

**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 2003 – 30 juin 2004)

Note sur l'utilisation du texte anglais (*voir* page 163)

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 92-822-2208-X

## TABLE DES MATIÈRES

États membres de la Convention du Mètre et associés à la Conférence générale **12**

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 2003 – 30 juin 2004) 19**

- 1 Introduction **21**
  - 1.1 Introduction générale et résumé des travaux scientifiques **21**
  - 1.2 Publications, conférences et voyages du directeur **38**
    - 1.2.1 Publications extérieures **38**
    - 1.2.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **38**
  - 1.3 Activités du directeur en liaison avec des organisations extérieures **40**
- 2 Longueurs **41**
  - 2.1 Laser à peigne transportable et comparaisons de peignes **41**
  - 2.2 Mesures absolues de fréquence et comparaison clé du BIPM BIPM.L-K11 **41**
  - 2.3 Lasers étalons à 633 nm et à 532 nm **43**
  - 2.4 Cuves à iode **43**
  - 2.5 Lasers à He-Ne asservis sur le méthane à  $\lambda \approx 3,39 \mu\text{m}$  en cuve interne et externe **44**
    - 2.5.1 Maintenance des lasers **44**
    - 2.5.2 Mesure de la fréquence absolue du laser de référence BIDM1 **44**
  - 2.6 Métrologie dimensionnelle **45**
    - 2.6.1 Diffractomètre laser interférentiel **45**
    - 2.6.2 Lasers à l'état solide, pompés par diode, asservis sur l'iode, pour la métrologie dimensionnelle et la gravimétrie absolue **45**
  - 2.7 Gravimétrie **45**
  - 2.8 Publications, conférences et voyages : section des longueurs **46**
    - 2.8.1 Publications extérieures **46**

- 2.8.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **47**
- 2.9 Activités liées au travail des Comités consultatifs **48**
- 2.10 Visiteurs de la section des longueurs **48**
- 2.11 Chercheurs invités **49**
- 3 Masses et grandeurs apparentées **50**
  - 3.1 Étalonnages **50**
  - 3.2 Balance hydrostatique **51**
  - 3.3 Sorption de vapeur d'eau sur des masses étalons **51**
  - 3.4 Balance à suspensions flexibles FB-2 **52**
    - 3.4.1 Étude dans le vide du prototype n° 85 **52**
    - 3.4.2 Vérifications **52**
    - 3.4.3 Modification **53**
  - 3.5 Générateur d'humidité **53**
  - 3.6 Propriétés magnétiques des étalons de masse **54**
  - 3.7 Pression **54**
  - 3.8 Balance de torsion pour la mesure de  $G$  **55**
  - 3.9 Publications, conférences et voyages : section des masses **55**
    - 3.9.1 Publications extérieures **55**
    - 3.9.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **56**
  - 3.10 Activités liées au travail des Comités consultatifs **57**
  - 3.11 Autres activités **58**
  - 3.12 Visiteurs de la section des masses **58**
  - 3.13 Chercheurs invités et étudiant **58**
- 4 Temps **59**
  - 4.1 Temps atomique international (TAI) et Temps universel coordonné (UTC) **59**
  - 4.2 Algorithmes pour les échelles de temps **59**
    - 4.2.1 Stabilité de l'EAL **59**
    - 4.2.2 Exactitude du TAI **60**
    - 4.2.3 Échelles de temps atomique indépendantes **60**
  - 4.3 Liaisons horaires **61**
    - 4.3.1 Mesures utilisant le code du Global Positioning System (GPS) et du Global Navigation Satellite System (GLONASS) **62**
    - 4.3.2 Mesures de phase et de code des récepteurs géodésiques **63**

- 4.3.3 Comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite **64**
- 4.3.4 Incertitudes sur les liaisons horaires du TAI **64**
- 4.3.5 Étalonnage des liaisons horaires du TAI **64**
- 4.4 Pulsars **65**
- 4.5 Références spatio-temporelles **65**
- 4.6 Autres études **66**
- 4.7 Publications, conférences et voyages : section du temps **67**
  - 4.7.1 Publications extérieures **67**
  - 4.7.2 Publications du BIPM **68**
  - 4.7.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **68**
- 4.8 Activités en liaison avec des organisations extérieures **71**
- 4.9 Activités liées au travail des Comités consultatifs **72**
- 4.10 Visiteurs de la section du temps **72**
- 4.11 Chercheur associé **73**
- 5 Électricité **73**
  - 5.1 Potentiel électrique : effet Josephson **73**
    - 5.1.1 Mesures de réseaux de jonctions de Josephson **73**
    - 5.1.2 Projet 723 de l'EUROMET : comparaison d'étalons de tension à 1,09 V complémentaire à la comparaison clé BIPM.EM-K10.a **74**
    - 5.1.3 Mesures de diodes de Zener **74**
  - 5.2 Résistance électrique et impédance **74**
    - 5.2.1 Mesures de résistance en courant continu **74**
    - 5.2.2 Conservation d'un étalon de référence de capacité et étalonnages de condensateurs **75**
  - 5.3 Détermination des caractéristiques de bruit des étalons de tension électroniques **76**
    - 5.3.1 Détermination des caractéristiques de bruit et de stabilité des procédures de mesure de tension avec inversion de la polarité **76**
    - 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 **77**
  - 5.4 Nouveau schéma de mesure des coefficients de température des étalons de tension électroniques **78**
  - 5.5 Thermométrie **79**

- 5.6 Comparaisons clés continues du BIPM d'étalons électriques **80**
- 5.7 Étalonnages **81**
- 5.8 Publications, conférences et voyages : