silicium.

Pour chaque matériel, on a employé une paire d'artefacts ayant une grande différence de surface mais un volume identique. Après nettoyage, chaque paire d'artefacts a été d'abord placée dans la balance FB2 pour la détermination gravimétrique et ensuite dans une autre enceinte étanche pour les mesures ellipsométriques. Pour les deux méthodes, le coefficient de sorption a été estimé en modifiant l'humidité relative de l'air. La désorption de vapeur d'eau due au passage air-vide a été déterminée en faisant des cycles entre l'air (50 % d'humidité) et le vide (0,1 Pa).

La méthode gravimétrique est fondée sur les variations de la différence de masse entre les artefacts en fonction des conditions atmosphériques. La méthode ellipsométrique mesure le changement de la polarisation de la

lumière réfléchi sur la surface des artefacts, changement engendré par la sorption de vapeur d'eau. Suite à l'intervention du constructeur de l'ellipsomètre en juin 2002, une erreur sur l'un des signaux ellipsométriques a été détectée et réparée. Celle-ci avait introduit une erreur dans les précédentes déterminations de l'adsorption de vapeur d'eau. Les nouvelles mesures effectuées donnent le même type de courbe de sorption (forme en s) pour les trois matériaux utilisés. L'effet de sorption de vapeur d'eau à différents endroits de la même surface, ainsi que l'effet de nettoyage sur les masses, ont aussi été étudiés par la méthode ellipsométrique. Aucun effet significatif n'a été observé pour les trois matériaux étudiés.

Les résultats obtenus avec les masses en acier inoxydable montrent un bon accord entre les deux méthodes pour le coefficient de sorption dans l'air humide et pour la désorption due au passage air-vide. Quant aux échantillons en platine iridié et en silicium, l'effet de sorption évalué par la méthode gravimétrique est environ deux fois plus important que celui obtenu par la mesure ellipsométrique. Cette différence n'est pas étonnante car l'ellipsométrie est une détermination localisée et indirecte alors que la gravimétrie donne des renseignements globaux et absolus. En effet, la détermination de la couche d'eau adsorbée nécessite un modèle afin d'interpréter les paramètres ellipsométriques. De plus, les surfaces géométriques des artefacts estimées pour comparer les résultats ellipsométriques et gravimétriques sont plus petites que les surfaces vraies ; ceci est dû à la rugosité.

### **3.5 Comparaison entre les étalons de masse en acier inoxydable et en platine iridié (A. Picard et H. Fang)**

Cette étude consiste à comparer la différence de masse entre des étalons de masse de 1 kg en acier inoxydable et en platine iridié dans l'air humide, dans l'azote sec et dans le vide, lesquels ont de grandes différences de volume et de surface.

La poussée de l'air ou bien de l'azote est déterminée en utilisant des artefacts. De plus, l'adsorption de vapeur d'eau du vide à l'air humide est prise en compte en employant le coefficient déterminé par la méthode gravimétrique. La connaissance de l'effet de sorption de vapeur d'eau permet de corriger la masse dans l'air (du montant d'eau adsorbée sur la surface) pour obtenir sa masse dans le vide.

L'accord sur la différence de masse obtenu entre ces trois conditions de pesée est meilleur que 3  $\mu\text{g}$  avec une incertitude-type composée de 1,8  $\mu\text{g}$

dans le vide, 2,1 µg dans l'air et 2,6 µg dans l'azote sec. Ce résultat particulier montre que l'utilisation des artefacts pour la détermination de la poussée de l'air améliore les comparaisons de masse lorsque les volumes des masses comparées sont très différents. Dans le cas où la formule du CIPM est employée pour la correction de poussée de l'air, la différence de masse entre les trois conditions de pesée est d'environ 5 µg avec une incertitude-type composée à peu près dix fois supérieure dans l'air et l'azote sec\*.

### 3.6 Balance de torsion pour la mesure de $G$

(T.J. Quinn, H.V. Parks, C.C. Speake\*\*, A. Picard et R.S. Davis)

La construction de la nouvelle balance de torsion pour la mesure de la constante newtonienne de gravitation,  $G$ , est maintenant terminée ; celle-ci fait l'objet de vérifications. Les résultats sont encourageants et nous pensons que nous serons bientôt capables de mesurer  $G$  avec une incertitude relative proche de  $1 \times 10^{-5}$ . Nous avons observé le signal gravitationnel dans les trois modes de fonctionnement : déflexion libre, asservissement et durée d'oscillation. Le rapport signal sur bruit en modes déflexion libre et asservissement est proche de celui que nous recherchons, mais le niveau de bruit rencontré dans la méthode de mesure de la durée d'oscillation doit encore être réduit. De plus, nous devons poursuivre nos efforts pour réduire les dérives à long terme, caractériser les sources éventuelles d'erreurs systématiques et étalonner correctement tous nos instruments. Nous avons aussi écrit une grande partie du logiciel nécessaire pour piloter l'appareil et analyser les résultats, et nous continuons à y apporter des améliorations. Enfin, nous avons commencé à modéliser les interactions gravitationnelles entre les distributions étendues de la source et des masses d'essai. Nous espérons que l'appareil sera entièrement opérationnel et capable d'effectuer des mesures à l'automne 2003, et que les mesures seront terminées à la fin de l'année.

### 3.7 Générateur d'humidité (A. Picard, H. Fang et D. Nyamba\*\*\*)

La détermination de la masse volumique de l'air humide en appliquant la formule du CIPM-1981/91 nécessite la mesure de paramètres ambiants

---

\* Pour les mesures dans l'azote, la formule du CIPM a été modifiée pour tenir compte des différences de masse molaire et de facteur de compressibilité.

\*\* Chercheur invité, université de Birmingham (Royaume-Uni).

\*\*\* Étudiant de l'ESM de Douai (France).

comme la température, la pression, l'humidité relative et la fraction molaire de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>). L'humidité est certainement le paramètre le plus difficile à mesurer au niveau d'exactitude requis. Pour étalonner avec précision les instruments utilisés au BIPM pour la mesure de la température de rosée ou bien de l'humidité relative, nous avons entrepris cette année de mettre au point un générateur d'humidité. Le générateur est composé de deux saturateurs d'humidité placés dans deux bains thermorégulés. La température de rosée désirée est obtenue en ajustant la température de l'air dans les saturateurs. La gamme de la température de rosée sera de 5 °C à 15 °C et l'incertitude espérée devrait être inférieure à 0,1 °C. La construction a commencé et l'achèvement de ce travail permettra de vérifier rapidement les instruments du BIPM lorsque le réétalonnage complet n'est pas nécessaire.

### 3.8 Balance du watt (Équipe sur la balance du watt)\*

Le CIPM a recommandé en 2002 que le BIPM envisage un projet de balance du watt, en vue de contrôler la stabilité du prototype international du kilogramme. Cette année a été principalement consacrée à l'étude des différents projets choisis par les spécialistes de ce domaine, et à l'évaluation de nos propres concepts de balance du watt cryogénique. Nous pensons qu'il devrait être possible de contrôler étroitement la température d'un aimant conventionnel refroidi à la température cryogénique, et donc de réduire au minimum l'influence du coefficient thermique dans les aimants en lanthanides. Bien sûr, de nombreux problèmes nouveaux – et quelques possibilités – doivent être étudiés.

Une bobine de fil supraconducteur pourrait être suspendue à une balance fonctionnant à la température ambiante. L'ensemble serait placé sous vide. Il serait alors possible de mesurer la force et la tension simultanément sur la même bobine, supraconductrice, en mouvement. Les mécanismes de perte associés aux courants en mouvement et au flux piégé doivent être bien compris avant de poursuivre dans cette voie.

Alors que nous savons que les pesées dans le vide fonctionnent bien, les pesées dans le vide effectuées avec la balance à la température ambiante et la masse suspendue à la température cryogénique doivent faire l'objet d'essais.

---

\* L'équipe sur la balance du watt comprend : T.J. Quinn ; R.S. Davis, H. Fang et A. Picard (section des masses) ; T.J. Witt, F. Delahaye et D. Reymann (section d'électricité) ; M. Stock et S. Solve (section de photométrie) ; L. Vitouchkine (section des longueurs).

Nous espérons faire une étude de faisabilité à la température ambiante l'année prochaine de l'idée la plus novatrice, c'est-à-dire de mesurer en même temps la tension électrique et la force sur une même bobine.

### **3.9 Pression (A. Picard)**

Des étalonnages de jauges de pression par rapport au manobaromètre du BIPM ont été effectués tous les trois mois, comme services rendus aux sections techniques du BIPM.

### **3.10 Propriétés magnétiques des étalons de masse (R.S. Davis)**

À la demande du secrétariat de l'OIML concernant la Recommandation R111, et en collaboration avec M. Gläser (PTB), nous avons étudié plusieurs procédures susceptibles d'être utilisées pour vérifier l'aimantation permanente des étalons de masse. Ce travail fait naturellement suite à la mise au point du « susceptomètre du BIPM » et vient en complément.

### **3.11 Publications, conférences et voyages : section des masses**

#### **3.11.1 Publications extérieures**

1. Kenny M.J., De Bièvre P., Picard A., A web-based database for the international programme to improve the Avogadro constant along the silicon route, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 2003, **52**, 641-645.
2. Picard A., Fang H., Methods to determine the density of moist air, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 2003, **52**, 504-507.
3. Davis R., Magnetization of mass standards as determined by gaussmeters, magnetometers and susceptometers, *Proc. XVII IMEKO World Congress, Metrology in the 3rd Millenium*, 2003, 286-289.

#### **3.11.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)**

R.S. Davis s'est rendu :

- au SMU, Bratislava (Slovaquie), du 26 au 28 août 2002, invité par le SNAS pour le contrôle qualité des programmes du SMU dans le domaine des masses ;

- à Feltham (Royaume-Uni), du 23 au 25 septembre 2002, pour assister à un cours de formation pour les contrôleurs de qualité de l'UKAS ;
- au DFM, Lyngby (Danemark), le 3 octobre 2002, invité par le DANAK pour le contrôle qualité des programmes du DFM dans le domaine des masses ;
- à Groningen (Pays-Bas), le 11 mai 2003, pour assister à une réunion du Groupe de travail du CCM sur les mesures de débit de fluides ;
- à Dubrovnik/Cavtat (Croatie), le 20 juin 2003, pour assister à une réunion des présidents des groupes de travail du CCM ; du 23 au 26 juin 2003, pour assister à l'IMEKO XVII World Congress et pour une présentation intitulée « Magnetization of mass standards as determined by gaussmeters, magnetometers and susceptometers ».

A. Picard s'est rendu au :

- BNM-LNE, Paris (France), le 14 janvier 2003, pour visiter le laboratoire des masses (accompagné de R.S. Davis) ;
- METAS, Wabern (Suisse), le 21 février 2003, pour voir la balance du watt du METAS et discuter avec l'équipe chargée de la balance du watt (accompagné de R.S. Davis et de M. Stock) ; du 24 au 28 février 2003, pour assister à la réunion des personnes chargées des relations dans le domaine des masses au sein de l'EUROMET ;
- NPL, Teddington (Royaume-Uni), les 3 et 4 juin 2003, pour transporter quatre étalons de masse (deux paires d'artefacts pour la mesure de la poussée de l'air et deux étalons de masse en platine iridié) et pour rapporter au BIPM la balance de pression Ruska 2465 utilisée pour la comparaison clé CCM.P-K2. De plus, la visite a été complétée par des discussions avec M. I. Robinson sur la balance du watt du NPL et avec M. S. Downes sur les effets de surface sur le silicium (accompagné de M. Stock).

H.V. Parks s'est rendu :

- à la PTB, Braunschweig (Allemagne), le 10 février 2003, pour discuter de l'étalonnage d'un nouvel autocollimateur ;
- au NIST/JILA, Boulder (États-Unis), du 15 au 23 février 2003, pour travailler en collaboration avec M. J. Faller.

T.J. Quinn s'est rendu à l'Observatoire de Paris, Meudon (France), le 6 mai 2003, pour un exposé sur la mesure de  $G$  au BIPM.

### 3.12 Activités liées au travail des Comités consultatifs

R.S. Davis est secrétaire exécutif du CCM et du Groupe de travail *ad hoc* sur la viscosité.

A. Picard maintient un site Web, créé en septembre 2001 au BIPM, pour faciliter les activités du Groupe de travail du CCM sur la constante d'Avogadro.

### 3.13 Visiteurs de la section des masses

- M. S. Peyton (Enterprise Ireland), les 21 et 22 octobre 2002.
- M. J.-P. Mbelek (CEA, Saclay, France), le 23 octobre 2002.
- M. F.-Y. Yang (CMS/ITRI), le 31 octobre 2002.
- M. G. Genevès (BNM), le 16 janvier 2003.
- M. J.E. Martin (NPL), le 7 février 2003.
- MM. S. Thies et P. Fuchs (METAS), le 26 mars 2003.
- MM. F. Aviles et F. Hernandez (CENAM), le 6 mai 2003.
- M. J.D. Wright (NIST), le 19 mai 2003.

### 3.14 Stagiaires et chercheurs invités

- MM. S.M. Lee et G.Y. Lim (SPRING Singapore), du 24 au 28 février 2003.
- M. M. Kenny (NML-CSIRO), du 14 avril au 2 mai 2003, et du 22 juin au 11 juillet 2003.
- M. D. Nyamba (ESM, Douai, France), du 26 mai au 24 octobre 2003.

## 4 TEMPS (E.F. ARIAS)

### 4.1 Temps atomique international (TAI) et Temps universel coordonné (UTC) (E.F. Arias, J. Azoubib, Z. Jiang, W. Lewandowski, G. Petit et P. Wolf ; H. Konaté, P. Moussay\*, M. Thomas et L. Tisserand)

Les échelles de temps de référence TAI et UTC ont été régulièrement établies à partir des données fournies au BIPM par les laboratoires horaires qui maintiennent des réalisations locales de l'UTC, et publiées chaque mois dans la *Circulaire T*. Depuis mai 2003, la *Circulaire T* donne les échelles de temps au dixième de nanoseconde ; des informations sur les liaisons horaires utilisées chaque mois pour les calculs sont publiées dans un nouveau tableau. Le *Rapport annuel de la section du temps du BIPM (2002)*, volume 15, complété par des fichiers informatiques accessibles par le réseau Internet sur le site du BIPM, donne les résultats définitifs de l'année 2002.

### 4.2 Algorithmes pour les échelles de temps (J. Azoubib, L. Lewandowski, G. Petit et P. Wolf)

L'algorithme utilisé pour le calcul des échelles de temps est un processus itératif qui produit tout d'abord l'échelle atomique libre (EAL) dont le TAI est dérivé. Le travail de recherche sur les algorithmes utilisés pour établir les échelles de temps effectué à la section du temps a pour but d'améliorer la stabilité à long terme de l'EAL et l'exactitude du TAI.

#### 4.2.1 Stabilité de l'EAL

Environ 84 % des horloges actuellement en service sont des horloges à césium du commerce du type HP 5071A et des masers à hydrogène auto-asservis actifs. Depuis janvier 2001, conformément au rapport soumis au Groupe de travail du CCTF sur le TAI, nous avons commencé à améliorer la manière de fixer le poids relatif maximal des horloges pour le calcul du TAI. L'étape finale de ce processus, qui consiste à fixer le poids relatif maximal des horloges à  $2,5/N$ , où  $N$  est le nombre total d'horloges participant au TAI, est mise en œuvre depuis juillet 2002. Un tel choix du poids relatif maximal

---

\* Jusqu'au 31 janvier 2003, date à laquelle il a rejoint la section de chimie.

engendre une meilleure discrimination entre les horloges et améliore la stabilité de l'échelle de temps ainsi calculée. Nous pouvons donc espérer une amélioration de la stabilité de l'EAL dans un proche avenir.

Les études sur les algorithmes utilisés pour le calcul du TAI se poursuivent. Un estimateur du niveau de fiabilité atteint en assignant une valeur donnée à la limite supérieure du poids des horloges a été proposé. Il peut aider à définir un schéma de pondération optimal.

La stabilité à moyen terme de l'EAL, exprimée au moyen de l'écart-type d'Allan relatif, est estimée à  $0,6 \times 10^{-15}$  pour des durées moyennes de vingt à quarante jours, sur la période s'étalant de janvier 1999 à juin 2003.

#### 4.2.2 Exactitude du TAI

L'exactitude du TAI est caractérisée par l'estimation de la différence relative, et de son incertitude, entre la durée de l'intervalle d'échelle de temps du TAI et la seconde du SI telle qu'elle est produite, sur le géoïde en rotation, par les étalons primaires de fréquence. Depuis août 2002, neuf étalons primaires de fréquence ont délivré des mesures ponctuelles de la fréquence du TAI, dont cinq fontaines à césium (IEN-CSF1, NIST-F1, PTB CSF1, SYRTE-FOM et SYRTE-FO2). Des rapports sur l'utilisation des données des étalons primaires de fréquence sont publiés dans le *Rapport annuel de la section du temps du BIPM* depuis le début de l'année 2002.

Le traitement global des mesures individuelles conduit à des différences relatives entre la durée de l'intervalle d'échelle du TAI et la seconde du SI sur le géoïde en rotation allant, depuis août 2002, de  $+0,6 \times 10^{-14}$  à  $+1,0 \times 10^{-14}$ , avec une incertitude-type de  $0,2 \times 10^{-14}$ .

Des études sont en cours pour mieux déterminer l'exactitude du TAI et optimiser la contribution des différents étalons primaires de fréquence.

#### 4.2.3 Échelles de temps atomique indépendantes

Le personnel du BIPM a participé à l'organisation et à l'élaboration de l'échelle de temps atomique indépendante de la Pologne TA(PL). Un programme spécialement conçu pour un nombre restreint d'horloges a été mis au point. Pour une durée moyenne d'environ un mois, la stabilité de TA(PL) est d'environ  $4 \times 10^{-15}$ .

#### 4.3 **Liaisons horaires** (J. Azoubib, Z. Jiang, W. Lewandowski, G. Petit et P. Wolf ; H. Konaté, P. Moussay\* et M. Thomas)

La section du temps du BIPM organise le réseau international de liaisons horaires. Deux techniques sont actuellement utilisées pour les comparaisons horaires du TAI : la méthode des observations simultanées des satellites du GPS et les comparaisons de temps et de fréquences par aller-retour sur satellite (TWSTFT). Maintenant, 52 % des liaisons sont réalisées au moyen de la méthode classique des observations simultanées des satellites du GPS utilisant des récepteurs à un seul canal et des mesures du code C/A ; environ 23 % des liaisons sont réalisées au moyen d'observations, effectuées avec des récepteurs à canaux multiples, utilisant l'un ou l'autre code et les deux systèmes GPS et GLONASS, ce qui améliore l'exactitude des comparaisons d'horloges. Les comparaisons de temps par aller et retour sur satellite représentent 17 % des liaisons prises en compte dans le calcul du TAI.

Une expérience pilote a débuté, visant à évaluer l'application aux liaisons horaires du TAI de mesures du code P porté par les deux fréquences du signal du GPS en utilisant des récepteurs géodésiques. De plus, la section du temps du BIPM continue à étudier les autres méthodes de comparaison de temps et de fréquence, comme par exemple celles utilisant les mesures de phase.

##### 4.3.1 Mesures utilisant le code du Global Positioning System (GPS) et du Global Navigation Satellite System (GLONASS)

###### *i) Activités courantes*

Le BIPM publie, dans sa *Circulaire T* mensuelle, une évaluation des différences de temps quotidiennes [ $UTC - \text{temps du GPS}$ ] et [ $UTC - \text{temps du GLONASS}$ ] et des programmes internationaux de vues simultanées du GPS et du GLONASS. Le réseau international de liaisons par le GPS utilisé par le BIPM est constitué par des réseaux locaux à l'échelle des continents. Pour toutes les liaisons par le GPS, les données sont corrigées pour tenir compte des mesures ionosphériques de l'International GPS Service (IGS), et des positions des satellites déduites des éphémérides précises des satellites, calculées après coup par l'IGS.

---

\* Jusqu'au 31 janvier 2003, date à laquelle il a rejoint la section de chimie.

*ii) Détermination des retards différentiels entre les récepteurs du GPS ou du GLONASS*

Une partie de nos activités consiste encore à vérifier les retards différentiels entre les récepteurs du GPS fonctionnant de manière continue dans les laboratoires qui participent au TAI.

*iii) Normalisation des récepteurs du GPS et du GLONASS*

Le personnel de la section du temps du BIPM continue à participer activement aux activités du Groupe de travail du CCTF sur la normalisation des comparaisons d'horloges utilisant les systèmes de navigation par satellite à couverture globale (CGGTTS). Il contribue à l'élaboration de directives techniques destinées aux fabricants de récepteurs du temps de systèmes de navigation par satellite à couverture globale. Un membre du personnel du BIPM assure le secrétariat de ce groupe.

*iv) Liaisons horaires utilisant des récepteurs à canaux multiples du GPS*

Douze liaisons horaires utilisant des récepteurs du GPS à canaux multiples sont utilisées pour le calcul du TAI.

*v) Corrections ionosphériques estimées par l'IGS*

Les paramètres ionosphériques estimés par l'IGS sont couramment utilisés pour corriger les retards ionosphériques pour le calcul du TAI dans toutes les liaisons réalisées à l'aide de récepteurs du GPS. Une étude est en cours sur les corrélations éventuelles entre les paramètres ionosphériques et les variations apparentes des retards des récepteurs double-fréquence.

#### 4.3.2 Mesures de phase et de code des récepteurs géodésiques

Nous vous rappelons que les comparaisons de temps et de fréquences utilisant le GPS et le GLONASS peuvent être effectuées par des mesures de code, mais aussi par des mesures de la phase des porteuses aux deux fréquences émises. Cette technique, déjà couramment utilisée par la communauté des géodésistes, peut être adaptée aux besoins des comparaisons de temps et de fréquences.

Les études fondées sur le récepteur du GPS Ashtech Z12-T et sur le récepteur GPS/GLONASS Javad Legacy en service au BIPM se poursuivent. Le récepteur Javad sert de référence pour comparer le récepteur Z12-T au BIPM. La méthode mise au point pour effectuer l'étalonnage absolu des retards du récepteur Z12-T nous permet de l'utiliser pour des étalonnages

différentiels de récepteurs similaires. Les campagnes d'étalonnages différentiels de tous les récepteurs similaires en fonctionnement dans des laboratoires de temps du monde entier, qui ont débuté en janvier 2001, se poursuivent. En juin 2003, vingt étalonnages de ce type avaient été effectués pour dix-huit récepteurs. Nous prévoyons d'utiliser les données de tels récepteurs de type géodésique pour les liaisons horaires servant au calcul du TAI, et une expérience pilote a débuté, utilisant des procédures et un logiciel mis au point en collaboration avec l'Observatoire royal de Belgique. Douze laboratoires fournissent régulièrement ces données en juin 2003. Ces études s'effectuent dans le cadre du projet pilote IGS/BIPM visant à effectuer des comparaisons exactes de temps et de fréquence utilisant des mesures de phase et de code du GPS. Ces activités ont été transférées à un nouveau groupe de travail de l'IGS sur les produits horaires.

Un des récepteurs 3S Navigation en service au BIPM est utilisé à la collecte automatisée de données pour l'International GLONASS Service Pilot Project (IGLOS-PP), sous les auspices de l'IGS, projet auquel le BIPM participe. Le but de ce projet est, entre autres, de produire après coup des éphémérides précises des satellites du GLONASS.

#### 4.3.3 Comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite

Deux réunions sur les comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite ont eu lieu depuis octobre 2002. Le BIPM effectue la collecte des résultats de comparaisons d'horloges par aller et retour de douze stations en activité et traite certaines liaisons. Neuf liaisons par aller et retour ont été introduites dans le calcul du TAI, et d'autres se préparent à l'être. Le BIPM participe aussi à l'étalonnage de liaisons horaires par aller et retour sur satellite par comparaison avec le GPS. La section du temps du BIPM continue à produire des rapports sur les comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite et un membre du personnel du BIPM assure le secrétariat du Groupe de travail du CCTF sur les comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite.

#### 4.3.4 Incertitudes sur les liaisons horaires du TAI

Des études ont été entreprises pour évaluer les incertitudes de types A et B affectant les liaisons horaires effectuées à l'aide du GPS, en vue de leur publication dans la *Circulaire T*. En raison principalement d'un manque d'étalonnages appropriés, les incertitudes de type B sur les liaisons horaires

du GPS peuvent atteindre plusieurs dizaines de nanosecondes. Ceci met en évidence le besoin pressant d'étalonner les liaisons horaires pour le calcul du TAI.

#### 4.4 Pulsars (G. Petit)

Les pulsars-milliseconde pouvant fournir un moyen de contrôler la stabilité à très long terme du temps atomique, nous poursuivons notre collaboration avec différents groupes de radio-astronomes qui font des observations de pulsars et en analysent les résultats. La section du temps a fourni à ces groupes sa réalisation en temps différé du temps terrestre. Nous continuons à collaborer avec l'Observatoire Midi-Pyrénées (OMP), à Toulouse, au traitement des données issues d'un programme d'observations.

#### 4.5 Références spatio-temporelles (E.F. Arias, G. Petit et P. Wolf)

L'uniformité dans la définition des systèmes de référence spatiaux prend de plus en plus d'importance pour la métrologie fondamentale, en particulier pour les techniques astronomiques et géodésiques qui contribuent au Service international de la rotation terrestre (IERS). Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2001, le BIPM est responsable, conjointement avec l'USNO (États-Unis), du Conventions Product Center de l'IERS. La préparation de la nouvelle édition de l'*IERS Conventions* (2003) est terminée ; ce document sera publié une fois approuvé par le directoire de l'IERS. Il s'agit d'un document de 150 pages résumant les modèles, constantes et procédures à utiliser pour l'analyse des données de l'IERS et destiné à la communauté des astronomes et des géodésiens en général.

Le Comité mixte BIPM/UAI sur les systèmes de référence spatio-temporels et la métrologie dans le cadre de la relativité générale a cessé ses activités en 2001, mais le travail se poursuit pour promouvoir la diffusion des recommandations de l'UAI adoptées en 2000.

Des activités liées à la réalisation des systèmes de référence en astronomie et en géodésie sont entreprises par Mme E.F. Arias en collaboration avec l'IERS et des laboratoires argentins.

#### 4.6 Autres études (P. Wolf)

En collaboration avec le BNM-SYRTE (Observatoire de Paris) et l'University of Western Australia, nous effectuons des tests de l'invariance

de Lorentz en comparant les fréquences d'un maser à hydrogène et d'un oscillateur hyperfréquence cryogénique à saphir. Nous avons déterminé la variation de la fréquence de l'oscillateur en fonction de son orientation (test de Michelson-Morley) et de sa vitesse (test de Kennedy-Thorndike) par rapport à un système de référence considéré comme candidat préférentiel. Les limites obtenues pour les paramètres correspondants de la théorie de Mansouri et Sexl sont du même ordre de grandeur que les meilleures limites obtenues précédemment pour le premier test et représentent une amélioration d'un facteur cinquante pour le deuxième. Ce projet a été réalisé pendant le stage d'un an de P. Wolf au BNM-SYRTE, stage financé par une bourse de recherche du CNES. L'expérience se poursuit dans de meilleures conditions, et un travail théorique est en cours sur l'utilisation de cette expérience pour vérifier l'extension du modèle standard (SME) récemment mise au point pour définir les paramètres de violation de l'invariance de Lorentz et de la symétrie de l'inversion de temps et de la parité de charge.

Dans le cadre de cette même collaboration, des études sont en cours sur l'utilisation éventuelle d'horloges très stables et très exactes dans l'espace pour la conservation internationale du temps, en particulier les horloges qui seront en service dans le cadre de l'expérience ACES (Atomic Clock Ensemble in Space) à bord de la station spatiale internationale en 2006. Ces horloges devraient pouvoir atteindre une incertitude relative de l'ordre de  $10^{-16}$ , ce qui représente une amélioration très importante pour l'exactitude du TAI et les expériences de physique fondamentale. Les travaux sont centrés sur la préparation du traitement des données pour la liaison ACES par hyperfréquence, ce qui devrait permettre d'améliorer les capacités de transfert de fréquences d'au moins un ordre de grandeur par rapport aux performances actuelles.

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

### **4.7.1 Publications extérieures**

1. Arias E.F., Bouquillon S., Gontier A.-M, Maintenance and extension of the ICRF: validation of individual celestial reference frames, *IERS Annual Report 2002*, Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, 2003, 54-57.
2. Azoubib J., Nawrocki J., Lewandowski W., Independent atomic time scale in Poland – organization and results, *Metrologia*, 2003, **40**, S245-S248.

3. Bogdanov P., Zholnerov V., Kovita S., Lewandowski W., Azoubib J., de Jong G., Imae M., Nawrocki J., Analysis of GLONASS and GPS time transfer using multi-channel receivers, *Proc. 16th EFTF*, 2002, A-011-A-013.
4. Defraigne P., Senior K., Ray J., Petit G., Time transfer within the IGS and links to TAI, *Proc. URSI XXVIIIth General Assembly*, 2002, Session AC1.03 (750), 4 p.
5. Petit G., Comparison of “old” and “new” concepts: Coordinate times and time transformations, *IERS TN 29: Proc. IERS Workshop on the implementation of the new IAU resolutions*, 2002, 19.
6. Petit G., Evaluating the accuracy of TAI with primary frequency standards, *Proc. URSI XXVIIIth General Assembly*, 2002, Session A3.01 (796), 4 p.
7. Petit G., Towards an optimal weighting scheme for TAI computation, *Metrologia*, 2003, **40**, S252-S256.
8. Petit G., The new IAU'2000 conventions for coordinated times and time transformations, *Journées 2001 Systèmes de Référence Spatio-Temporels*, 2003, 163-168.
9. Weiss M., Zhang V., Jensen M., Powers E., Klepczynski W., Lewandowski W., Ionospheric models and measurements for common-view time transfer, *Proc. IEEE/EIA Int. Freq. Contr. Symp.*, 2002, 517-521.
10. Wolf P., Bize S., Clairon A., Luiten A.N., Santarelli G., Tobar M.E., Tests of Lorentz invariance using a microwave resonator, *Phys. Rev. Lett.*, 2003, **90**(6), 060402.

#### 4.7.2 Publications du BIPM

11. *Rapport annuel de la section du temps du BIPM* (2002), 2003, **15**, 96 p.
12. *Circulaire T* (mensuelle), 6 p.
13. Azoubib J., Lewandowski W., *BIPM TWSTFT Reports*, 21 p.
14. Petit G., Uncertainties on time links used for TAI, *TM 124*, mars 2003.
15. Petit G., Jiang Z., Long-term comparison of GPS P3 links with other techniques used for TAI, *TM 126*, mai 2003.
16. Lewandowski W., Moussay P., Determination of the differential time corrections between GPS time equipment located at the OP, NPL, VSL, OCA, *Rapport BIPM-2003/04*, 2003, 27 p.

17. Lewandowski W., Moussay P., Determination of the differential time corrections between GPS time equipment located at the OP, NTSC, CRL, NMIJ, TL, NML, *Rapport BIPM-2003/05*, 2003, 30 p.

#### 4.7.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

E.F. Arias s'est rendue à :

- Postdam (Allemagne), le 10 septembre 2002, pour la 20<sup>e</sup> réunion du directoire de l'IGS ;
- Daejeon (Rép. de Corée), du 5 au 8 novembre 2002, pour l'Asia-Pacific Workshop on Time and Frequency 2002, invitée pour une présentation sur les activités récentes de la section du temps du BIPM ;
- Vienne (Autriche), le 15 novembre 2002, pour la 4<sup>e</sup> réunion de l'Action Team on GNSS de COPUOS ; les 18 et 19 février 2003, pour la 5<sup>e</sup> réunion de l'Action Team on GNSS de COPUOS ; et le 10 juin 2003, pour la 6<sup>e</sup> réunion de l'Action Team on GNSS de COPUOS ; le 11 juin 2003, pour un exposé à l'université de technologie ;
- Reston (Virginie, États-Unis), le 2 décembre 2002, pour un cours sur la formation de l'UTC, dans le cadre des travaux dirigés du PTTI 2002 ; du 3 au 5 décembre 2002, pour la 34<sup>e</sup> réunion du PTTI, comme présidente de la session X – Standards Laboratories Reports ;
- Toulouse (France), le 25 mars 2003, pour la Journée Temps-Fréquence et Navigation, et pour visiter le laboratoire du temps du CNES ;
- Paris (France), le 2 avril 2003, pour la réunion du Groupe de travail de l'UAI sur l'UTC ; les 3 et 4 avril 2003, pour une présentation intitulée « ICRS representation by different sets of selected sources » au 4<sup>e</sup> IVS Analysis Workshop ;
- Nice (France), le 6 avril 2003, pour la 22<sup>e</sup> réunion du directoire de l'IGS ;
- Turin (Italie), le 27 mai 2003, pour la réunion du Groupe de travail de l'UAI sur l'UTC ; les 28 et 29 mai 2003, pour le colloque UIT-R SRG sur l'échelle de temps UTC : présentations intitulées « Rotation of the Earth and time scales » (conférence invitée), « Considerations for international time keeping » (conférence invitée), et « Proposal for a new dissemination of time scales », et pour visiter le laboratoire du temps de l'IEN.

J. Azoubib s'est rendu à :

- Genève (Suisse), du 30 septembre au 4 octobre 2002, pour une réunion du Groupe de travail 7A du Groupe d'étude 7 de l'UIT ;
- Reston (Virginie, États-Unis), du 30 novembre au 6 décembre 2002, pour une réunion des stations qui participent au Groupe de travail du CCTF sur les comparaisons de temps et de fréquences par aller-retour sur satellite, pour l'Open forum on GPS and GLONASS standardization organisé par le sous-groupe de travail du CCTF sur la normalisation des comparaisons d'horloges par le GPS et le GLONASS, et pour une présentation à la 34<sup>e</sup> réunion du PTTI ;
- Turin (Italie), du 28 au 30 mai 2003, pour un colloque sur l'échelle de temps UTC et une réunion du Special Rapporteur Group on the Future of UTC.

W. Lewandowski s'est rendu à :

- Portland (Oregon, États-Unis), du 19 au 24 septembre 2002, pour la 40<sup>e</sup> réunion du Civil GPS Service Interface Committee (comme président du sous-comité sur le temps), et pour la 15<sup>e</sup> réunion technique ION-GPS ;
- Braunschweig (Allemagne), du 6 au 8 octobre 2002, pour une présentation à la 10<sup>e</sup> réunion du Groupe de travail du CCTF sur les comparaisons de temps et de fréquences par aller-retour sur satellite ;
- Varsovie (Pologne), du 19 au 24 novembre 2002, pour une présentation à la 11<sup>e</sup> réunion du groupe de coordination des laboratoires horaires polonais ;
- Reston (Virginie, États-Unis), du 30 novembre au 6 décembre 2002, pour une réunion des stations participant au Groupe de travail du CCTF sur les comparaisons de temps et de fréquences par aller-retour sur satellite, pour l'Open forum on GPS and GLONASS standardization organisé par le sous-groupe de travail CCTF sur la normalisation des comparaisons d'horloges par le GPS et le GLONASS, et pour une présentation à la 34<sup>e</sup> réunion du PTTI ;
- Varsovie (Pologne), du 19 au 21 février, pour le conseil scientifique du Space Research Centre de l'Académie des sciences de Pologne ; du 14 au 23 mai 2003, pour une présentation à la 12<sup>e</sup> réunion du groupe de coordination des laboratoires horaires polonais ;

- Turin (Italie), du 28 au 30 mai 2003, pour un colloque sur l'échelle de temps UTC et une réunion du Special Rapporteur Group on the Future of UTC.

G. Petit s'est rendu à :

- Maastricht (Pays-Bas), les 18 et 19 août 2002, pour un exposé intitulé « Evaluating the accuracy of TAI with primary frequency standards » à la 27<sup>e</sup> assemblée générale de l'URSI ;
- La Chanée (Grèce), du 26 au 29 août 2002, pour la réunion « Radio pulsars », poster sur « Progress report on a survey for sub-millisecond pulsars » ;
- Munich (Allemagne), les 18 et 19 novembre 2002, pour un exposé sur « Conventions and combinations » à l'atelier de l'IERS intitulé « Combination Research and Global Geophysical Fluids » ;
- Nançay (France), le 21 novembre 2002 et le 16 juin 2003, pour participer à des observations de pulsars ;
- Reston (Virginia, États-Unis), du 3 au 5 décembre 2002, pour un exposé sur « TAI time links with geodetic GPS receivers: a progress report » à la 34<sup>e</sup> réunion du PTTI ;
- Toulouse (France), les 25 et 26 mars 2003, pour visiter le laboratoire de temps du CNES et l'Observatoire Midi-Pyrénées ;
- Paris (France), le 2 avril 2003, pour le directoire de l'IERS ;
- Turin (Italie), les 28 et 29 mai 2003, pour une réunion sur « The future of the UTC time scale » et visiter le laboratoire de temps de l'IEN.

P. Wolf s'est rendu à :

- Paris (France), les 13 et 14 septembre 2002, pour participer au pré-séminaire de prospective scientifique du CNES ;
- Pise (Italie), du 6 au 10 octobre 2002, invité au GREX (Gravitation et expériences), pour une présentation intitulée « Testing Lorentz invariance using a cryogenic microwave oscillator » ;
- Paris (France), du 4 au 6 novembre 2002, invité au symposium HYPER, pour une présentation intitulée « Testing Lorentz invariance using a cryogenic microwave oscillator » ;
- Les Arcs (France), du 22 au 28 mars 2003, invité aux Rencontres de Moriond, pour une présentation intitulée « Fundamental physics using a cryogenic microwave oscillator » ;

- Munich (Allemagne), le 3 avril 2003, pour participer à une réunion préparatoire sur les liaisons hyperfréquences de l'ACES ;
- Tampa (Floride, États-Unis), du 5 au 8 mai 2003, pour une présentation intitulée « Tests of Lorentz invariance using a microwave resonator: an update », et pour recevoir la «European young scientist award » à la réunion commune à l'EFTF et au FCS.

#### **4.8 Activités en liaison avec des organisations extérieures**

E.F. Arias est membre de l'UAI et participe à trois de ses groupes de travail sur la nutation, sur le système de référence céleste international (ICRF) et sur la redéfinition de l'UTC. Elle est membre associée de l'IERS et membre de l'International Celestial Reference System Product Centre et du Conventions Product Centre de l'IERS. Elle est membre de l'International VLBI Service (IVS) et de son groupe de travail sur l'analyse de l'International Celestial Reference Frame. Elle représente le BIPM au directoire de l'IGS et à l'Action Team on GNSS de COPUOS. Elle est membre de l'Argentine Council of Research (CONICET), astronome associée au Département d'astronomie fondamentale (DANOF) de l'Observatoire de Paris, et correspondante du Bureau des longitudes.

J. Azoubib représente le BIPM au Groupe de travail 7A du Groupe d'étude 7 de l'UIT.

W. Lewandowski représente le BIPM au Civil GPS Service Interface Committee, et il préside son sous-comité sur le temps. Il est aussi membre du conseil scientifique du Space Research Centre de l'Académie des sciences de Pologne.

G. Petit participe aux travaux de l'UAI, il est président de la Commission 31 sur le temps ; il est membre du Groupe de travail de l'UAI sur la relativité en mécanique céleste, en astrométrie et dans le domaine de la métrologie (RCMAM). Il est co-directeur du Conventions Product Centre de l'IERS. Il est membre de l'IGS Working Group on Clock Products et du Comité national français de géodésie et géophysique.

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

#### **4.9 Activités liées au travail des Comités consultatifs**

E.F. Arias est secrétaire exécutive du CCTF.

J. Azoubib est membre du Groupe de travail du CCTF sur les comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite et du Groupe de travail du CCTF sur le TAI.

W. Lewandowski est secrétaire du Groupe de travail du CCTF sur les comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite et du Groupe de travail du CCTF sur la normalisation des comparaisons d'horloges utilisant les systèmes de navigation par satellite à couverture globale.

G. Petit est membre du Groupe de travail du CCTF sur le TAI.

#### **4.10 Visiteurs de la section du temps**

- M. A. Bauch (PTB), le 15 janvier 2003.
- Mme P. Tavella (IEN), le 16 janvier 2003.
- M. E. Powers (USNO), le 27 janvier 2003.

## **5 ÉLECTRICITÉ (T.J. WITT)**

### **5.1 Potentiel électrique : effet Josephson (D. Reymann)**

#### **5.1.1 Mesures de réseaux de jonctions de Josephson**

L'an dernier nous avons démontré que, en raison de la grande stabilité de leur tension de sortie, les réseaux de jonctions de Josephson programmables pouvaient être utilisés pour mesurer directement la force électromotrice d'une pile étalon sans risquer de la modifier. Nous avons eu à nouveau cette année l'opportunité de recevoir en prêt un réseau programmable de la PTB pendant quatre semaines en octobre (Projet 626 de l'EUROMET), période pendant laquelle nous avons utilisé ce réseau pour étudier le bruit de différents étalons de tension et étudier la possibilité d'utiliser un réseau programmable pour des mesures à long terme.

À la fin du mois de mars 2003, la PTB a fait don au BIPM d'un réseau programmable de 1,2 V composé de 8173 jonctions divisées en quatorze segments comprenant chacun entre une et 4089 jonctions. Les segments, regroupés en six parties, sont polarisés par des courants séparés dans des directions opposées entre deux sections, de manière à générer une tension

pouvant atteindre 0,6 V dans chaque section. Quand le nombre d'échelons de tension est le même dans chaque section, le fait de vérifier que la tension totale de sortie est égale à zéro dans cette configuration sert à contrôler de façon critique la plus importante source d'erreur des réseaux polarisés en courant : les différences résistives de potentiel indésirables qui adviennent dans certaines portions. Dans la limite d'une incertitude de 0,1 nV, nous n'observons pas de différence de tension entre les deux sections de cette configuration de mesure. Nous avons aussi effectué une série de mesures dans cette configuration pour étudier les variations possibles du niveau de bruit en fonction de la valeur du courant de polarisation appliqué à l'échelon de tension. L'analyse des résultats est en cours. Une seconde configuration possible consiste à polariser les deux sections au moyen de courants circulant dans la même direction afin de produire une tension de sortie totale égale à 1,2 V. Cette tension est comparée à une tension égale générée par un réseau supraconducteur-isolant-supraconducteur (SIS) non polarisé. De nouveau, dans les limites d'une incertitude de 0,1 nV, nous n'avons pas observé de différence de tension entre les deux types de réseau. Après avoir confirmé l'exactitude des tensions produites par le réseau polarisé, nous l'utilisons maintenant pour effectuer des mesures directes de piles étalons. Nous saisissons cette occasion pour remercier la PTB de nous avoir offert généreusement cet outil très efficace.

Une comparaison de l'EUROMET de réseaux de Josephson de 1,089 V est maintenant prévue, et nous avons aussi testé avec satisfaction à cette tension le réseau polarisé.

#### 5.1.2 Projet 429 de l'EUROMET : comparaison d'étalons de tension de 10 V

Le projet 429 de l'EUROMET, une comparaison d'étalons de 10 V, est maintenant terminé. Le BIPM a joué un rôle actif dans cette comparaison en mesurant les étalons voyageurs à cinq occasions (pour vérifier leur reproductibilité), en participant à l'élaboration du rapport final et en calculant le lien entre les résultats de l'EUROMET et ceux de la comparaison clé continue du BIPM, BIPM.EM-K11.b. Le rapport et les résultats ont été approuvés par le CCEM et sont maintenant publiés dans la KCDB sous la référence EUROMET.EM.BIPM-K11.

#### 5.1.3 Mesures de diodes de Zener

Nous avons installé cette année un nouveau système automatique pour l'étalonnage des références de tension électroniques à diodes de Zener. Ce

Le système est composé principalement d'un nanovoltmètre numérique servant à mesurer la différence de tension entre les diodes de Zener à étalonner et les étalons de référence du BIPM, et d'un scanner à faibles forces électromotrices thermiques pour effectuer les connexions nécessaires. Le système est piloté par ordinateur et est couramment utilisé pour étalonner les diodes de Zener avec une incertitude-type relative composée totale de  $1 \times 10^{-8}$ .

## 5.2 Résistance électrique et impédance

### 5.2.1 Mesures de résistance en courant continu (F. Delahaye ; A. Jaouen)

Nous continuons à participer à la comparaison clé CCEM-K10, une comparaison d'étalons de résistance de  $100 \Omega$  dont la PTB est le laboratoire pilote. Nous avons mesuré les quatre étalons voyageurs de  $100 \Omega$  à deux occasions différentes. La seconde série de mesures s'est terminée en février 2003. Bien que les étalons voyageurs soient arrivés au BIPM à une température assez froide, d'environ  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ , ils étaient stables à  $2 \times 10^{-8}$  près en valeur relative pendant leur second séjour au BIPM.

Nous avons étendu nos équipements d'étalonnage dans le domaine des résistances en courant continu aux étalons de résistance de  $25 \Omega$ , essentiellement pour répondre aux demandes d'étalonnage des autres sections du BIPM. Les étalonnages sont effectués en reliant la résistance de  $25 \Omega$  à l'étalon de référence de  $100 \Omega$  au moyen d'un comparateur de courant cryogénique de rapport 4/1. Nous avons modifié la double source de courant alimentant le comparateur cryogénique de courant pour fournir des courants de rapport nominal 4/1.

### 5.2.2 Conservation d'un étalon de référence de capacité et étalonnages de capacités (F. Delahaye, R. Chayramy)

La dépendance en fonction de la fréquence des deux résistances coaxiales calculables que nous avons fabriquées l'an dernier (voir le Rapport du directeur de 2002) a fait l'objet d'études approfondies. Le rapport entre les résistances,  $r = 1290 \Omega / 645 \Omega$ , a été mesuré avec exactitude à quatre fréquences différentes,  $f = 1 \text{ Hz}$ ,  $1600 \text{ Hz}$ ,  $3200 \text{ Hz}$  et  $4800 \text{ Hz}$ , en utilisant un pont comparateur de courant à  $1 \text{ Hz}$  et un pont coaxial en courant alternatif de rapport 2/1 à des fréquences de l'ordre du kilohertz. Des mesures ont été effectuées avec les résistances calculables dans l'huile et dans l'air. Dans l'huile, nous avons constaté une dépendance linéaire de ce

rapport en fonction de la fréquence,  $1/r \times \partial r/\partial f = +3,3(1,5) \times 10^{-9}/\text{kHz}$ . Dans l'air, la dépendance relative en fonction de la fréquence est vraiment négligeable :  $-0,2(1,5) \times 10^{-9}/\text{kHz}$ . La légère dépendance en fonction de la fréquence observée dans l'huile est due à celle de la conductivité résiduelle de l'huile. Le fait que la dépendance en fonction de la fréquence observée dans l'air soit négligeable indique clairement que les deux résistances ne sont effectivement pas dépendantes de la fréquence au niveau de  $1 \times 10^{-9}$  par kilohertz, ou mieux, comme les calculs le laissent à penser. Notre résistance calculable de  $1290 \Omega$  est la résistance de référence alternatif-continu utilisée dans notre chaîne de mesure reliant les étalons de capacité aux étalons de résistance.

Nous avons constaté une augmentation très significative du nombre d'étalonnages de capacités effectués cette année : entre juillet 2002 et juin 2003 nous avons émis quarante certificats d'étalonnage ou notes d'étude pour douze laboratoires nationaux de métrologie différents. Il a donc été nécessaire de former et d'autoriser un deuxième membre du personnel à effectuer des étalonnages de capacités. Enfin, un certain nombre d'améliorations ont été apportées au pont de capacité de rapport 10/1 utilisé pour les étalonnages, avec la construction et l'étalonnage d'un nouveau diviseur de tension inductif de rapport 10/1 donnant un taux d'erreur réduit, et la modification du système d'injection du pont, ce qui rend maintenant les réglages du pont de Wagner indépendants de ceux du système d'injection, de même que l'automatisation du système d'acquisition.

### 5.3 Détermination des caractéristiques de bruit et de stabilité (T.J. Witt)

Au sein de la section d'électricité, nous nous sommes consacrés à l'analyse des cycles complets de mesures de tension en courant continu, y compris l'inversion de polarité, afin de mieux comprendre les limites imposées par le bruit intrinsèque dans les procédures de mesure de routine. Dans le cadre d'un projet de collaboration avec le NIST, les techniques utilisées au BIPM pour mesurer et caractériser le bruit et la stabilité des instruments de mesure en électricité ont été transférées avec succès au NIST. Une collaboration prometteuse a aussi débuté avec la section de chimie pour appliquer les méthodes d'analyse de séries temporelles aux mesures de concentration molaire.

### 5.3.1 Détermination des caractéristiques de bruit et de stabilité des procédures de mesure de tension avec inversion de la polarité (T.J. Witt)

Dans les mesures électriques de précision en courant continu, les effets de force électromotrice thermiques dans les circuits de mesure sont éliminés en inversant la polarité de la tension étudiée et en analysant les demi-différences et demi-sommes des tensions mesurées aux deux polarités. Cette année, nous avons étendu la portée de nos études sur le bruit à l'analyse des résultats de mesure avec cette méthode. Un cycle complet de mesures suit un schéma de polarité (+, -, -, +) dont chaque étape dure 30 s. Lorsqu'on mesure la différence de tension entre deux diodes de Zener de 10 V, les deux configurations donnent la valeur de la différence de tension entre les diodes de Zener et la valeur de la tension non inversée du circuit d'entrée du détecteur (à laquelle contribuent les décalages de tension à l'entrée du détecteur et la force électromotrice thermique). Comme prévu, les valeurs mesurées des différences de tension et leur variance d'Allan sont en accord avec les valeurs précédemment mesurées avec les mêmes instruments sans inversion de la polarité. La variance d'Allan de la tension non inversée révèle un niveau de bruit blanc beaucoup plus élevé que celui calculé à partir des mesures effectuées avec le même détecteur quand les diodes de Zener sont enlevées et remplacées par un court circuit. Ceci met plus directement en évidence le bruit blanc en excès (qui est bien au-dessus du niveau de bruit de Johnson) dans les étalons à diode de Zener, conclusion que des mesures unipolaires ne peuvent nous permettre que de soupçonner. Nous avons l'intention de poursuivre l'étude de cette question plus en détail. Il est plus surprenant de constater que les valeurs de la variance d'Allan pour le bruit blanc obtenues à partir de mesures effectuées avec un nanovoltmètre EM modèle N11, sur une échelle comprise entre 0,1  $\mu\text{V}$  et 10  $\mu\text{V}$ , sont indépendantes de l'échelle. Ceci signifie que la résolution de la tension, au moins dans le cas du bruit blanc, est la même pour toutes les échelles. Une autre étude concerne l'effet de « l'erreur de quantification » (incertitude inhérente à la numérisation d'une valeur analogique) sur les incertitudes de mesure. Si nous associons la résolution d'une mesure à un écart-type d'Allan ou, dans le cas du bruit blanc, à l'écart-type de la moyenne, nous constatons que pour des mesures répétées la résolution peut prendre des valeurs très en-dessous d'une unité du « chiffre le plus petit » ou du chiffre le moins significatif d'un convertisseur analogique-numérique.

### 5.3.2 Projet commun avec le NIST pour déterminer le bruit et la stabilité des étalons de tension en courant continu et des instruments de mesure (T.J. Witt)

En collaboration avec Y. Tang de la division d'électricité du NIST, nous avons débuté un projet commun pour déterminer le bruit des étalons de tension en courant continu et des voltmètres du NIST. La première étape a consisté à transférer les mesures effectuées au BIPM, ainsi que les méthodes d'analyse et le logiciel, et de les adapter aux instruments et aux procédures utilisées au NIST. Une caractéristique particulièrement intéressante des équipements du NIST est qu'ils disposent de trois étalons de tension de Josephson entièrement automatisés capables de fonctionner sans interruption pendant des durées de plusieurs jours. Cette étape s'est achevée en juillet 2002 et on a obtenu les valeurs du niveau de bruit plancher en  $1/f$  des étalons de référence de 10 V à diode de Zener. Le NIST a ensuite continué à effectuer des études systématiques de quatorze étalons à diode de Zener. Les résultats confirment la nature en  $1/f$  du bruit de tous les étalons à diode de Zener étudiés. Six d'entre eux étaient du type étudié au BIPM et les valeurs numériques trouvées sont en bon accord avec celles obtenues au BIPM. Nous avons pu partager la charge de travail liée à l'analyse des données de ce projet en transférant les séries de résultats et de calculs par Internet, ou, pour les gros fichiers, par disques compacts. Ce travail s'est achevé par la rédaction d'un article qui sera présenté à la conférence et à l'atelier NCSLI en août 2004.

En janvier 2003 le NIST a été capable de commencer les mesures de bruit des quatre étalons voyageurs à diode de Zener utilisés dans les comparaisons d'étalons de Josephson en Amérique du Nord. Ces étalons ont été choisis par le fabricant il y a un certain nombre d'années pour leur stabilité et leur faible niveau de bruit, caractéristiques qui ont été confirmées et mesurées avec précision par la méthode de variance d'Allan et par des techniques d'analyse spectrale. En avril 2003, les activités liées à ce projet commun comprennent : des études sur la stabilité à long terme (sur des durées de plusieurs jours) des quatre étalons de faible bruit ; des mesures du bruit des tensions de sortie des étalons à diode de Zener de 1,018 V et leur relation aux mesures de bruit à 10 V ; des mesures préliminaires du bruit des piles étalons mesurées avec un réseau de jonctions polarisées ; des comparaisons des tensions de sortie du réseau de jonctions polarisé à celles d'un réseau de jonctions non polarisé ; et l'étude du bruit des nanovoltmètres numériques en fonction de l'amplitude du signal d'entrée (la question de l'erreur de quantification se pose à

nouveau). Les deux partenaires du projet espèrent poursuivre cette collaboration, qui a été très appréciée l'an passé.

### 5.3.3 Analyse des séries temporelles appliquées aux photomètres de référence étalons mesureurs d'ozone (T.J. Witt et R.I. Wielgosz)

En collaboration avec la section de chimie, nous analysons les résultats de mesures répétées de la fraction molaire d'ozone dans l'air au moyen de trois photomètres de référence étalons. Chaque instrument est capable de répéter les mesures environ 500 fois par nuit. Le but initial est d'examiner à quel point les mesures successives sont corrélées en série. Ceci permet de justifier le fait que l'on considère que les mesures successives sont indépendantes, ou, sinon, de trouver un moyen réaliste de prendre en compte les corrélations en série dans l'analyse des mesures répétées seulement une dizaine de fois. Les techniques d'analyse comprennent l'utilisation de la fonction d'autocorrélation, de la densité spectrale, et de la variance d'Allan. Les mesures préliminaires donnent des résultats prometteurs ; nous pensons qu'elles fourniront non seulement des informations sur l'ampleur des corrélations en série mais qu'elles aideront aussi à révéler des perturbations périodiques dans les résultats, peut-être liées aux cycles de température. Il est intéressant d'observer que l'un des photomètres de référence étalons est sujet à une erreur de quantification élevée.

### 5.4 Comparaisons clés continues du BIPM d'étalons électriques (T.J. Witt et D. Reymann ; D. Avrons)

En ce qui concerne le programme de comparaisons clés du BIPM, nous avons terminé en juin 2002 une nouvelle comparaison bilatérale de diodes de Zener de 10 V avec le NML (Irlande). Les résultats ont été approuvés par le CCEM pour addition à ceux de la comparaison BIPM.EM-K11.b déjà publiés dans la base de données du BIPM sur les comparaisons clés.

### 5.5 Étalonnages (F. Delahaye, D. Reymann et T.J. Witt ; D. Avrons, R. Chayramy et A. Jaouen)

Nous avons effectué cette année les étalonnages suivants : étalons à diode de Zener de 1,018 V et de 10 V pour la Belgique, la Roumanie et la République tchèque ; résistances de 1  $\Omega$  pour l'Afrique du Sud, la Belgique, l'Égypte, la Malaisie, la Pologne, le Portugal et la République tchèque ; résistances de

10 k $\Omega$  pour la Belgique et la Pologne ; étalons de capacité de 10 pF pour l'Afrique du Sud, la Belgique, le Brésil, l'Espagne, la Grèce, la Malaisie, le Mexique, la Roumanie, la Suisse et la République tchèque ; étalons de capacité de 20 pF pour l'Autriche ; étalons de capacité de 100 pF pour l'Afrique du Sud, l'Autriche, la Belgique, le Brésil, l'Espagne, la Grèce, la Malaisie, le Mexique, la Roumanie, la Suisse et la République tchèque.

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

### 5.6.1 Publications extérieures

1. Behr R., Kohlmann J., Janssen J.-T. B.M., Kleinschmidt P., Williams J.M., Djordjevic S., Lo-Hive J.-P., Piquemal F., Hetland P.-O., Reymann D., Eklund G., Hof Ch., Jeanneret B., Chevtchenko O., Houtzager E., Brom H.van den, Sosso A., Andreone D., Nissilä J., Helistö P., Analysis of different measurement setups for a programmable Josephson voltage standard, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 2003, **52**, 524-528.
2. Witt T.J., Maintenance and dissemination of voltage standards by Zener-diode-based instruments, *IEE Proc. Sci. Meas. Technol.*, 2002, **149**, 305-312.
3. Witt T.J., Experimental sampling distributions and confidence intervals of the Allan variance in some dc electrical measurements, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 2003, **52**, 487-490.

### 5.6.2 Rapports BIPM

4. Delahaye F., Awan S.A., Bilateral comparison of 10 pF and 100 pF capacitance standards between the NPL and the BIPM, April/May 2002, *Rapport BIPM-2003/01*, 2003, 10 p.
5. Power O., Jaouen A., Delahaye F., Witt T.J., Bilateral comparison of 1  $\Omega$  standards between NML, Ireland and the BIPM, March 2002, *Rapport BIPM-2002/13*, 2002, 6 p.
6. Power O., Jaouen A., Delahaye F., Witt T.J., Bilateral comparison of 10 k $\Omega$  Standards between NML, Ireland and the BIPM, March 2002, *Rapport BIPM-2002/14*, 2002, 6 p.
7. Power O., Reymann D., Witt T.J., Bilateral comparison of 10 V standards (part of the ongoing BIPM key comparison BIPM.EM-K11.b)

between the NML (Ireland) and the BIPM, March 2003, *Rapport BIPM-2003/06*, 2003, 6 p.

### 5.6.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

T.J. Witt s'est rendu :

- au NIST, Gaithersburg (États-Unis), du 8 au 19 juillet 2002 et du 7 au 18 avril 2003, pour travailler à un projet commun sur la détermination du bruit de divers étalons de tension en courant continu et d'instruments de mesure ; à la division d'électricité, le 19 juillet 2002, pour un exposé intitulé « Using spectral methods to treat random correlations in precise electrical measurements » ;
- au BNM, Paris, les 15 et 16 octobre 2002, à la réunion des personnes chargées de l'électricité et du magnétisme au sein de l'EUROMET, pour une présentation sur les réunions du CCEM et de ses groupes de travail de septembre 2002 ; il a visité le BNM-LNE, Paris, et le BNM-LCIE, Fontenay-aux-Roses, le 16 octobre 2002 ;
- à la PTB, Braunschweig (Allemagne), les 14 et 15 janvier 2003 ; le 14 janvier, pour une présentation intitulée « Using the Allan variance in dc electrical measurements ».

T.J. Witt et F. Delahaye se sont rendus à Bratislava (Slovaquie), du 16 au 18 juin 2003, pour une réunion d'experts de l'EUROMET sur l'effet Josephson et l'effet Hall quantique et pour visiter le SMU ; T.J. Witt y a présenté un exposé intitulé « Environmental influences and noise in electronic voltage standards ».

## 5.7 Activités en liaison avec des organisations extérieures

T.J. Witt est membre du Comité exécutif de la CPEM.

F. Delahaye est secrétaire exécutif du Groupe de travail 2 du Comité commun pour les guides en métrologie (révision du VIM).

## 5.8 Activités liées au travail des Comités consultatifs

T.J. Witt est secrétaire exécutif du CCEM, membre du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés et participe aux réunions du Groupe de travail du CCEM pour les grandeurs aux radiofréquences et du Groupe de travail du CCEM sur les mesures de la résistance de Hall quantifiée en

courant alternatif. Il a assisté à la réunion des présidents des comités techniques des organisations régionales de métrologie dans les domaines de l'électricité et du magnétisme, le 9 septembre 2002.

F. Delahaye est co-auteur des *Revised Technical Guidelines for Reliable dc Measurements of the Quantized Hall Resistance* du CCEM.

D. Reymann a examiné le rapport de la comparaison clé EUROMET.EM.BIPM-K11 et calculé le lien entre les résultats de cette comparaison clé de l'EUROMET et ceux de la comparaison clé en continu correspondante du BIPM, BIPM.EM-K11.b.

T.J. Witt a examiné le rapport de la comparaison clé CCEM-K6.c ; le projet B de rapport est encore en discussion.

### 5.9 Visiteurs de la section d'électricité

- MM. J. Streit et J. Horsky (CMI), le 14 août 2002.
- MM. Wang Qingping, vice-ministre, et Li Tao (General Administration for Quality Supervision, Inspection and Quarantine, Beijing, Chine), le 24 septembre 2002.
- M. E. Afonso (INMETRO), le 14 octobre 2002.
- MM. C.D. Aviles et R. Carranza (CENAM), le 5 mai 2003.
- M. P. Chrobok (CMI), le 5 mai 2003.
- M. J. Fiander (CSIRO), du 12 au 16 mai 2003.
- MM. J. Horsky et J. Streit (CMI), le 21 mai 2003.

## 6 RADIOMÉTRIE, PHOTOMÉTRIE ET THERMOMÉTRIE (M. STOCK)

### 6.1 Radiométrie (R. Goebel et M. Stock)

La série de récepteurs à piège de référence du BIPM a été réétalonnée par rapport à notre radiomètre cryogénique à huit longueurs d'ondes laser dans le domaine compris entre 351 nm et 799 nm. Ces récepteurs de référence servent de fondement aux réalisations absolues de la candela et du lumen en

photométrie, et aux étalonnages des radiomètres à filtre en thermométrie par rayonnement. Les photomètres de référence ont aussi été réétalonnés.

Dans le cadre de la coopération entre le BIPM et le NMIJ/AIST (Japon) concernant la mise au point de points fixes d'eutectiques métal-carbone, un groupe de radiomètres à filtre du BIPM a été étalonné pour mesurer la température thermodynamique des plateaux de fusion et de congélation. Les mesures en spectro-radiométrie ont compris la redétermination des caractéristiques du monochromateur ; des mesures d'aire d'ouverture ; la détermination des caractéristiques des radiomètres à filtre dans le domaine de longueur d'onde de blocage et dans le domaine de la bande passante ; et la modification de leur conception. Nous mesurons actuellement le facteur de transmission de la lentille utilisée pour la détermination radiométrique de la température.

## 6.2 Photométrie (R. Goebel, S. Solve et M. Stock)

Les équipements pour la réalisation absolue du lumen fondée sur la « méthode absolue de la sphère intégrante » ont été réinstallés, en utilisant le nouvel appareil disponible. Il est utilisé pour vérifier la stabilité du groupe de lampes de référence qui maintient la valeur de référence de la dernière comparaison clé du CCPR.

La différence relative de flux lumineux entre la moyenne internationale représentée par le groupe primaire de lampes de flux lumineux et par la méthode absolue a été mesurée au niveau de  $(0,55 \pm 0,68) \%$  ( $k = 2$ ). Cette expérience est décrite en détail dans le mémoire de DEA de S. Solve.

## 6.3 Thermométrie (S. Solve, M. Stock et Y. Yamada)

La comparaison de cellules à points triples de l'eau (CCT-K7) se poursuit depuis décembre 2002, avec la participation de vingt laboratoires nationaux de métrologie. Chaque laboratoire envoie au BIPM une cellule préalablement comparée à la ou aux cellules de référence nationales, et toutes ces cellules sont comparées à deux cellules communes de référence. Chaque cellule est mesurée deux fois au moyen de deux manchons de glace préparés séparément. Le temps de mesure total sera d'environ mille heures. Les résultats obtenus à ce jour montrent une répétabilité des mesures d'un jour à l'autre bien meilleure que celle de la précédente comparaison en 1995. Cette amélioration est due principalement à un bien meilleur contrôle de la température de la résistance étalon. Pour chaque cellule, on mesure un profil

d'immersion afin d'obtenir des informations sur les conditions thermiques à l'intérieur de la cellule. Les mesures devraient être terminées fin juillet 2003.

Un projet a débuté en septembre 2002 concernant la détermination de la température thermodynamique de points fixes à haute température utilisant les eutectiques métal-carbone. Ce projet comprend la préparation des cellules à points fixes, l'évaluation de leurs performances, la comparaison des cellules avec les autres laboratoires, et les déterminations de la température thermodynamique par des mesures de luminance énergétique spectrale absolue au moyen de radiomètres à filtre.

Un système à four a été installé pour la préparation des cellules à point fixe à haute température et pour la réalisation des plateaux. Deux types de cellules ont été préparées : eutectique Re-C (2474 °C) et eutectique Pt-C (1738 °C). On a utilisé une cellule de chaque type dans une comparaison avec des cellules du NMIJ et du NPL (Royaume-Uni) en février 2003 au NPL. Les mesures de toutes les cellules sont en accord dans les limites d'une incertitude comprise entre 100 mK et 200 mK. Une nouvelle technique de préparation a été mise au point, qui donne des cellules plus robustes.

D'autres comparaisons sont en préparation : VNIIOFI-NMIJ (juin 2003, au VNIIOFI, Fédération de Russie), et NPL-BNM-INM-NMIJ (septembre 2003 à la PTB, Allemagne). Enfin, une comparaison d'échelle de température thermodynamique a été proposée avec la PTB ; elle aurait lieu en novembre 2003, à la PTB.

#### **6.4 Étalonnages (R. Goebel et S. Solve)**

Après une interruption des activités d'étalonnage en photométrie pendant plusieurs mois afin de moderniser les installations, soixante-huit lampes (flux lumineux, intensité lumineuse et étalons de température de couleur) ont été étalonnées pour cinq pays : Belgique, Brésil, Bulgarie, Pologne et Roumanie. Suite à la décision du CIPM de mettre fin à cette activité, nous n'avons plus accepté d'autre demande d'étalonnage.

Dans le domaine de la thermométrie, seize thermomètres de travail ont été étalonnés entre 0 °C et 30 °C (huit pour la section de chimie, cinq pour l'atelier du BIPM et trois pour la section des longueurs).

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

### 6.5.1 Publications extérieures

1. Solve S., Stock M., Preparation of the water triple-point key comparison at the BIPM, *Temperature: Its measurement and control in science and industry (Proc. 8th Temperature Symposium, Chicago, 2002)*, 2003, 7, Part 2, 891-986.
2. Stock M., Goebel R., Influence of the beam shape on aperture measurements with the laser beam scanning technique, *Metrologia*, 2003, 40, S208-S211.

### 6.5.2 Rapport BIPM

3. Solve S., The absolute integrating sphere method, a realization of the luminous flux unit, mémoire de DEA, septembre 2002, 49 p.

### 6.5.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

M. Stock s'est rendu :

- à Chicago (États-Unis), du 21 au 24 octobre 2002, pour le 8<sup>e</sup> Temperature Symposium et pour des réunions des groupes de travail du CCT ;
- à Berlin (Allemagne), en septembre 2002, pour une présentation (préparée par A.J. Wallard) intitulée « Traceability challenges in physics » à la « Conference ILAC/IAF on Accreditation in Global Trade » ;
- au METAS, Wabern (Suisse), le 21 février 2003, pour voir l'expérience sur la balance du watt et pour des discussions ; les 1<sup>er</sup> et 2 avril 2003, pour une réunion des personnes chargées des relations dans le domaine de la thermométrie au sein de l'EUROMET ;
- au BNM-LNE, Paris (France), le 4 avril 2003, pour une réunion HIMERT/NMIJ ;
- à la PTB, Berlin (Allemagne), le 23 mai 2003, pour un exposé invité intitulé « Zwei Jahrzehnte Kryoradiometrie – Erfolge und Herausforderungen » ;

- au NPL, Teddington (Royaume-Uni), les 3 et 4 juin 2003, pour voir l'expérience sur la balance du watt.

R. Goebel s'est rendu au BNM-LNE, Paris (France), le 4 avril 2003, pour une réunion HIMERT/NMIJ.

S. Solve s'est rendu à Chicago (États-Unis), du 21 au 24 octobre 2002, pour un exposé intitulé « A key comparison of water triple-point cells » au 8<sup>e</sup> Temperature Symposium.

Y. Yamada s'est rendu :

- à Chicago (États-Unis), du 21 au 24 octobre 2002, pour un exposé au 8<sup>e</sup> Temperature Symposium, pour des réunions des groupes de travail 2 et 5 du CCT, et pour une réunion HIMERT/NMIJ ;
- au NPL, Teddington (Royaume-Uni), du 2 au 14 février 2003, pour participer à une comparaison de points fixes ; du 3 au 5 juin 2003, pour un exposé invité intitulé « Next generation of high-temperature standards: melting points of eutectic alloys » ;
- au BNM-LNE, Paris (France), le 4 avril 2003, pour une réunion HIMERT/NMIJ.

## **6.6 Activités liées au travail des Comités consultatifs**

M. Stock est secrétaire exécutif du CCT et du CCPR, secrétaire des groupes de travail du CCT et du CCPR sur les comparaisons clés et membre du Groupe de travail 3 du CCT.

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

- M. L. Liedquist (SP), le 15 juillet 2002, pour apporter des lampes photométriques à étalonner.
- M. P. Bloembergen (NMIJ), les 30 septembre 2002 et 1<sup>er</sup> octobre 2002, pour des discussions sur les points fixes d'eutectiques.
- MM. M. Sadli et M. Bourson (BNM-INM), le 27 novembre 2002, pour voir les expériences sur les points fixes d'eutectiques et pour des discussions.
- MM. T. Kameyama, T. Sugiyama, H. Nagae et T. Yamada (NMIJ/AIST), le 18 octobre 2002.

- MM. S. Ogarev, B. Khlevnoy (VNIIOFI), le 4 décembre 2002, pour voir l'expérience sur les points fixes d'eutectiques et pour des discussions.
- MM. P.J. Largo (Université de Valladolid, Espagne), D. Lowe (NPL), M. Sadli (BNM-INM), R. Morice (BNM-LNE) et P. Bloembergen (NMIJ), le 10 décembre 2002, pour une réunion HIMERT/NMIJ.
- M. Yan Xiaoke (NIM), les 26 et 28 novembre 2002, pour apporter une cellule à point triple de l'eau et visiter les laboratoires.
- M. P.J. Largo (Université de Valladolid, Espagne) et M. P. Bloembergen (NMIJ), le 3 avril 2003, pour une discussion sur les eutectiques.
- M. S. Briaudeau (BNM-INM), le 23 avril 2003, pour voir l'expérience sur les points fixes d'eutectiques.
- MM. R. White (MSL), M. Ballico (NML-CSIRO), M. Arai et O. Tamura (NMIJ/AIST), le 12 mai 2003, pour voir l'expérience sur les points fixes d'eutectiques pendant la réunion du CCT.
- MM. J. Fischer (PTB), K. Hill (NRC), G. Machin (NPL), C. Johnson (NIST) et D. Ripple (NIST), le 16 mai 2003, pour visiter les laboratoires pendant la réunion du CCT.

## 6.8 Chercheurs invités

- M. Y. Yamada (NMIJ/AIST), du 1<sup>er</sup> septembre 2002 au 30 septembre 2003.
- Mlle Mai Hoang (BNM-INM), du 19 au 24 août 2002, pour la préparation de la comparaison clé CCT-K7, et pendant plusieurs jours entre décembre 2002 et juin 2003 pour une aide complémentaire.

## 7 RAYONNEMENTS IONISANTS

(P.J. ALLISY-ROBERTS)

### 7.1 Rayons x et $\gamma$ (P.J. Allisy-Roberts, D.T. Burns, C. Kessler et S. Picard\* ; P. Roger)

#### 7.1.1 Calculs de Monte Carlo

Le code de Monte Carlo PENELOPE a été utilisé afin de déterminer la composante de dispersion des photons dans le plan de référence, pour l'unité de téléthérapie de la source de  $^{60}\text{Co}$  à 250 TBq et pour la source de  $^{137}\text{Cs}$ . Le facteur de correction pour l'atténuation et la dispersion au niveau des parois des étalons primaires de  $^{60}\text{Co}$  et de  $^{137}\text{Cs}$  a été calculé en utilisant des spectres d'énergie de photons réalistes. Pour le  $^{60}\text{Co}$ , la correction de parois est en accord avec la valeur utilisée à présent à une incertitude-type près. Pour le  $^{137}\text{Cs}$ , la différence est d'environ deux incertitudes-types.

Les calculs du facteur de correction pour la non-uniformité axiale sont en cours. Il est évident d'après les résultats obtenus à ce jour que l'évaluation de Monte Carlo peut être différente de la valeur utilisée à présent de  $5 \times 10^{-3}$  en valeur relative.

Le code PENELOPE a aussi été utilisé pour évaluer les facteurs de correction des étalons du BIPM pour les rayons x aux énergies basse et moyenne, calculés précédemment au moyen du code EGSnrc. En général, les résultats s'accordent bien avec ceux calculés avec le code EGSnrc, même si des différences significatives ont été observées pour la correction de la fluorescence à 10 kV et pour la correction pour la perte d'électrons à 250 kV.

On a dérivé de ces résultats une série des meilleures estimations pour les facteurs de correction et on les a utilisées pour l'analyse des degrés d'équivalence pour la dosimétrie des rayons x. Ce travail a été présenté à la Section I du CCRI en mai 2003, ses membres ont approuvé ces nouvelles valeurs pour les étalons du BIPM. Les degrés d'équivalence sont en cours de vérification dans chaque laboratoire national de métrologie avant leur publication dans la base de données du BIPM sur les comparaisons clés en septembre 2003.

---

\* Mme S. Picard a été transférée de la section des longueurs à la section des rayonnements ionisants en avril 2003.

### 7.1.2 Étalons et équipements pour la dosimétrie

Le travail a commencé sur le calorimètre en graphite étalon ; les principes de base de sa conception ont été établis et la fabrication devrait débiter. La méthode à utiliser pour convertir la dose absorbée du graphite à l'eau a aussi été étudiée.

L'étalon de rayons x aux basses énergies a été utilisé à la détermination de la réponse de plusieurs chambres d'ionisation pour une série de nouvelles qualités de rayonnements conçues afin de simuler les spectres utilisés en mammographie. Les nouvelles qualités utilisent le tube à tungstène actuel avec des filtres de molybdène et de rhodium.

Une importante série de mesures de profil de faisceaux a été effectuée pour tous les équipements pour les rayons x aux énergies basse et moyenne, qui ont permis de dériver les facteurs de correction pour la non-uniformité radiale. La source de  $^{60}\text{Co}$  à bas niveau utilisée pour les étalonnages d'équivalent de dose ambiant, a été à nouveau caractérisée après son déménagement et après collimation ; l'étalon primaire a maintenant réintégré le nouveau faisceau.

Un nouvel équipement a été installé pour le positionnement exact des chambres dans les faisceaux de rayonnement gamma et pour la mesure du courant d'anode dans les équipements pour les rayons x aux moyennes énergies. Deux nouveaux diviseurs à haute tension sont en construction.

### 7.1.3 Comparaisons de dosimétrie

Une comparaison de rayons x aux basses énergies a été effectuée avec le LNMRI (Brésil), et trois comparaisons de rayons x aux moyennes énergies ont été effectuées avec le NMi (Pays-Bas), le NIST (États-Unis) et le LNMRI. Quatre rapports concernant cinq comparaisons de rayons x avec le BEV (Autriche), le NPL (Royaume-Uni), le NRC (Canada) et l'OMH (Hongrie) ont été publiés, et les rapports des comparaisons précédentes avec l'ARPANSA (Australie), le NIM (Chine) et le NMi sont en cours.

Ces résultats seront publiés dans la KCDB une fois approuvés.

Une comparaison de dosimétrie de rayonnement gamma pour le kerma dans l'air a été effectuée récemment avec le LNMRI. Lors de la dernière réunion de la Section I du CCRI, les questions concernant les facteurs de correction des étalons primaires ont été discutées et des progrès peuvent maintenant être faits dans la publication d'un certain nombre de rapports de comparaisons précédentes dans ce domaine, notamment celles avec le BARC (Inde),

l'ENEA (Italie), le NIM, le NMIJ/AIST (Japon), le NPL et la PTB (Allemagne). La série complète des résultats sera publiée dans la KCDB quand les participants se seront mis d'accord sur les facteurs de correction à utiliser.

Le rapport de la comparaison de dose absorbée dans l'eau dans le rayonnement du  $^{60}\text{Co}$  avec le METAS (Suisse) a été publié et celui avec l'OMH (Hongrie) ne devrait pas tarder à l'être. Les rapports de comparaisons précédentes avec le VNIIFTRI (Fédération de Russie) et le NPL ne devraient pas tarder à être prêts. Il est prévu que tous les résultats soient inclus dans le rapport final de la comparaison clé continue BIPM.RI(I)-K4 avant la fin de l'année 2003.

La comparaison clé du CCRI de dose absorbée dans l'eau dans le rayonnement gamma du  $^{60}\text{Co}$  s'est poursuivie cette année par des mesures avec le METAS. Les mesures finales étant terminées au BIPM, on peut estimer que les treize participants ont terminé cette comparaison ; le projet A de rapport est en cours. La chambre de transfert prêtée par l'OMH a été rendue.

Les quatre chambres de transfert pour la comparaison clé du CCRI de dose absorbée aux hautes énergies continuent à être mesurées périodiquement dans le faisceau de  $^{60}\text{Co}$  du BIPM ; elles ont un comportement cohérent. Le METAS (Suisse) a participé à cette comparaison.

#### 7.1.4 Étalonnage d'étalons nationaux pour la dosimétrie

Au total, treize séries d'étalonnages d'étalons nationaux du BNM-LNHB (France), de l'ENEA (Italie) et du SRPI (Suède) ont été faites pour les rayons x aux énergies haute et moyenne.

Treize étalonnages d'étalons nationaux ont été effectués dans les faisceaux de rayonnement gamma du BIPM pour le kerma dans l'air, la dose absorbée dans l'eau ou l'équivalent de dose ambiant, à la demande de l'AIEA, du CRRD (Argentine), du LNMRI et du SRPI.

Le programme de dosimétrie de l'AIEA et de l'OMS continue à être étayé par des irradiations de référence dans les faisceaux de  $^{60}\text{Co}$  et de  $^{137}\text{Cs}$ .

## 7.2 Radionucléides (C. Michotte et G. Ratel ; C. Colas, M. Nonis et C. Veyradier\*)

### 7.2.1 Comparaisons clés internationales de mesures d'activité

#### *i) Comparaison de mesures d'activité d'une solution de $^{32}\text{P}$*

La solution utilisée pour cette comparaison a été préparée par la PTB à partir d'une solution sans entraîneur d'orthophosphate dans l'acide chlorhydrique par addition d'aliquotes appropriés de phosphate diacide de sodium et d'une solution aqueuse de formaldéhyde. La PTB a aussi préparé et envoyé les ampoules aux quatorze participants au printemps 2002. Les dates de référence et de mesures ont été rapprochées de manière à minimiser les désagréments dus à la demi-vie assez courte du  $^{32}\text{P}$ . Comme la solution contenait environ 10 % d'impuretés sous forme de  $^{33}\text{P}$  et de  $^{35}\text{S}$ , le Groupe de travail sur les comparaisons clés a décidé de repousser de trois mois la date limite pour la remise des résultats de manière à ce que les participants puissent suivre la désintégration des trois radionucléides et évaluer les corrections avec une incertitude plus faible.

Sept méthodes fondées principalement sur des compteurs proportionnels ou des spectromètres à scintillation liquide ont été utilisées ; elles ont donné vingt et un résultats. Tous les résultats, à l'exception d'un, se situent dans la bande comprise entre +2,9 % et -3,1 % autour de la valeur de la moyenne arithmétique de la concentration en activité, avec deux groupes homogènes de valeurs éloignées de 4 %. Nous ne comprenons pas pourquoi. Le projet A de rapport de la comparaison a été écrit, envoyé aux participants et présenté à la réunion de la Section II du CCRI en mai 2003. Une autre comparaison visant à résoudre ces différences est prévue par la Section II du CCRI.

#### *ii) Comparaison de mesures d'activité d'une solution de $^{204}\text{Tl}$*

Cette comparaison fait suite aux recommandations du groupe de travail établi pour résoudre les problèmes rencontrés lors de la précédente comparaison internationale de mesures d'activité d'une solution de  $^{204}\text{Tl}$ , qui a eu lieu en 1997. Les vingt laboratoires participants ont reçu une ampoule produite et distribuée par le BNM-LNHB. Ils ont utilisé dix méthodes de mesure différentes qui ont donné trente-deux résultats indépendants. Tous les résultats s'accordent de manière satisfaisante, sauf un dont la valeur se situe environ 6,2 % en dessous des autres et qui a été obtenu par la méthode des traceurs d'efficacité en utilisant le  $^{60}\text{Co}$  comme traceur. Si l'on ne tient pas

---

\* En temps partagé avec *Metrologia*.

compte du résultat le plus bas, les résultats sont distribués symétriquement dans une bande située à  $\pm 1,8\%$  de part et d'autre de la moyenne arithmétique. Les résultats de cette deuxième comparaison internationale sont plus cohérents que ceux de la première. Il faut cependant noter que le choix de la solution de  $^{204}\text{Tl}$  demande un soin spécial (avec une concentration en entraîneur plus faible), ainsi que la préparation de la source. Il est clair que l'utilisation du  $^{60}\text{Co}$  comme traceur peut produire des résultats aberrants. Le projet A de rapport a été rédigé et distribué aux participants avant la réunion de la Section II du CCRI. On prend maintenant en compte les commentaires et corrections envoyés par les participants.

L'activité de la solution de  $^{204}\text{Tl}$  a été mesurée au BIPM au moyen de la méthode CIEMAT/NIST. Les résultats obtenus s'accordent étroitement avec ceux de la comparaison.

### *iii) Comparaison de mesures d'activité d'une solution de $^{192}\text{Ir}$*

Dix-neuf laboratoires ont accepté de participer à cette comparaison. Elle a été organisée pour améliorer les résultats obtenus lors de la comparaison de 1997. Le NMIJ/AIST a apporté un soin spécial à la préparation de la solution et a utilisé une faible concentration en entraîneur. Toutes les ampoules ont été remplies de 3,6 g d'une solution active et ont été remises au BIPM pour être mesurées dans la chambre d'ionisation du SIR. Le BIPM les a ensuite envoyées aux participants. À ce jour, quatorze laboratoires seulement ont envoyé leurs résultats. Un rapport partiel présentant ces résultats selon une échelle utilisant une constante *ad hoc* a été préparé et envoyé aux participants qui ont soumis leurs résultats. Ces résultats montrent une amélioration visible par rapport à ceux de la précédente comparaison de  $^{192}\text{Ir}$ .

La valeur obtenue par le BIPM selon la méthode des coïncidences  $4\pi\beta\text{-}\gamma$  au moyen d'un compteur proportionnel à pression fonctionnant à 1,0 MPa s'accorde de près à la moyenne arithmétique des autres résultats reçus à ce jour.

### *iv) Comparaison de mesures d'activité d'une solution de $^{241}\text{Am}$*

Cette comparaison, lancée au printemps 2002, se poursuit et s'achèvera à la fin de l'année 2003. L'activité de l'échantillon du BIPM est mesurée selon la méthode des coïncidences au moyen d'un compteur proportionnel à la pression atmosphérique et par la méthode de comptage par scintillation liquide.

### 7.2.2 Autres comparaisons clés

La comparaison de mesures d'activité d'une solution de  $^{65}\text{Zn}$  est en cours. La date limite pour soumettre les résultats a été retardée de deux mois par la Section II du CCRI afin de permettre à certains laboratoires de terminer l'analyse de leurs résultats expérimentaux. Le projet A de rapport devrait être prêt à l'été 2003.

La solution de  $^{54}\text{Mn}$  a été préparée par la PTB et envoyée aux vingt-trois participants. La date limite de cette comparaison est fixée à novembre 2003.

Un projet A de rapport a été envoyé aux participants des comparaisons de  $^{152}\text{Eu}$  et de  $^{238}\text{Pu}$ . Les commentaires et améliorations sont pris en compte dans les projets B de rapports. Le rapport du BIPM sur la comparaison de  $^{89}\text{Sr}$  est en préparation.

### 7.2.3 Système international de référence (SIR) pour la mesure d'activité de radionucléides émetteurs de rayonnement gamma

Au cours de l'année 2002 le BIPM a reçu dix-sept ampoules pour la mesure de douze radionucléides différents, en provenance de dix laboratoires : le BARC, le BEV (deux ampoules), le BNM-LNHB (deux ampoules), le CIEMAT, le CMI-IIR, le CSIR-NML, le KRIS, le NIST (six ampoules pour cinq radionucléides différents), le NMIJ/AIST et l'OMH. Par conséquent, seize nouveaux résultats ont été enregistrés : le  $^{18}\text{F}$  (deux résultats),  $^{54}\text{Mn}$  (deux résultats),  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{59}\text{Fe}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{67}\text{Ga}$ ,  $^{85}\text{Kr}$  (deux résultats),  $^{88}\text{Y}$ ,  $^{99}\text{Tc}^m$  (deux résultats),  $^{125}\text{I}$ ,  $^{131}\text{I}$  et  $^{134}\text{Cs}$ . En parallèle, les ampoules préparées pour les différentes comparaisons clés ont été mesurées dans les chambres d'ionisation du SIR : quatre ampoules de  $^{241}\text{Am}$  préparées par le NPL et vingt ampoules de  $^{192}\text{Ir}$  préparées par le NMIJ/AIST, afin de relier directement les résultats individuels de ces comparaisons de la Section II du CCRI au SIR tel que publié dans la KCDB. Les ampoules d'autres comparaisons internationales d'émetteurs de rayonnement bêta pur ont aussi été mesurées pour déterminer la réponse bêta dans le SIR : une ampoule de  $^{90}\text{Y}$  préparée par le NIST pour une comparaison de l'International Committee for Radionuclide Metrology (ICRM), et une série d'ampoules de  $^{32}\text{P}$  contenant différentes masses de solution préparées par la PTB dans le cadre de la comparaison de la Section II du CCRI. Une source solide de  $^{166}\text{Ho}^m$  du NMIJ/AIST a été mesurée à des fins de vérification. Le nombre cumulé d'ampoules mesurées depuis l'origine du SIR en 1976 s'élève maintenant à 835, ce qui correspond à un total de 606 résultats indépendants pour 62 radionucléides différents.

Après les mesures du  $^{18}\text{F}$  à très courte durée de vie, tous les résultats récents du SIR pour les radionucléides à courte durée de vie ( $^{99}\text{Tc}^m$ ,  $^{56}\text{Mn}$ ,  $^{123}\text{I}$ ) ont été révisés à l'aide d'un nouvel algorithme tenant compte de la désintégration pendant les mesures.

#### 7.2.4 Courbe d'efficacité du SIR

Des simulations par la méthode de calcul de Monte Carlo de la chambre d'ionisation du SIR sont en cours à l'IRA (Suisse). La dépendance possible du courant d'ionisation en fonction de la masse volumique de la solution et de l'épaisseur de la paroi de l'ampoule est à l'étude pour différentes énergies de photons.

La courbe d'efficacité en fonction de l'énergie du rayonnement gamma utilisée actuellement dans le SIR a été obtenue par un processus itératif long qui traite le cas des émetteurs de rayonnements gamma multiples. Un tel processus peut être évité par la résolution des équations de modèle au moyen de la méthode non-linéaire des moindres carrés. Un projet de collaboration avec le NPL a débuté.

#### 7.2.5 Spectrométrie de rayonnement gamma

Des vérifications des impuretés et des mesures d'activité ont été faites pour les ampoules de  $^{18}\text{F}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{192}\text{Ir}$  et de  $^{241}\text{Am}$  du SIR. Aucune impureté n'a été identifiée. L'activité de l'impureté de  $^{154}\text{Eu}$  mesurée pour la solution de  $^{152}\text{Eu}$  utilisée dans la comparaison de la Section II du CCRI est en accord avec la valeur moyenne des mesures d'impureté effectuées par les quatorze participants à la comparaison, dans les limites d'une incertitude-type.

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

#### 7.3.1 Publications extérieures

1. Allisy-Roberts P.J., Martin C.J., Ionising radiation legislation, In *Practical Radiation Protection in Health Care* (C.J. Martin and D.G. Sutton eds.), Oxford University Press, 2002, 67-77.
2. Allisy-Roberts P.J., Thomas C., Shortt K.R., Meghzifene A., The operation of the CIPM mutual recognition arrangement and its relevance to the SSDL members of the IAEA/WHO network, *SSDL Newsletter*, 2003, **47**, 25-33.

3. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Am-241 of the activity measurements of the radionuclide  $^{241}\text{Am}$ , *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 06001.
4. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Am-243 of the activity measurements of the radionuclide  $^{243}\text{Am}$ , *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 06002.
5. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Ba-133 of the activity measurements of the radionuclide  $^{133}\text{Ba}$  and the links for the 1984 international comparison CCRI(II)-K2.Ba-133, *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 06011.
6. Ratel G., Michotte C., CCRI comparison CCRI(II)-K2.I-125 of activity measurements of the radionuclide  $^{125}\text{I}$ , *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 06015.
7. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Fe-59 of activity measurements of the radionuclide  $^{59}\text{Fe}$ , *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 06009.
8. Ratel G., Michotte C., Simpson B.R.S., Igllicki A., Activity measurements of the radionuclide  $^{60}\text{Co}$  for the CSIR-NML and the CNEA in the BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Co-60, *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 06010.
9. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Ce-139 of activity measurements of the radionuclide  $^{139}\text{Ce}$  and links for the 1976 international comparison CCRI(II)-K2.Ce-139, *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 06012.
10. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Hg-203 of activity measurements of the radionuclide  $^{203}\text{Hg}$ , *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 06013.
11. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Ga-67 of activity measurements of the radionuclide  $^{67}\text{Ga}$ , *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 06014.
12. Ratel G., Michotte C., Hino Y., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Co-58 of the activity measurements of the radionuclide  $^{58}\text{Co}$  and the links for the 2000 regional comparison APMP.RI(II)-K2.Co-58  $^{58}\text{Co}$ , *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 06006.
13. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Co-60 of the activity measurements of the radionuclide  $^{60}\text{Co}$ , *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 06007.

14. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Co-57 of activity measurements of the radionuclide  $^{57}\text{Co}$ , *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 06004.
15. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.F-18 of activity measurements of the radionuclide  $^{18}\text{F}$ , *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 06005.
16. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Cr-51 of activity measurements of the radionuclide  $^{51}\text{Cr}$ , *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 06008.
17. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Co-56 of activity measurements of the radionuclide  $^{56}\text{Co}$ , *Metrologia*, 2002, **39**, *Tech. Suppl.*, 06006.
18. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Ce-144 of activity measurements of the radionuclide  $^{144}\text{Ce}$ , *Metrologia*, 2002, **39**, *Tech. Suppl.*, 06003.
19. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Bi-207 of activity measurements of the radionuclide  $^{207}\text{Bi}$ , *Metrologia*, 2002, **39**, *Tech. Suppl.*, 06004.
20. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Ce-141 of activity measurements of the radionuclide  $^{141}\text{Ce}$ , *Metrologia*, 2002, **39**, *Tech. Suppl.*, 06005.
21. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Au-195 of activity measurements of the radionuclide  $^{195}\text{Au}$ , *Metrologia*, 2002, **39**, *Tech. Suppl.*, 06007.
22. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Eu-154 of activity measurements of the radionuclide  $^{154}\text{Eu}$ , *Metrologia*, 2002, **39**, *Tech. Suppl.*, 06008.
23. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Eu-155 of activity measurements of the radionuclide  $^{155}\text{Eu}$ , *Metrologia*, 2002, **39**, *Tech. Suppl.*, 06009.
24. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Ag-110m of the activity measurements of the radionuclide  $^{110}\text{Ag}^m$ , *Metrologia*, 2002, **39**, *Tech. Suppl.*, 06001.
25. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Ba-140 of activity measurements of the radionuclide  $^{140}\text{Ba}$ , *Metrologia*, 2002, **39**, *Tech. Suppl.*, 06002.

### 7.3.2 Rapports BIPM

26. Allisy-Roberts P.J., Burns D.T., Stucki G., Comparison of the standards for absorbed dose to water of the METAS and the BIPM for  $^{60}\text{Co}$  gamma radiation, *Rapport BIPM-2003/02*, 2003, 11 p.
27. Burns D.T., Witzani J., Comparison of the air-kerma standards of the BEV and the BIPM in the low-energy x-ray range, *Rapport BIPM-2002/11*, 2002, 10 p.
28. Burns D.T., Csete I., Comparison of the air-kerma standards of the OMH and the BIPM in the low-energy x-ray range, *Rapport BIPM-2002/12*, 2002, 10 p.
29. Burns D.T., Shortt K.R., VanderZwan L., Comparison of the air-kerma standards of the NRC and the BIPM in the medium-energy x-ray range, *Rapport BIPM-2002/15*, 2002, 12 p.

### 7.3.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

P.J. Allisy-Roberts s'est rendue :

- au NPL (Royaume-Uni), du 12 au 14 novembre 2002, pour assister aux groupes de travail sur les rayonnements ionisants et l'acoustique de l'U.K. Department of Trade and Industry Measurement Advisory Committee (MAC), et les 13 et 14 mars 2003, pour une réunion du MAC ;
- à Londres (Royaume-Uni), le 9 janvier et le 23 avril 2003, pour le comité de rédaction du *Journal of Radiological Protection (JRP)*, et le 15 avril 2003 pour une journée d'étude sur les innovations de l'U.K. Department of Trade and Industry ;
- à Oxford (Royaume-Uni), les 23 et 24 juin 2003, pour une réunion de l'International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU) Report Committee on quality assurance in radiation measurement ;
- à Vienne (Autriche), du 30 juin au 1<sup>er</sup> juillet 2003, pour présider l'Action plan meeting on the dosimetry symposium de l'AIEA.

D.T. Burns s'est rendu à Lisbonne (Portugal), du 9 au 11 octobre 2002, comme représentant du BIPM à l'EUROMET Workshop and Contact Person Meeting, et pour présenter le document intitulé « EUROMET, CCRI and MRA – organization and documentation of key and supplementary comparisons ».

C. Michotte s'est rendue à l'INSTN, CEA Saclay (France), du 15 au 17 octobre 2002, pour une présentation aux Journées de spectrométrie gamma et x.

C. Kessler s'est rendue au METAS (Suisse), le 20 mars 2003, pour la comparaison clé CCRI(I)-K4.

P.J. Allisy-Roberts, C. Kessler et D.T. Burns se sont rendus à Vienne (Autriche) pour participer au symposium de l'AIEA (du 25 au 29 novembre 2002). D.T. Burns y a présenté « The calculation of wall and non-uniformity correction factors for the BIPM air-kerma standard for  $^{60}\text{Co}$  using the Monte Carlo code PENELOPE ». P.J. Allisy-Roberts y a présenté « The Mutual Recognition Arrangement (MRA) and primary standard dosimetry comparisons » et présidé les séances d'ouverture et de clôture.

P.J. Allisy-Roberts, C. Michotte et G. Ratel se sont rendus à Dublin (Irlande), du 2 au 6 juin 2003, pour la 14<sup>e</sup> Conference on Radionuclide Metrology and its Applications – ICRM 2003. G. Ratel y a présenté « Overview of the results of past comparisons » et P.J. Allisy-Roberts « The Mutual Recognition Arrangement and NMI activity comparisons ».

#### 7.4 Activités en liaison avec des organisations extérieures

P.J. Allisy-Roberts est membre du MAC dans le domaine de l'acoustique et des rayonnements ionisants et membre scientifique de l'IRAC. Elle est membre de l'ICRU Report Committee ; elle représente le BIPM au Comité scientifique des laboratoires secondaires de dosimétrie de l'AIEA, et est membre du Comité de rédaction du *Journal of Radiological Protection* et conseiller de *Physics in Medicine and Biology* et du *Bulletin du BNM*.

D.T. Burns représente le BIPM aux réunions de l'ICRU et aux réunions des personnes chargées des relations dans le domaine des rayonnements ionisants et de la radioactivité au sein de l'EUROMET. Il est conseiller de *Physics in Medicine and Biology* et de *Medical Physics*.

G. Ratel représente le BIPM à l'International Committee for Radionuclide Metrology (ICRM). Il a fait partie du comité scientifique de la 14<sup>e</sup> Conference on Radionuclide Metrology and its Applications – ICRM 2003, dont il a été referee pour les présentations de la session consacrée aux comparaisons internationales. Il est aussi conseiller extérieur du Radioisotope Centre POLATOM (Pologne).

### **7.5 Activités liées au travail des Comités consultatifs**

P.J. Allisy-Roberts est secrétaire exécutive du CCRI et de ses trois Sections, ainsi que du CCAUV.

Elle est membre, avec D.T. Burns, des groupes de travail de la Section I du CCRI sur l'équivalence en métrologie (les comparaisons clés) et sur les facteurs de correction pour le kerma dans l'air pour les chambres à cavité.

G. Ratel est membre des groupes de travail de la Section II du CCRI sur l'extension du SIR aux émetteurs de rayonnement bêta, sur les comparaisons clés, et sur les incertitudes de mesure.

C. Michotte représente le BIPM au Groupe de travail 1 du Comité commun pour les guides en métrologie. Elle en est le rapporteur.

### **7.6 Visiteurs de la section des rayonnements ionisants**

- Mme M. Viirsoo (AATN), le 2 juillet 2002.
- M. M. Woods (NPL), le 19 septembre 2002.
- M. S. Korostin (VNIIFTRI), le 30 septembre 2002.
- MM. I. Kharitonov et S. Sepman (VNIIM), le 4 octobre 2002.
- Mme M. Kusly-Ring et M. R. Broda (POLATOM), le 5 décembre 2002.
- M. A. Beceril Vilchis (ININ), le 6 décembre 2002.
- M. Y. Hino (NMIJ/AIST), le 4 février 2003.
- MM. A. Pearce, S. Judge et M. Cox (NPL), le 5 mars 2003.
- MM. P. Cassette (BNM-LNHB) et K.B. Lee (KRISS), le 28 mars 2003.
- M. G. Samuelson (SRPI), le 10 avril 2003.

### **7.7 Stagiaires et chercheurs invités**

- Mme M. Pia Toni (ENEA), du 1<sup>er</sup> au 12 juillet 2002.
- M. R. Thomas (NPL), du 25 juillet au 1<sup>er</sup> août 2002.
- M. L. Czap (AIEA), du 14 au 18 octobre 2002.
- M. L. de Prez (NMI), du 4 au 8 novembre 2002.
- M. C. da Silva (LNMRI), du 13 janvier 2003 au 7 mars 2003.
- M. G. Stucki (METAS), du 17 au 19 février 2003.
- M. G. Peixoto (LNMRI), du 26 au 30 mai 2003.

- Mme M.-N. Amiot-Peron (BNM-LNHB), les 11 et 12 juin 2003.

## 8 CHIMIE (R.I. WIELGOSZ)

### 8.1 Programme de comparaisons d'étalons de référence mesureurs d'ozone (J. Viallon et R.I. Wielgosz ; P. Moussay\*)

Le BIPM joue un rôle actif de laboratoire pilote en organisant l'étude pilote CCQM-P28 (ozone, niveau ambiant). Un questionnaire a été distribué aux laboratoires nationaux de métrologie pour connaître le niveau d'activité et les équipements nationaux pour les étalons de référence d'ozone. Vingt-neuf laboratoires y ont répondu. Un protocole concernant cette étude, et notamment le transport des étalons nationaux de référence et de transfert au BIPM, a ensuite été distribué aux laboratoires. Vingt laboratoires nationaux se sont inscrits pour y participer. Les mesures devraient débuter en juillet 2003 et se poursuivre jusqu'en septembre 2004.

#### 8.1.1 Fabrication et détermination des caractéristiques des photomètres de référence étalons

La collaboration entre le NIST et le BIPM sur les étalons d'ozone se poursuit et s'est accompagnée d'un échange de personnel. P. Moussay a accompli un stage de deux mois au NIST et a achevé la fabrication des photomètres de référence étalons SRP 31 et 32 en collaboration avec le personnel du NIST. J.E. Norris (NIST) est actuellement au BIPM pour collaborer à l'installation des photomètres SRP 31 et 32, et à la fabrication du photomètre SRP 33.

Des études ont été effectuées au BIPM pour valider le bilan d'incertitude des photomètres de référence étalons. Une source de biais dans les mesures de température due à l'échauffement produit par la source d'ozone, occasionnant des erreurs de 0,2 % dans la valeur mesurée de la fraction molaire de l'ozone, a été identifiée et éliminée. Les concentrations de composés organiques volatiles et de vapeur d'eau dans la source d'air « pur » de référence ont été mesurées, et l'on a constaté qu'elles se situent à un

---

\* Depuis le 1<sup>er</sup> février 2003, date à laquelle il a rejoint la section de chimie.

niveau qui ne provoque pas de décalages dans les mesures. Des calculs ont été faits pour estimer l'effet des réflexions multiples dans les cuves à gaz des photomètres de référence étalons et il est prévu d'effectuer des mesures pour quantifier cet effet.

#### 8.1.2 Analyses temporelles des mesures de photomètres de référence étalons mesureurs d'ozone

Les résultats des mesures répétées de la fraction molaire d'ozone dans l'air au moyen de trois photomètres de référence étalons sont en cours d'analyse, en collaboration avec la section d'électricité (*voir* Section 5.3.3 page 68).

#### 8.1.3 Comparaisons d'étalons de référence mesureurs d'ozone

Une comparaison d'étalons de référence mesureurs d'ozone de l'Institut hydrométéorologique tchèque (CHMI) et du BIPM a été effectuée. Le CHMI conserve un photomètre de référence étalon du NIST (SRP 17). Les instruments ont été comparés dans le domaine de fraction molaire de l'ozone compris entre 0 nmol/mol et 800 nmol/mol. Les étalons de référence s'accordent bien dans les limites de l'incertitude de mesure évaluée.

Le BNM-LNE et le BIPM ont entrepris une série de comparaisons utilisant un étalon de transfert. Les résultats des comparaisons sont en cours d'évaluation et permettront d'estimer la stabilité de l'étalon de transfert.

### 8.2 Équipements pour les étalons primaires de dioxyde d'azote (M. Esler et R.I. Wielgosz)

Des équipements primaires pour la préparation dynamique des étalons de dioxyde d'azote sont en cours d'installation. À cette fin, une balance à suspension magnétique a été installée en mai 2002 pour mesurer les pertes de masse dans les tubes à perméation du dioxyde d'azote. Le BIPM et le fabricant ont effectué des essais pendant dix mois. La balance n'ayant pas répondu aux spécifications déclarées à la fin de cette période, le fabricant a dû la remplacer par un nouveau système. D'autres améliorations sont prévues. Une fois prêts, ces équipements serviront de référence primaire pour les mesures de la fraction massique du dioxyde d'azote pour le titrage en phase gazeuse.

### 8.3 Équipements pour le titrage en phase gazeuse

(M. Esler et R.I. Wielgosz)

Des équipements pour le titrage en phase gazeuse sont mis en place pour servir de deuxième méthode primaire de mesure de concentration d'ozone. Le système initial utilisera la dilution dynamique étalon de monoxyde d'azote de concentration élevée utilisant des contrôleurs de débit massique. Les changements en concentration de monoxyde et de dioxyde d'azote seront contrôlés par un analyseur à chimioluminescence et comparés à la perte d'ozone déterminée par absorption d'ultraviolet. Les cuves de dilution et de réaction composant le système ont été conçues et construites. La détermination des caractéristiques de cet équipement est en cours et comprend : l'étalonnage des instruments de contrôle du débit massique (par rapport aux « molblocs ») ; la détermination du temps de réponse des instruments de contrôle du titrage ; l'automatisation de son fonctionnement et de la collecte des données ; l'étude des réacteurs à flux laminaire à écoulement turbulent. Il est prévu que cet équipement participe à l'étude pilote CCQM-P28 (ozone, niveau ambiant) une fois prêt.

### 8.4 Équipements pour les comparaisons d'étalons de monoxyde d'azote

(M. Esler et R.I. Wielgosz)

Des équipements pour la comparaison d'étalons de monoxyde d'azote d'une valeur nominale de 50  $\mu\text{mol/mol}$  ont été mis au point pour la comparaison d'étalons de monoxyde d'azote pour le titrage en phase gazeuse. Un analyseur de monoxyde d'azote par absorption d'ultraviolet est utilisé pour les mesures comparatives. Nous avons acheté une série de dix mélanges primaires de référence de monoxyde d'azote et d'azote préparés par gravimétrie, ainsi qu'une série de mélanges secondaires de monoxyde d'azote et d'azote du commerce pour le système de titrage en phase gazeuse. Un système d'autoéchantillonnage a été intégré à l'équipement, et l'incertitude sur le rattachement des mélanges secondaires par rapport aux étalons primaires est en cours d'évaluation. Une fois prêts, ces équipements seront utilisés pour s'assurer que les mesures de fraction molaire du monoxyde d'azote dans le système de titrage en phase gazeuse sont traçables aux étalons primaires de gaz préparés par gravimétrie.

### 8.5 Équipements pour la spectroscopie infrarouge par transformée de Fourier (M. Esler)

Un nouveau spectromètre infrarouge par transformée de Fourier de résolution moyenne pour l'analyse des gaz (ThermoNicolet Nexus) a été installé. L'instrument est équipé de deux détecteurs refroidis à l'azote liquide (MCT et InSb), et de cuves à gaz où les faisceaux font des trajets de 100 mm et de 6,4 m ; il a une résolution maximale de  $0,125 \text{ cm}^{-1}$ . Une cuve de 40 m de trajet, mieux adaptée à l'analyse de traces, a été installée en juin 2003. Le logiciel pour l'analyse quantitative des spectres en phase gazeuse a été acheté à l'université de Wollongong (Australie) et intégré au nouvel équipement pour la spectroscopie infrarouge par transformée de Fourier. Le rapport signal-sur-bruit du système a été entièrement caractérisé dans diverses conditions. Une série de filtres optiques à bande passante a été acquise pour optimiser l'enregistrement des spectres de monoxyde d'azote, de dioxyde d'azote et d'ozone. Le spectromètre infrarouge par transformée de Fourier est placé dans une chambre de protection spécialement conçue pour l'isoler des interférences spectroscopiques provenant de la vapeur d'eau et du gaz carbonique ambiants. Ce système a été couplé aux équipements pour le titrage en phase gazeuse afin d'effectuer des analyses simultanées du monoxyde d'azote, du dioxyde d'azote et de l'ozone. Il a été utilisé pour l'analyse des impuretés des générateurs d'air « pur » et du nouveau compresseur d'air sans huile. Une présentation à propos des incertitudes et de la traçabilité de la spectroscopie infrarouge par transformée de Fourier a été faite au Groupe de travail du CCQM sur l'analyse des gaz en avril 2003. Ce système sera utilisé pour analyser les impuretés des gaz dans les équipements pour les étalons de monoxyde et de dioxyde d'azote.

### 8.6 Composition de l'air (M. Esler et R.I. Wielgosz)

Une étude sur la composition de l'air a été entreprise en collaboration avec la section des masses et présentée au Groupe de travail du CCQM sur l'analyse des gaz. Pour résoudre les différences entre les deux méthodes utilisées afin de déterminer la masse volumique de l'air, il a été proposé de redéterminer la fraction molaire de l'argon dans l'air avec une incertitude-type composée de  $20 \mu\text{mol/mol}$ . Certains laboratoires membres du groupe de travail du CCQM ont déjà débuté les mesures, et le KRISS (Rép. de Corée) a fait part de résultats préliminaires prometteurs.

## 8.7 Programme d'analyse organique (R.I. Wielgosz et A. Henrion\*)

Le BIPM a examiné avec le Groupe de travail du CCQM sur l'analyse organique l'extension du programme de travail du BIPM au domaine de l'analyse organique. Un questionnaire a été distribué aux laboratoires nationaux de métrologie membres du groupe de travail du CCQM concernant leurs activités dans le domaine des substances organiques pures et leurs besoins quant à un programme international dans ce domaine. Quatorze laboratoires nationaux de métrologie ont répondu à ce questionnaire, le rapport sur les réponses au questionnaire a été discuté au sein du groupe de travail. L'établissement d'un programme de laboratoire au BIPM pour étayer et coordonner la série de comparaisons sur les impuretés organiques dans le cadre de l'étude pilote CCQM-P20 a été approuvé par le CCQM.

## 8.8 Publications, conférences et voyages : section de chimie

### 8.8.1 Publications extérieures

1. Milton M.J.T., Wielgosz R.I., Use of the international system of units (SI) in isotope ratio mass spectrometry, *Rapid Commun. Mass Spectrom.*, 2002, **16**, 2201-2204.
2. Wielgosz R.I., *Importance of Traceable pH Measurements in Science and Technology* (P. Spitzer and G. Meinrath eds.), *PTB-ThEx-25*, 2002, 1-1-1-7. (ISBN 3-89701-903-5)
3. Wielgosz R.I., International comparability of chemical measurement results, *Anal. Bioanal. Chem.*, 2002, **374**, 767-771.

### 8.8.2 Rapport BIPM

4. Wielgosz R.I., Viallon J., Novak J., Vokoun M., Comparison of ozone reference standards of the CHMI and the BIPM, *Rapport BIPM-2003/03*, décembre 2002, 11 p.

---

\* PTB (Allemagne).

### 8.8.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

R.I. Wielgosz s'est rendu :

- au NIST, Gaithersburg (États-Unis), les 28 et 29 août 2002, pour assister au Groupe de travail 1 du JCTLM et présenter la KCDB ;
- à Feltham (Royaume-Uni), du 23 au 25 septembre 2002, pour assister au cours de formation des experts de l'UKAS sur la norme ISO/CEI 17025 ;
- à Bratislava (Slovaquie), du 25 septembre au 3 octobre 2002, pour représenter le BIPM à la 13<sup>e</sup> session de la Commission de l'OMM Instruments and Methods of Observation (CIMO) et présenter la KCDB ;
- au LGC, Teddington (Royaume-Uni), le 21 octobre 2002 et le 21 février 2003, pour discuter du programme du BIPM sur l'analyse organique ;
- à Santiago (Chili), du 28 au 31 octobre 2002, pour représenter le BIPM à l'assemblée générale du SIM, et pour une présentation intitulée « World traceability in chemical measurements » au séminaire du SIM ;
- au CSIR-NML, Pretoria (Afrique du Sud), du 18 au 21 novembre 2002, pour les groupes de travail du CCQM sur l'analyse des gaz et sur l'analyse organique, et pour l'examen par les pairs des laboratoires de chimie du CSIR-NML ;
- à Gand (Belgique), les 13 et 14 janvier 2003, pour une présentation intitulée « Metrology in chemistry, development of measurement infrastructure », à une réunion des laboratoires nationaux de métrologie des futurs États membres de l'Union européenne ;
- au BNM-LNE, Paris (France), le 23 janvier 2003, pour discuter du programme du BIPM sur l'analyse organique ;
- au BAM, Berlin, et à la PTB, Braunschweig (Allemagne), les 3 et 4 février 2003, pour des discussions sur le programme du BIPM sur l'analyse organique ;
- à Anvers et Geel (Belgique), du 17 au 21 mars 2003, pour assister à une conférence sur la qualité dans les laboratoires médicaux et aux réunions des groupes de travail 1 et 2 du JCTLM ;
- à l'OMS, Genève (Suisse), le 4 avril 2003, pour des discussions sur le protocole d'accord entre l'OMS et le CIPM ;
- à Genève (Suisse), du 7 au 9 mai 2003, pour représenter le BIPM au 14<sup>e</sup> congrès de l'OMS ;

- à Varsovie (Pologne), le 2 juin 2003, à l'université de Varsovie, pour une présentation intitulée « An international programme on metrology in chemistry », à la réunion d'ouverture du Polish Centre for Education in Metrology in Chemistry ;
- Genève (Suisse), du 11 au 13 juin 2003, pour représenter le BIPM et le CCQM à la 26<sup>e</sup> réunion de l'ISO-REMCO, et présenter l'annexe C de l'Arrangement de reconnaissance mutuelle du CIPM.

M. Esler s'est rendu :

- au BNM-LNE, Paris (France), le 8 juillet 2002, pour des discussions avec Ch. Sutour au sujet du fonctionnement de la balance à suspension magnétique Rubotherm ;
- au NPL, Teddington (Royaume-Uni), les 19 et 20 septembre 2002, pour rencontrer M. Milton et d'autres collègues du NPL travaillant dans le domaine de la métrologie en chimie, et en particulier des gaz ;
- à Chislehurst (Royaume-Uni), les 3 et 4 décembre 2002, pour assister au « Laboratory Accreditation Course (ISO 17025), SIRA Test and Certification Ltd » ;
- à Prague (République tchèque), du 21 au 23 mai 2003, pour assister à la conférence « QA/QC in the Field of Emission and Air Quality Measurements ».

J. Viallon s'est rendue au :

- CSIR-NML, Pretoria (Afrique du Sud), du 18 au 21 novembre 2002, pour le Groupe de travail du CCQM sur l'analyse des gaz ;
- BNM-LNE, Paris (France), le 5 mars 2003, pour visiter le laboratoire et participer à des discussions sur l'étude pilote CCQM-P28.

P. Moussay s'est rendu au :

- BNM-LNE, Paris (France), le 5 mars 2003, pour visiter le laboratoire et participer à des discussions sur l'étude pilote CCQM-P28 ;
- NIST, Gaithersburg (États-Unis), du 15 mars au 10 mai 2003, pour effectuer un stage et assembler deux photomètres de référence étalons pour le BIPM.

## 8.9 Activités en liaison avec des organisations extérieures

R. Wielgosz représente le BIPM auprès de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et de l'Organisation mondiale de la santé (OMS). Il représente le BIPM et le CCQM à l'ISO-REMCO. Il est membre des groupes

de travail du Comité commun pour la traçabilité en médecine de laboratoire (JCTLM) et membre du comité de rédaction d'*Accreditation and Quality Assurance*.

#### **8.10 Activités liées au travail des Comités consultatifs**

R.I. Wielgosz est secrétaire exécutif du CCQM et membre de ses groupes de travail sur l'analyse des gaz et sur l'analyse organique.

M. Esler et J. Viallon sont membres du Groupe de travail du CCQM sur l'analyse des gaz.

Le BIPM est le laboratoire pilote de l'étude pilote CCQM-P28, sur l'ozone au niveau ambiant.

#### **8.11 Visiteurs de la section de chimie**

- Mme M. Sassi (IMGC-CNR), le 22 octobre 2002.
- M. R. Langenfelds (CSIRO Atmospheric Research) et Mme M. Schmidt (CNRS/LSCE, Gif-sur-Yvette, France), le 13 novembre 2002.
- MM. J. Novak et M. Vokoun (CHMI), du 2 au 6 décembre 2002.
- MM. M. Priel et G. Hervouet (BNM-LNE), le 25 mars 2003.
- M. H. Tanimoto (NIES), le 14 avril 2003.
- Mme A. Surget (BNM-LNE), du 4 au 6 juin 2003.

#### **8.12 Chercheur invité**

- M. J. Norris (NIST), du 16 juin au 1<sup>er</sup> août 2003.

## **9 LA BASE DE DONNÉES DU BIPM SUR LES COMPARAISONS CLÉS (C. THOMAS)**

### **9.1 Informations enregistrées dans la base de données (C. Thomas et S. Maniguet)**

L'annexe B de la base de données recouvre maintenant environ 500 comparaisons clés et supplémentaires réalisées sous les auspices du Comité international et des organisations régionales de métrologie. Les résultats de 90 d'entre elles étaient publiés par l'intermédiaire de la KCDB au 1<sup>er</sup> juin 2003. Les résultats de nouvelles comparaisons bilatérales réalisées entre le BIPM et un certain nombre de laboratoires nationaux de métrologie viennent régulièrement compléter les résultats déjà publiés des comparaisons clés en continu du BIPM dans le domaine de l'électricité. Depuis octobre 2002, les résultats de 28 comparaisons clés, parmi les 59 comparaisons clés en continu du BIPM d'activité de radionucléides mesurée dans le Système international de référence (SIR), ont été approuvés et publiés.

Les résultats de sept comparaisons clés régionales (deux organisées par l'APMP et cinq par l'EUROMET) sont reliés à ceux des comparaisons clés des Comités consultatifs correspondantes ; les jeux complets des degrés d'équivalence sont publiés par l'intermédiaire de la KCDB. Le même type de liaison est aussi réalisé pour trois comparaisons clés d'activité de radionucléide, organisées par la Section II du CCRI et reliées aux comparaisons clés en continu du BIPM effectuées dans le cadre du SIR. De nouveaux résultats, approuvés par les Comités consultatifs, sont communiqués au BIPM chaque semaine pour publication.

L'annexe C contenait environ 14 000 aptitudes en matière de mesure et d'étalonnage (CMC) au début du mois de juin 2003, couvrant les domaines des longueurs, de l'électricité et magnétisme, de l'acoustique, ultrasons et vibrations, de la photométrie et radiométrie, de la chimie, des masses et grandeurs apparentées, ainsi que des rayonnements ionisants. La période de quatre ans de mise en œuvre de l'Arrangement de reconnaissance mutuelle (MRA) devrait se terminer en décembre 2003 et nous nous attendons à ce que les organisations régionales de métrologie complètent leurs listes de déclarations d'aptitudes afin de les voir publiées avant cette date. À l'heure actuelle, des milliers de CMCs sont en préparation ; ils couvrent les domaines du temps et des fréquences, de la thermométrie, et aussi des rayonnements ionisants (principalement la radioactivité).

## 9.2 Progrès dans la mise en oeuvre du système KCDB

En plus de la publication des données, de gros efforts ont été consacrés cette année à l'amélioration de la structure des bases de données qui sous-tendent la KCDB et du système de programmation du Web, principalement pour répondre aux demandes des utilisateurs. Cela a abouti au lancement sur le Web d'un nouveau site pour la KCDB le 4 mars 2003. La présentation des informations est grandement améliorée et le site entier est beaucoup plus convivial, en particulier pour ce qui concerne le moteur de recherche de l'annexe B. De plus, le temps nécessaire au chargement des pages du Web ou des fichiers .pdf proposés par l'intermédiaire de la KCDB est optimisé.

La base de données de l'annexe B ainsi que le formulaire administratif associé (système Web interne au BIPM utilisé pour renseigner les champs de la base de données) ont été entièrement re-structurés. L'ensemble simplifie notre travail, permet de corriger les informations à tout moment, et autorise une plus grande flexibilité dans le format des données à publier (tableaux de valeurs, graphiques, commentaires, liens à des publications, etc.).

Nous travaillons ces points purement informatiques avec une société internationale dont le siège est situé en France. Leurs conseils et réalisations permettent de tirer profit des meilleures techniques disponibles et d'obtenir une programmation optimisée. Il n'en demeure pas moins que le BIPM se charge de la conception de toutes les modifications apportées.

## 9.3 Faire connaître la KCDB (C. Thomas)

Suite à plusieurs demandes exprimées lors de réunions du Comité mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM (le JCRB) ou de Comités consultatifs, nous cherchons à faire de la publicité pour la KCDB aussi souvent que possible. Par exemple, nous avons publié des articles dans plusieurs bulletins de nouvelles, présenté des posters dans certains congrès et distribué largement la plaquette de la KCDB. Nous avons également fait des démonstrations de la KCDB, en direct sur le Web, installés sur le stand du NIST dressé lors de la conférence PITTCON 2003, conférence qui rassemble quelque 25 000 experts internationaux dans le domaine de la chimie. Nous observons en retour un accroissement continu du nombre de visites que le site Web de la KCDB reçoit ; il était d'environ 3 000 pour le mois de mars 2003.

#### 9.4 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

C. Thomas s'est rendue à Orlando (Floride, États-Unis), du 10 au 14 mars 2003, invitée par le NIST sur leur stand dressé lors de la conférence PITTCOON 2003, afin de présenter la base de données du BIPM sur les comparaisons clés.

#### 9.5 Activités liées au travail des Comités consultatifs

C. Thomas a assisté à :

- la 23<sup>e</sup> session du CCEM et aux réunions connexes, du 9 au 13 septembre 2002 ;
- la réunion du Groupe de travail du CCL sur la métrologie dimensionnelle, les 17 et 18 septembre 2002 ;
- la 3<sup>e</sup> session du CCAUV, les 1<sup>er</sup> et 2 octobre 2002 ;
- la réunion du Groupe de travail *ad hoc* sur la viscosité, le 15 novembre 2002 ;
- la 22<sup>e</sup> session du CCT, du 14 au 16 mai 2003 ;
- la 16<sup>e</sup> réunion de la Section I du CCRI, du 21 au 23 mai 2003 ;
- la 15<sup>e</sup> réunion de la Section III du CCRI, les 26 et 27 mai 2003 ;
- la 17<sup>e</sup> réunion de la Section II du CCRI, du 28 au 30 mai 2003 ;
- la 17<sup>e</sup> session du CCPR, du 17 au 19 juin 2003.

S. Maniguet a assisté à la 9<sup>e</sup> session du CCQM, les 10 et 11 avril 2003.

## 10 INFORMATIQUE ET QUALITÉ (R. KÖHLER)

### 10.1 Informatique (R. Köhler, L. Le Mée et G. Petitgand)

Le nombre de consultations du site Web du BIPM ne cesse d'augmenter. Nous dénombrons en moyenne 1600 connexions par jour. Une nouvelle architecture a été établie avec trois serveurs en parallèle ; elle sera mise en service avant la fin de l'année 2003. Le contenu du site Web a été entièrement restructuré et son graphisme redessiné. En même temps, un

système de gestion de contenu du Web a été mis en place qui facilitera la maintenance du site. Le moteur de recherche sur la métrologie est toujours fréquemment utilisé ; il référence maintenant presque 100 000 liens et a été interrogé environ 28 500 fois depuis juillet 2002.

Les équipements mis à la disposition des visiteurs lors des réunions au BIPM pour accéder à l'Internet, y compris aux e-mails, sont très appréciés et très utilisés par les visiteurs.

De plus, la section d'informatique aide à l'achat, l'installation, l'administration et à la maintenance d'environ 160 ordinateurs personnels et ordinateurs portables pour les bureaux et les laboratoires, ainsi que des imprimantes connectées au réseau.

La sécurité du site Web du BIPM, de la base de données du BIPM sur les comparaisons clés et de tous les services informatiques et de calcul au BIPM, reste prioritaire.

## **10.2 Systèmes qualité (R. Köhler)**

L'introduction d'un système qualité en conformité avec la norme ISO/CEI 17025 est en bonne voie. Le *Manuel qualité* et d'autres documents utiles ont été validés au début de l'année 2003. La plupart des services d'étalonnage qui délivrent des certificats à leurs clients hors du BIPM ou fournissent des étalonnages pour les autres sections du BIPM ont fait l'objet d'un audit interne. Ils feront tous l'objet d'un examen par leurs pairs avant la fin de 2003, date prévue pour l'introduction officielle du système qualité du BIPM, qui a été examiné par A. Odin, responsable qualité à la PTB.

## **10.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) : section informatique et qualité**

R. Köhler s'est rendu :

- au NPL (Royaume-Uni), du 16 au 19 septembre 2002, pour participer à un atelier commun au BIPM et au NPL sur l'impact de l'informatique en métrologie ; le 20 février 2003, pour des discussions sur les systèmes qualité et pour assister à un audit interne ;
- à Turin (Italie), du 23 au 25 septembre 2002, pour assister à l'Initiation and Forum Meeting.

#### 10.4 Visiteurs de la section informatique et qualité

- M. A. Odin (PTB), les 11 et 12 mars 2003, pour un audit du système qualité du BIPM.
- Mme E. Filipe (IPQ, Portugal), les 27 et 28 juin 2003, pour l'audit des services d'étalonnage en thermométrie du BIPM.
- M. G. Boyer, du 10 juin au 10 septembre 2003, pour un stage dans la section informatique sur la nouvelle configuration et la sécurité du réseau.

### 11 PUBLICATIONS DU BIPM (P.W. MARTIN)

#### 11.1 Rapports du CIPM et de ses Comités consultatifs (P.W. Martin, J.R. Miles et C. Thomas ; D. Le Coz)

Depuis juillet 2002 ont été publiés :

- *Rapport du directeur sur l'activité et la gestion du Bureau international des poids et mesures (2002)*, 2003, **3**, 237 p.
- *Comité consultatif d'électricité et magnétisme, 23<sup>e</sup> session (2002)*, 2003, 146 p.
- *Comité consultatif de l'acoustique, des ultrasons et des vibrations, 2<sup>e</sup> session (2001)*, 2002, 94 p.
- *Comité consultatif des longueurs, 10<sup>e</sup> session (2001)*, 2003, 208 p.
- *Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées, 8<sup>e</sup> session (2002)*, 2003, 91 p.
- *Comité consultatif pour la quantité de matière, 8<sup>e</sup> session (2002)*, 2003, 86 p.
- *Évolution des besoins dans le domaine de la métrologie pour le commerce, l'industrie et la société et le rôle du BIPM*, 2003, 164 p.

Note : les publications scientifiques sont mentionnées dans le rapport dans le cadre de la section scientifique à laquelle elles se réfèrent.

## 11.2 **Metrologia** (P.W. Martin et J.R. Miles ; D. Saillard et C. Veyradier)

Le volume 39 de *Metrologia* a été publié en 2002, avec cinq numéros classiques plus un numéro spécial. Les trois premiers numéros du volume 40, qui comprend les comptes rendus de la conférence NEWRAD 2002, sont parus à un intervalle de deux mois en 2003. Les numéros spéciaux sur la gravimétrie (*Metrologia*, 2002, **39**, 405-509) et sur les progrès dans le domaine de la radiométrie optique (*Metrologia*, 2003, **40**, S1-S236) sont particulièrement remarquables en raison de la parution de plusieurs articles sur des techniques de pointe et deviendront sans doute des sources de référence utiles aux chercheurs dans ces domaines.

Plusieurs améliorations ont été apportées au programme ESPERE, notre logiciel sécurisé de soumission en ligne de manuscrits, en particulier l'introduction d'un serveur « proxy » (mandataire) qui nous permet de soumettre des projets d'articles d'auteurs qui ne connaissent pas les avantages du système ESPERE. Cela signifie que pratiquement tous les manuscrits sont maintenant traités par Internet, ce qui est plus efficace à la fois pour les auteurs et pour le personnel éditorial.

L'introduction du *Technical Supplement* à *Metrologia* a été un grand succès. Comme cela a été expliqué dans l'éditorial de *Metrologia* **39**(1), le *Technical Supplement* offre aux auteurs la reconnaissance de leur travail, tout en constituant une référence que l'on peut citer pour les rapports des comparaisons. Dans le volume 39 du *Technical Supplement*, vingt-sept articles au total ont été publiés dans les domaines de l'électricité et du magnétisme (cinq), de la thermométrie (un), des rayonnements ionisants (dix), de la masse et des grandeurs apparentées (deux), de la quantité de matière (huit), et de l'acoustique, des ultrasons et des vibrations (un). Le *Technical Supplement* au volume 40 comprend déjà plus de vingt articles.

Le fait le plus marquant en 2002 est le transfert, à partir du volume 40, de la production de *Metrologia* à l'Institute of Physics Publishing (IOPP), Bristol, Royaume-Uni, le BIPM conservant la propriété et le contrôle éditorial du journal. Les avantages de ce transfert ont déjà été constatés avec la parution en temps voulu des trois premiers numéros du volume 40. Nous sommes confiants que l'IOPP, avec son réseau de ventes et ses compétences internationales en matière de commercialisation, nous aidera à augmenter le nombre des abonnés au journal.

## 12 RÉUNIONS ET EXPOSÉS AU BIPM

### 12.1 Réunions

Les réunions suivantes ont eu lieu au BIPM :

- Le CCEM s'est réuni les 12 et 13 septembre 2002 ; il a été précédé des réunions de ses groupes de travail du 9 au 11 septembre.
- Le Groupe de travail du CCL sur la métrologie dimensionnelle s'est réuni du 16 au 19 septembre 2002 ; son Groupe de travail 2 s'est réuni les 30 et 31 octobre 2002 et son Groupe de travail 1 les 14 et 15 novembre 2002.
- Le CCAUV s'est réuni du 1<sup>er</sup> au 4 octobre 2002.
- Le JCRB s'est réuni les 3 et 4 octobre 2002.
- Le Groupe de travail *ad hoc* sur la viscosité s'est réuni le 15 novembre 2002.
- Le Groupe de travail 1 (GUM) du Comité commun pour les guides en métrologie (JCGM) s'est réuni les 3 et 4 mars 2003 ; le Groupe de travail 2 (VIM) s'est réuni du 30 octobre au 1<sup>er</sup> novembre 2002, les 27 et 28 février 2003, et du 26 au 30 mai 2003.
- Un atelier sur la technologie des peignes de fréquence s'est réuni les 13 et 14 mars 2003.
- Le CCQM s'est réuni les 10 et 11 avril 2003 ; il a été précédé des réunions de ses groupes de travail du 7 au 9 avril.
- Le Groupe de travail du CCM sur la constante d'Avogadro s'est réuni les 15 et 16 avril 2003.
- Le CCU s'est réuni les 17 et 18 avril 2003.
- Le Groupe de travail sur l'expression des incertitudes de mesure s'est réuni les 24 et 25 avril 2003.
- Le CCT s'est réuni les 15 et 16 mai 2003 ; il a été précédé des réunions de ses groupes de travail du 12 au 14 mai.
- Le CCRI s'est réuni le 30 mai 2003 (après-midi). Il a été précédé de la réunion de la Section I du 21 au 23 mai 2003, de la Section III les 26 et 27 mai, et de la Section II du 28 au 30 mai.
- Le CCPR s'est réuni les 18 et 19 juin 2003 ; il a été précédé des réunions de ses groupes de travail du 15 au 17 juin.

- Le JCTLM s'est réuni les 20 et 21 juin 2003.
- Le Groupe de travail du CCM sur les étalons de masse s'est réuni le 29 juin 2003.

## 12.2 Exposés

Les exposés suivants ont été présentés au BIPM, dans le cadre des séminaires réguliers :

- C. Salomon (ENS, Laboratoire Kastler Brossel, France) : Horloges à atomes froids et tests de physique fondamentale, le 18 décembre 2002.
- G. Bonnier, S. Briaudeau (BNM-INM, France) : Vers une nouvelle détermination de la constante de Boltzmann, le 23 avril 2003.
- J. Hough (Université de Glasgow, Institute of Gravitational Research, Royaume-Uni) : Gravitational wave detectors – the new generation, le 7 mai 2003.
- C. Thomas (BIPM) : The BIPM key comparison database (KCDB), le 11 juin 2003.
- J.-M. Mestdagh (CEA, Saclay, France) : Perspectives sur l'utilisation des lasers femtosecondes en chimie en phase gazeuse, le 25 juin 2003.

## 13 CERTIFICATS ET NOTES D'ÉTUDE

Du 1<sup>er</sup> juillet 2002 au 30 juin 2003, cent Certificats et cinq Notes d'étude ont été délivrés.

### 13.1 Certificats

#### 2002

N <sup>os</sup>		
41.	10 pF capacitance standard, No. 01305 .....	Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial (INETI), Lisbon, Portugal.
42.	Prototype de masse n° 35*.....	France.
43.	Prototype de masse n° 70*.....	Allemagne.
44.	Zener diode voltage standard, No. 616 000 9* .....	Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial (INETI), Lisbon, Portugal.
45.	1 $\Omega$ resistance standard, No. 179 959 5* .....	Id.
46.	1 $\Omega$ resistance standard, No. 590 99* .....	Czech Metrological Institute (CMI), Prague, Czech Republic.
47.	1 $\Omega$ resistance standard, No. 168 195 8* .....	National Institute for Standards (NIS), Cairo, Egypt.
48.	1 $\Omega$ resistance standard, No. 167 969 2*.....	Id.
49.	1 $\Omega$ resistance standard, No. 168 433 0* .....	Id.
50.	1 $\Omega$ resistance standard, No. 114 660 6* .....	National Metrology Laboratory (CSIR), Pretoria, South Africa.
51.	1 $\Omega$ resistance standard, No. 113 242 7* .....	Id.
52.	1 $\Omega$ resistance standard, No. 74 941* .....	Glówny Urzad Miar (GUM), Warsaw, Poland.

---

\* Les étalons marqués d'un astérisque ont déjà été étalonnés au BIPM.

53.	1 $\Omega$ resistance standard, No. 75 735* .....	Glówny Urząd Miar (GUM), Warsaw, Poland.
54.	1 $\Omega$ resistance standard, No. 40 731* .....	Id.
55.	1 $\Omega$ resistance standard, No. 41 394* .....	Id.
56.	10 000 $\Omega$ resistance standard, No. 114 937* .....	Id.
57.	10 000 $\Omega$ resistance standard, No. 40 694* .....	Id.
58.	Ionization chamber in medium-energy x-rays, PTW M23361-138 .....	Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti (ENEA- INMRI), Casaccia, Italy.
59.	Ionization chamber in medium-energy x-rays, Exradin A4-218 .....	Id.
60.	Ionization chamber in medium-energy x-rays, ÖFZS TK 30-112 .....	Id.
61.	Ionization chamber in medium-energy x-rays, ÖFZS TK 30-110 .....	Id.
62.	Ionization chamber in low-energy x-rays, PTW M23344-232 .....	Id.
63.	Ionization chamber in low-energy x-rays PTW B23344-713 .....	Id.
64.	Ionization chamber in medium-energy x-rays, NE 2571-3170 .....	Bureau national de métrologie – Laboratoire national Henri Becquerel (BNM-LNHB), Gif-sur-Yvette, France.
65.	1 kg mass standard in stainless steel, No. IRMM-15918 .....	Institute for Reference Materials and Measurements (IRMM), Geel, Belgium.

66.	Ionization chamber in medium-energy x-rays, NE 2571-3169 .....	Bureau national de métrologie – Laboratoire national Henri Becquerel (BNM-LNHB), Gif-sur-Yvette, France.
67.	10 pF capacitance standard, No. K12*.....	Czech Metrological Institute (CMI), Brno, Czech Republic.
68.	10 pF capacitance standard, No. 01078-00025 .....	Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME), Gebze-Kocaeli, Turkey.
69.	100 pF capacitance standard, No. 01323*.....	Czech Metrological Institute (CMI), Brno, Czech Republic.
70.	1 kg mass standard, in « Immaculate V », No. E'69* .....	National Metrology Laboratory (NML), Dublin, Ireland.
71.	Prototype de masse n° 72* .....	République de Corée.
72.	Two luminous flux standards (2800 K), Nos. 87/7*, 85/34*.....	National Centre of Metrology (NCM), Sofia, Bulgaria.
73.	Six luminous intensity standards (2800 K), Nos. 101*, 202*, 333, 505*, 606*, 1961*.....	Id.
74.	Two colour temperature standards, Nos. 505, 606 .....	Id.
75.	Ionization chamber in x-rays, NE 2611A-144 .....	Council for Scientific and Industrial Research, National Metrology Laboratory (CSIR-NML), Pretoria, South Africa.
76.	Ionization chamber in <sup>60</sup> Co gamma-ray, NE 2611A-144 .....	Id.
77.	Ionization chamber in <sup>137</sup> Cs gamma-ray, NE 2611A-144 .....	Id.
78.	Zener diode voltage standard, No. 648 500 5* .....	Czech Metrological Institute (CMI), Brno, Czech Republic.

79.	Three colour temperature standards, Nos. SB20495, SB20498, SB20499 .....	Central Office of Measures (GUM), Warsaw, Poland.
80.	Ionization chamber in low-energy x-rays, transfer standard .....	Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency (ARPANSA), Yallambie, Australia.
81.	Ionization chamber in low-energy x-rays, PTW 23344-0858 .....	Id.
82.	Ionization chamber in medium-energy x-rays, NE 2561-265 .....	International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, Austria.
83.	Ionization chamber in <sup>137</sup> Cs gamma-ray, LS 01-115 .....	Id.
84.	Ionization chamber in <sup>137</sup> Cs gamma-ray, HS 01-102 .....	Id.
85.	10 pF capacitance standard, No. 01300 .....	Swiss Federal Office of Metrology and Accreditation (METAS), Wabern, Switzerland.
86.	10 pF capacitance standard, No. 01191 .....	Id.
87.	100 pF capacitance standard, No. 01188 .....	Id.
88.	10 pF capacitance standard, No. 01209 .....	National Institute of Metrology, Standardization and Industrial Quality (INMETRO), Rio de Janeiro, Brazil.
89.	100 pF capacitance standard, No. 01163 .....	Id.
90.	1 kg mass standard in « Nicral D », No. SASO 1* .....	Saudi Arabian Standards Organization (SASO), Riyadh, Saudi Arabia.
91.	Ionizing chamber in <sup>137</sup> Cs gamma-ray, LS 01-115 .....	International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, Austria.

## 2003

N <sup>os</sup>		
1.	Helium-neon laser at 543 nm, No. 08A01/G10 .....	Standards Productivity and Innovation Board (SPRING Singapore), Singapore.
2.	TESA Green Laser, No. 021 .....	Centro Nacional de Metrología (CENAM), Quéretaro, Mexico.
3.	Étalon de force électromotrice à diode de Zener, n° 5 740 201* .....	Service de la métrologie (SMB), Bruxelles, Belgique.
4.	Helium-neon laser at 633 nm, No. NMi / TUE 2 .....	Nederlands Meetinstituut, Van Swinden Laboratorium (NMi VSL), Delft, The Netherlands.
5.	Helium-neon laser at 633 nm, No. NMi 4 - WEO 169 .....	Id.
6.	Ionization chamber, CC01-110* .....	Laboratorio Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes (LNMRI), Rio de Janeiro, Brazil.
7.	Étalon de capacité de 10 pF, n° 01277* .....	Service de la métrologie (SMB), Bruxelles, Belgique.
8.	Étalon de capacité de 100 pF, n° 01276* .....	Id.
9.	Étalon de capacité de 100 pF, n° 01283* .....	Id.
10.	Étalon de capacité de 100 pF, n° 01288* .....	Id.
11.	Prototype de masse n° 57* .....	Inde.
12.	20 pF capacitance standard, No. 01138 .....	Bundesamt für Eich-und Vermessungswesen (BEV), Vienna, Austria.
13.	100 pF capacitance standard, No. 01135 .....	Id.

14.	1 pF capacitance standard, No. 01284 .....	Council for Scientific and Industrial Research, National Metrology Laboratory (CSIR- NML), Pretoria, South Africa.
15.	1 pF capacitance standard, No. 01285 .....	Id.
16.	10 pF capacitance standard, No. 01286 .....	Id.
17.	100 pF capacitance standard, No. 01287 .....	Id.
18.	Étalon de capacité de 10 pF, n° 45 .....	Institut national de métrologie (INM), Bucarest, Roumanie.
19.	Étalon de capacité de 100 pF, n° 46 .....	Id.
20.	10 pF capacitance standard, No. 01289 .....	Hellenic Institute of Metrology (EIM), Thessaloniki, Greece.
21.	10 pF capacitance standard, No. 01290 .....	Id.
22.	100 pF capacitance standard, No. 01291 .....	Id .
23.	100 pF capacitance standard, No. 01292 .....	Id.
24.	10 pF capacitance standard, No. 01067 .....	Centro Nacional de Metrología (CENAM), Mexico, Mexico.
25.	10 pF capacitance standard, No. 01068 .....	Id.
26.	100 pF capacitance standard, No. 01070 .....	Id.
27.	100 pF capacitance standard, No. 01071 .....	Id.
28.	Étalon de résistance de 1 $\Omega$ , n° 1816192* .....	Service de la métrologie (SMB), Bruxelles, Belgique.
29.	Étalon de résistance de 1 $\Omega$ , n° 1870794* .....	Id.
30.	Étalon de résistance de 10 000 $\Omega$ , n° 508004* .....	Id.

31.	Étalon de résistance de 10 000 $\Omega$ , n° 616007* .....	Service de la métrologie (SMB), Bruxelles, Belgique.
32.	Étalon de tension à diode de Zener, n° 5940003* .....	Institut national de métrologie (INM), Bucarest, Roumanie.
33.	Prototype de masse n° 55*.....	Allemagne.
34.	1 kg mass standard in platinum-iridium, No. « A » * .....	National Physical Laboratory (NPL), Teddington, United Kingdom.
35.	1 pF capacitance standard, No. 01113 .....	National Metrology Laboratory (NML-SIRIM), Shah Alam, Malaysia.
36.	10 pF capacitance standard, No. 01111 .....	Id.
37.	10 pF capacitance standard, No. 01112 .....	Id.
38.	100 pF capacitance standard, No. 01110 .....	Id.
39.	10 pF capacitance standard, No. 01014 .....	Centro Español de Metrología (CEM), Madrid, Spain.
40.	1 $\Omega$ resistance standard, No. 1910466 .....	National Metrology Laboratory (NML-SIRIM), Shah Alam, Malaysia.
41.	Ionization chamber in low-energy x-rays, PTW23344-17918* .....	Swedish Radiation Protection Authority (SRPA), Stockholm, Sweden.
42.	Ionization chamber in low-energy x-rays, 10X5-6M-8302* .....	Id.
43.	Ionization chamber in medium-energy x-rays, Exradin A3-169* .....	Id.
44.	Ionization chamber in medium-energy x-rays, Exradin A3-189* .....	Id.

45.	Ionization chamber in <sup>60</sup> Co gamma-ray, NE 2561-056* .....	Swedish Radiation Protection Authority (SRPA), Stockholm, Sweden.
46.	Ionization chamber in <sup>60</sup> Co gamma-ray, NE 2571-2061* .....	Id.
47.	Ionization chamber in gamma-ray, Exradin A4-231* .....	Id.
48.	10 pF capacitance standard, No. K15* .....	Czech Metrological Institute (CMI), Brno, Czech Republic.
49.	100 pF capacitance standard, No. 01323* .....	Id.

### 13.2 Notes d'étude

#### 2002

N <sup>os</sup>		
4.	100 pF capacitance standard, No. 01189 .....	Swiss Federal Office of Metrology and Accreditation (METAS), Wabern, Switzerland.
5.	1 pF capacitance standard, No. 01210 .....	National Institute of Metrology, Standardization and Industrial Quality (INMETRO), Rio de Janeiro, Brazil.

#### 2003

N <sup>os</sup> .		
1.	1 kg mass standard in platinum-iridium, No. 651* .....	National Physical Laboratory (NPL), Teddington, United Kingdom.
2.	100 pF capacitance standard, No. 01013 .....	Centro Español de Metrología (CEM), Madrid, Spain.
3.	10 pF capacitance standard, No. K12 .....	Czech Metrological Institute (CMI), Brno, Czech Republic.

## 14 GESTION DU BIPM

### 14.1 Comptes

Les tableaux suivants sont la reproduction des tableaux qui figurent dans le *Rapport annuel aux Gouvernements des Hautes parties contractantes sur la situation administrative et financière du Bureau international des poids et mesures* relatif à l'exercice 2002.

#### 14.1.1 Compte I : fonds ordinaires\*

Actif au 1 <sup>er</sup> janvier 2002			<b>6 849 066,09</b>
<b>Recettes</b>			
Recettes budgétaires			9 516 678,63
Taxes sur les achats remboursées			858 250,84
Différences de change			10 093,33
Total des recettes			<b>10 385 022,80</b>
<b>Dépenses</b>			
Dépenses budgétaires			9 363 826,54
Dépenses pour l'installation des laboratoires de métrologie en chimie**			475 575,05
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 2002			233 507,45
Taxes sur les achats remboursables			364 937,38
Total des dépenses			<b>10 437 846,42</b>
Actif au 31 décembre 2002			<b>6 796 242,47</b>
<b>Détail des recettes budgétaires</b>			
Versement de contributions :			
Au titre de l'exercice 2002	7 578 328,59	} 8 676 567,91	} 8 787 231,84
Au titre de l'exercice 2001	716 434,63		
Au titre de l'exercice 2000	88 860,20		
Au titre de l'exercice 1999 et antérieurs	157 079,68		
Au titre de l'exercice 2003	135 864,81		
Prélèvement sur le compte « Remboursement aux États »	110 663,93		
Versement de souscriptions :			
Au titre de l'exercice 2003	37 632,00	} 126 960,67	} 164 592,67
Au titre de l'exercice 2002	126 960,67		
Intérêts des fonds			369 791,50
Abonnements à <i>Metrologia</i>			102 721,12
Recettes diverses			92 341,50
• cession de prototypes (kg)		0,00	
• divers		92 341,50	
Total des recettes			<b>9 516 678,63</b>

\* Depuis l'exercice 2001, conformément à la Résolution 13 de la 21<sup>e</sup> Conférence générale, la monnaie de compte du BIPM est l'euro.

\*\* Pour mémoire, les dépenses pour l'installation des laboratoires de métrologie en chimie se sont élevées en 2000 à 113 779,30 euros et en 2001 à 297 754,46 euros.

*Versement des contributions.* — Les versements de contributions effectués au cours de l'année 2002 s'élèvent à 8 676 567,91 euros, dont 7 578 328,59 euros au titre de l'exercice 2002, 135 864,81 euros au titre de l'exercice 2003 et 962 374,51 euros au titre des exercices antérieurs.

*Dépenses du Compte I.* — Les dépenses budgétaires en 2002 se sont élevées à 9 363 826,54 euros pour un budget voté s'élevant à 10 081 500 euros.

### Détail des dépenses budgétaires

Chapitres	Dépenses de l'exercice	Budget voté	Économies	Dépassements		
<i>A. Dépenses de personnel :</i>						
1. Traitements	4 033 257,38	4 180 000	146 742,62	-		
2. Allocations familiales et sociales	857 768,45					
3. Charges sociales (a)	444 048,92					
		5 335 074,75	928 600	5 565 100	70 831,55	-
		456 500			12 451,08	-
<i>B. Contribution à la Caisse de retraite (b) :</i>						
	1 315 000,00	1 315 000	-	-		
<i>C. Services généraux :</i>						
1. Chauffage, eau, électricité	141 181,03	1 023 795,37	41 000	1 039 800	28 718,97	-
2. Assurances	31 646,10					
3. Publications	139 398,84					
4. Frais de bureau	123 427,08					
5. Frais de réunions	71 427,96					
6. Voyages et transports de matériel	306 397,31					
7. Bibliothèque	170 248,60					
8. Bureau du Comité	40 068,45					
		328 000			21 602,69	-
		144 000			-	26 248,60
		33 000			-	7 068,45
<i>D. Dépenses de laboratoires :</i>						
	1 116 489,48	1 612 000	495 510,52	-		
<i>E. Dépenses de bâtiments (c) :</i> (travaux d'entretien et de rénovation) :						
	439 607,06	489 600	49 992,94	-		
<i>F. Frais divers et imprévus (d) :</i>						
	133 859,88	60 000	-	73 859,88		
<b>Totaux</b>	<b>9 363 826,54</b>	<b>10 081 500</b>	<b>855 724,45</b>	<b>138 050,99</b>		

(a) Comprenant un virement de 54 910,27 euros au Compte II (Caisse de retraite).

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

(c) Comprenant un virement de 1 572,00 euros au Compte IV (Caisse de prêts sociaux).

## 14.1.2 Compte II : caisse de retraite

---

Actif au 1 <sup>er</sup> janvier 2002	10 547 903,46
<b>Recettes</b>	
Retenues sur les traitements	361 686,52
Virement du Compte I*	1 401 016,64
Intérêts des fonds	567 133,48
Transfert de droits	3 805,28
Total des recettes	<b>2 333 641,92</b>
<b>Dépenses</b>	
Pensions servies	1 612 101,38
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 2002	374 405,17
Total des dépenses	<b>1 986 506,55</b>
Actif au 31 décembre 2002	<b>10 895 038,83</b>

---

\* Comprenant un virement de 54 910,27 euros provenant des économies réalisées sur l'assurance maladie (*BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 1994, **62**, 19).

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

Ce compte n'a enregistré aucun mouvement en 2002.

## 14.1.4 Compte IV : caisse de prêts sociaux

Actif au 1 <sup>er</sup> janvier 2002 hors créances	<b>82 806,21</b>
<b>Recettes</b>	
Amortissements partiels des prêts :	
Capital	45 255,03
Intérêts	2 054,56
Virement du Compte I	1 572,00
Intérêts des fonds	3 816,85
Total des recettes	<b>52 698,44</b>
<b>Dépenses</b>	
Prêts consentis en cours d'année	51 600,00
Total des dépenses	<b>51 600,00</b>
Actif au 31 décembre 2002 hors créances	<b>83 904,65</b>
<b>Créances de la caisse de prêts sociaux</b>	
Créances au 1 <sup>er</sup> janvier 2002	112 177,71
Créances nouvelles en cours d'année	51 600,00
Amortissements partiels des prêts (capital)	- 45 255,03
Créances au 31 décembre 2002	<b>118 522,68</b>
Actif au 31 décembre 2002 créances incluses	<b>202 427,33</b>

## 14.1.5 Compte V : réserve pour les bâtiments

Ce compte a été clôturé en 2001 après l'achèvement de la construction du Pavillon du Mail.

#### 14.1.6 Compte VI : *Metrologia*

Ce compte a été clôturé en 2000, les recettes et les dépenses liées à *Metrologia* sont imputées dans les chapitres concernés du Compte I. — Fonds ordinaires.

#### 14.1.7 Compte VII : fonds de réserve pour l'assurance maladie

---

Actif au 1 <sup>er</sup> janvier 2002	<b>653 741,11</b>
<b>Recettes</b>	
Intérêts des fonds	32 142,65
Total des recettes	<b>32 142,65</b>
<b>Dépenses</b>	
Subvention des cotisations des retraités	33 342,74
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 2002	21 657,20
Total des dépenses	<b>54 999,94</b>
Actif au 31 décembre 2002	<b>630 883,82</b>

---

## 14.1.8 Bilan au 31 décembre 2002

Compte I « Fonds ordinaires »	6 796 242,47
Compte II « Caisse de retraite »	10 895 038,83
Compte III « Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique »	0,00
Compte IV « Caisse de prêts sociaux »	202 427,33
Compte V « Réserve pour les bâtiments »	0,00
Compte VI « <i>Metrologia</i> »	0,00
Compte VII « Fonds de réserve pour l'assurance maladie »	630 883,82
<b>Actif net</b>	<b>18 524 592,45</b>
Cet actif net se décompose comme suit :	
<i>a.</i> Fonds déposés en banque :	
1° En euros	12 565 127,93
2° En dollars américains (1,048 7 USD = 1 EUR)	3 165 766,96
3° En francs suisses (1,452 4 CHF = 1 EUR)	84,26
4° En livres sterling (0,650 5 GBP = 1 EUR)	637 802,92
5° En yens (124,39 JPY = 1 EUR)	5 640,47
6° En couronnes suédoises (9,152 8 SEK = 1 EUR)	128 064,55
7° En couronnes norvégiennes (7,275 6 NOK = 1 EUR)	147 327,55
8° En couronnes danoises (7,428 8 DKK = 1 EUR)	1 953 457,31
<b>Total des fonds déposés en banque</b>	<b>18 603 271,95</b>
<i>b.</i> Espèces en caisse :	
1° En euros	6 588,02
2° En dollars américains (1,048 7 USD = 1 EUR)	957,83
3° En francs suisses (1,452 4 CHF = 1 EUR)	45,99
4° En livres sterling (0,650 5 GBP = 1 EUR)	14,34
5° En yens (124,39 JPY = 1 EUR)	225,71
6° En dollars canadiens (1,655 CND = 1 EUR)	500,11
7° En dollars australiens (1,855 6 AUD = 1 EUR)	960,36
8° En couronnes norvégiennes (7,275 6 NOK = 1 EUR)	103,63
9° En couronnes danoises (7,428 8 NOK = 1 EUR)	13,46
10° En dollars de Singapour (1,819 9 SGD = 1 EUR)	29,01
11° En livres turques (1 738 000 TRL = 1 EUR)	41,21
12° En couronnes slovaques (41,503 SKK = 1 EUR)	1,20
<b>Total des espèces en caisse</b>	<b>9 480,87</b>
<b>Actif brut (a + b)</b>	<b>18 612 752,82</b>
<i>c.</i> Créances de la Caisse de prêts sociaux	118 522,68
<i>d.</i> Provision pour remboursement aux États à déduire (1)	-206 683,05
<b>Actif net</b>	<b>18 524 592,45</b>

(1) Compte « Remboursement aux États »	
Situation au 1 <sup>er</sup> janvier 2002	292 220,76
Versements	
Versement par l'Argentine d'un acompte sur sa contribution de 1999	15 758,00
Versement par le Venezuela d'un acompte sur sa contribution de 1996	9 368,22
Total des versements	<b>25 126,22</b>
Remboursements aux États	
Compensation du remboursement d'avances faites pour le Cameroun (1995 et 1996)	69 665,82
Compensation du remboursement d'avances faites pour le Pakistan (1999)	40 998,11
Total des remboursements	<b>110 663,93</b>
Situation au 31 décembre 2002	<b>206 683,05</b>

## 14.2 Personnel

### 14.2.1 Engagements

- M. Zhiheng Jiang, né le 13 juillet 1953 au Jiangsu (Chine), de nationalité chinoise, précédemment chercheur associé à la section du temps, a été engagé au grade de *physicien* à dater du 1<sup>er</sup> janvier 2003.
- M. Laurent Tisserand, né le 9 avril 1974 à Saint Amand Montrond (France), de nationalité française, précédemment technicien dans une société privée française, a été engagé au grade de *technicien* dans la section du temps à partir du 5 mai 2003.
- M. Youssouf Sokhona, né en 1977 à Rim Tachott Botokollo (Mauritanie), de nationalité mauritanienne, précédemment agent d'entretien dans une société privée française, a été engagé comme *agent d'entretien* contractuel à dater du 1<sup>er</sup> juin 2003.

### 14.2.2 Prolongations de service

- M. Peter Wilson Martin, *physicien principal*, rédacteur de *Metrologia* et responsable des publications du BIPM depuis le 1<sup>er</sup> juin 1998, a été prolongé dans ses fonctions jusqu'au 31 janvier 2004.
- M. Terry Quinn, directeur du BIPM depuis le 1<sup>er</sup> août 1988, a été prolongé dans ses fonctions jusqu'au 31 décembre 2003, sur décision du CIPM en octobre 1999.

### 14.2.3 Promotions et changements de grade

- Mme Felicitas Arias, *physicien principal* dans la section du temps, a été promue *physicien chercheur principal* à dater du 1<sup>er</sup> janvier 2003.

### 14.2.4 Changements et transfert de postes

- M. Philippe Moussay, *technicien* dans la section du temps, a été transféré à la section de chimie à dater du 1<sup>er</sup> février 2003.
- Mme Susanne Picard, *physicien* dans la section des longueurs, a été transférée à la section des rayonnements ionisants à dater du 22 avril 2003.

#### 14.2.5 Chercheurs associés

- M. Massimo Zucco, né le 21 novembre 1964 à Turin (Italie), de nationalité italienne, précédemment physicien à l'Istituto di Metrologia G. Colonetti, Turin, a été engagé comme *chercheur associé* dans la section des longueurs à partir du 9 septembre 2002 pour une période de deux ans.
- M. Harold V. Parks, *chercheur associé* dans la section des masses depuis le 16 août 2001, a été prolongé dans ses fonctions jusqu'au 31 décembre 2003.

#### 14.2.6 Départs

- M. Jean-Pierre Dewa, *mécanicien principal*, a pris sa retraite le 31 août 2002 après 18 ans de services dévoués et efficaces.

### 14.3 Bâtiments

#### 14.3.1 Grand Pavillon

- Peinture des toilettes.

#### 14.3.2 Bâtiment des lasers

- Remplacement partiel du système de conditionnement d'air.

#### 14.3.3 Observatoire

- Remplacement partiel du système de conditionnement d'air dans la salle 1 et dans le laboratoire du temps.
- Installation d'une cabine salle 2.
- Mise en conformité des monte-charges pour répondre aux normes.

#### 14.3.4 Bâtiment des rayonnements ionisants

- Réfection des peintures des halls et de la cage d'escalier.
- Réfection d'une salle au sous-sol.

#### 14.3.5 Nouveau Pavillon

- Installation d'un système de conditionnement d'air dans le local technique du standard téléphonique.

#### 14.3.6 Extérieurs et parc

- Rénovation de la terrasse entre le Grand Pavillon et le Nouveau Pavillon.

## LISTE DES SIGLES UTILISÉS DANS LE PRÉSENT VOLUME

### 1 Sigles des laboratoires, commissions et conférences\*

AATN	Asociación Argentina de Tecnología Nuclear (Argentine)
AIEA	Agence internationale de l'énergie atomique
AIST	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, <i>voir</i> NMIJ/AIST
APMP	Asia/Pacific Metrology Programme
ARPANSA	Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency, Sydney et Melbourne (Australie)
BAM	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin (Allemagne)
BARC	Bhabha Atomic Research Centre, Trombay (Inde)
BEV	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Vienne (Autriche)
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-LNE	Bureau national de métrologie, Laboratoire national d'essais, Paris (France)
BNM-LNHB	Bureau national de métrologie, Laboratoire national Henri Becquerel, Gif-sur-Yvette (France)
BNM-SYRTE	Bureau national de métrologie, Systèmes de référence temps espace, Paris (France)
CCAUV	Comité consultatif de l'acoustique, des ultrasons et des vibrations
CCEM	Comité consultatif d'électricité et magnétisme
CCL	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

---

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

CCRI	Comité consultatif des rayonnements ionisants
CCT	Comité consultatif de thermométrie
CCTF	Comité consultatif du temps et des fréquences
CCU	Comité consultatif des unités
CEA	Commissariat à l'énergie atomique, Paris et Saclay (France)
CEI	Commission électrotechnique internationale
CEM	Centro Español de Metrología, Madrid (Espagne)
CENAM	Centro Nacional de Metrología, Querétaro (Mexique)
CGGTTS	Groupe de travail du CCTF sur la normalisation des comparaisons d'horloges utilisant le GPS et le GLONASS/ CCTF Working Group on GPS Time Transfer Standards
CHMI	Centre for Measurement Standards of the Industrial Technology Research Institute, Hsinchu (Taiwan)
CIEMAT	Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Madrid (Espagne)
CIPM	Comité international des poids et mesures
CMI	Český Metrologický Institut/Czech Metrological Institute, Prague et Brno (Rép. tchèque)
CMI-IIR	Český Metrologický Institut /Czech Metrological Institute, Inspectorate for Ionizing Radiation, Prague et Brno (Rép. tchèque)
CMS-ITRI	Centre for Measurement Standards of the Industrial Technology Research Institute (Taipei chinois)
CNEA	Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires (Argentine)
CNES	Centre national d'études spatiales, Toulouse (France)
CNRS	Centre national de la recherche scientifique, Paris (France)
CODATA	Committee on Data for Science and Technology
CONICET	Argentine Council of Research
COPUOS	Committee on the Peaceful Uses of Outer Space of the United Nations
CPC	Conventions Product Centre of the IERS, <i>voir</i> IERS
CPEM	Conference on Precision Electromagnetic Measurements
CRL	Communications Research Laboratory, Tokyo (Japon), <i>voir</i> NMIJ/AIST
CRRD	Centro Regional de Referencia para la Dosimetria, Buenos Aires (Argentine)
CSIR-NML	Council for Scientific and Industrial Research, National Metrology Laboratory, Pretoria (Afrique du Sud)

CSIRO	<i>voir</i> NML-CSIRO
DANAK	Danish Accreditation and Metrology Fund, Copenhagen (Danemark)
DANOF	Département d'astronomie fondamentale de l'Observatoire de Paris, Paris (France)
DFM	Danish Institute of Fundamental Metrology, Lyngby (Danemark)
ECNU	East China Normal University, Shanghai (Chine)
EFTF	European Frequency and Time Forum
EIM	Hellenic Institute of Metrology, Sindos (Grèce)
ENEA	Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Rome (Italie)
ENEA-INMRI	Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti (ENEA-INMRI), Casaccia (Italie)
ENS	École normale supérieure, Paris (France)
ESM	École supérieure de métrologie, Douai (France)
EUROLAB	European Federation of National Associations of Measurement Testing and Analytical Laboratories
EUROMET	European Collaboration in Measurement Standards
FCS	Frequency Control Symposium
Gosstandart	Metrology and Certification, Moscou (Féd. de Russie)
GREX	Groupe de recherche du CNRS : gravitation et expériences (France)
GUM	Glówny Urząd Miar/Central Office of Measures, Varsovie (Pologne)
IAEA	<i>voir</i> AIEA
IAF	International Accreditation Forum
ICAG	International Conference of Absolute Gravimeters
ICRM	International Committee for Radionuclide Metrology
ICRS	International Celestial Reference System
ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurements
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, Piscataway NJ (États-Unis)
IEN	Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin (Italie)
IERS	Service international de la rotation terrestre/International Earth Rotation Service

IGLOS-PP	International GLONASS Service Pilot Project
IIR	<i>voir</i> CMI-IIR
ILAC	International Laboratory Accreditation Cooperation
ILP SOI	Institut de physique des lasers, S.I. Vavilov State Optical Institute, Saint-Pétersbourg (Féd. de Russie)
ILP	Institute of Laser Physics, Académie des sciences de Russie, Novosibirsk et Saint-Pétersbourg (Féd. de Russie)
IMEKO	International Measurement Confederation
IMGC	Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin (Italie)
IMGC-CNR	Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Turin (Italie)
INETI	Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, Lisbonne (Portugal)
ININ	Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Mexico (Mexique)
INM	Institut national de métrologie, Bucarest (Roumanie)
INM*	Institut national de métrologie, Paris (France), <i>voir</i> BNM-INM
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, Rio de Janeiro (Brésil)
INMRI	<i>voir</i> ENEA
INSTN	Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires, CEA, Paris (France)
ION	Institute of Navigation, Alexandria VA (États-Unis)
IOP	Institute of Physics, Londres (Royaume-Uni)
IPQ	Instituto Português da Qualidade, Lisbonne (Portugal)
IRA	Institut de radiophysique appliquée, Lausanne (Suisse)
IRAC	U.K. Health and Safety Commission Ionizing Radiation Advisory Committee (Royaume-Uni)
IRMM	Institut des matériaux et mesures de référence, Commission européenne/Institute for Reference Materials and Measurements, European Commission
ISO	Organisation internationale de normalisation
ISO-REMCO	Organisation internationale de normalisation, Comité pour les matériaux de référence
IVS	International VLBI Service

JCDCMAS	Comité commun pour la coordination de l'assistance aux pays en voie de développement dans les domaines de la métrologie, de l'accréditation et de la normalisation/Joint Committee on Coordination of Assistance to Developing Countries in Metrology, Accreditation and Standardization
JCGM	Comité commun pour les guides en métrologie/Joint Committee for Guides in Metrology
JCRB	Comité mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM/Joint Committee of the Regional Metrology Organizations and the BIPM
JCTLM	Comité commun pour la traçabilité en médecine de laboratoire/Joint Committee on Traceability in Laboratory Medicine
JILA	Joint Institute for Laboratory Astrophysics, Boulder CO (États-Unis)
JV	Justervesenet, Kjeller (Norvège)
KRISS	Korea Research Institute of Standards and Science, Daejeon (Rép. de Corée)
LCIE*	Laboratoire central des industries électriques, Fontenay-aux-Roses (France), <i>voir</i> BNM-LCIE
LGC	Laboratory of the Government Chemist, Teddington (Royaume-Uni)
LNE*	Laboratoire national d'essais, Paris (France), <i>voir</i> BNM-LNE
LNHB*	Laboratoire national Henri Becquerel, Gif-sur-Yvette (France), <i>voir</i> BNM-LNHB
LNMRI	Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes, Rio de Janeiro (Brésil)
LPL	Laboratoire de physique des lasers, Villetaneuse (France)
LSCE	Laboratoire des Sciences du Climat et l'Environnement, Gif-sur-Yvette (France)
MAC	U.K. Department of Trade and Industry Measurement Advisory Committee (Royaume-Uni)
METAS	Office fédéral de métrologie et d'accréditation, Wabern (Suisse)
METI	Ministry of Economy, Trade and Industry, Tokyo (Japon)
MIKES	Mittatekniiikan Keskus/Centre for Metrology and Accreditation, Helsinki (Finlande)
MRA	Arrangement de reconnaissance mutuelle/Mutual Recognition Arrangement

MSL	Measurement Standards Laboratory of New Zealand, Lower Hutt (Nouvelle-Zélande)
NCM	National Centre of Metrology, Sofia (Bulgarie)
NCSLI	National Conference of Standards Laboratories, Boulder, CO (États-Unis)
NEWRAD	New Developments and Applications in Optical Radiometry Conference
NIES	National Institute for Environmental Studies, Ibaraki (Japon)
NIM	Institut national de métrologie, Beijing (Chine)
NIS	National Institute for Standards, Le Caire (Égypte)
NIST	National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg MD (États-Unis)
NMi VSL	Nederlands Meetinstituut, Van Swinden Laboratorium, Delft (Pays-Bas)
NMIJ/AIST	National Metrology Institute of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Tsukuba (Japon)
NML	National Metrology Laboratory, Dublin (Irlande)
NML-CSIRO	National Measurement Laboratory, CSIRO, Pretoria (Australie)
NPL	National Physical Laboratory, Teddington (Royaume-Uni)
NRC	National Research Council of Canada, Ottawa (Canada)
NTSC	National Time Service Centre, Lintong (Chine)
OCA	Observatoire de la Côte d'Azur, Grasse (France)
OIML	Organisation internationale de métrologie légale
OMH	Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest (Hongrie)
OMM CIMO	Organisation météorologique mondiale, Commission on Instruments and Methods of Observation, Genève (Suisse)
OMP	Observatoire Midi-Pyrénées, Toulouse (France)
OMS	Organisation mondiale de la santé
OP	Observatoire de Paris (France)
ORB	Observatoire royal de Belgique, Bruxelles (Belgique)
PITTCO	Pittsburgh Conference
POLATOM	Radioisotope Centre (Pologne)
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig et Berlin (Allemagne)
PTTI	Precise Time and Time Interval Applications and Planning Meeting

RCMAM	Groupe de travail de l'UAI sur la relativité en mécanique céleste, en astrométrie et dans le domaine de la métrologie/ IAU Working Group on Relativity for Celestial Mechanics, Astrometry and for Metrology
SASO	Saudi Arabian Standards Association, Riyadh (Arabie saoudite)
SIM	Sistema Interamericano de Metrología
SIRIM	National Metrology Laboratory (NML-SIRIM), Shah Alam (Malaisie)
SMB	Service de la métrologie belge, Bruxelles (Belgique)
SMU	Slovenský Metrologický Ústav/Slovak Institute of Metrology, Bratislava (Slovaquie)
SNAS	Slovak National Accreditation Service, Bratislava (Slovaquie)
SP	SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut/Swedish National Testing and Research Institute, Borås (Suède)
SPRING	(ex PSB) Standards, Productivity and Innovation Board, Singapour (Singapour)
SRG	Special Rapporteur Group
SRPA	Swedish Radiation Protection Authority, Stockholm (Suède)
SRPI	Swedish Radiation Protection Institute, Stockholm (Suède)
SSDL	Secondary Standards Dosimetry Laboratories of the IAEA, voir AIEA
SYRTE*	Systèmes de référence temps espace, voir BNM
TL	Telecommunication Laboratories, Chung-Li (Taïpei chinois)
UAI	Union astronomique internationale
UIT	Union internationale des télécommunications
UKAS	United Kingdom Accreditation Service
UME	Ulusal Metroloji Enstitüsü/National Metrology Institute, Marmara Research Centre, Gebze-Kocaeli (Turquie)
URSI	Union radioscopique internationale
USNO	U.S. Naval Observatory, Washington DC (États-Unis)
VNIIFTRI	Institut des mesures physico-techniques et radiotechniques, Gosstandart de Russie, Moscou (Féd. de Russie)
VNIIM	Institut de métrologie D.I. Mendéléev, Gosstandart de Russie, Saint-Pétersbourg (Féd. de Russie)
VNIIMS	Institute for Metrological Service, Gosstandart de Russie, Moscou (Féd. de Russie)

VNIIOFI	Institute for Optico-Physical Measurements, Gosstandart de Russie, Moscou (Féd. de Russie)
VSL*	Van Swinden Laboratorium, Delft (Pays-Bas), voir NMI VSL

## 2 Sigles des termes scientifiques

ACES	Atomic Clock Ensemble in Space
CMC	Aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages/ Calibration and Measurement Capabilities
EAL	Échelle atomique libre
FTIR	Fourier Transform Infrared Technique
GLONASS	Global Navigation Satellite System
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GUM	Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure
HIMERT	Pan-European project for the development of metal-carbon eutectics as temperature standards
HTML	Hypertext mark-up language
ICRF	International Celestial Reference Frame
JPS	Javad Positioning System
KCDB	Base de données du BIPM sur les comparaisons clés/ BIPM Key Comparison Database
KTP	Potassium titanyle phosphate
SI	Système international d'unités
SIR	Système international de référence pour les mesures d'activité d'émetteurs de rayonnement gamma
SIS	Supraconducteur-isolant-supraconducteur
SRP	Photomètre de référence étalon/Standard Reference Photometer
TA	Temps atomique
TAI	Temps atomique international
TWSTFT	Comparaison de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite/Two-way Satellite Time and Frequency Transfer
UTC	Temps universel coordonné
VIM	Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie
VLBI	Interférométrie à très longue base/Very Long Baseline Interferometry
YAG	Yttrium aluminium garnet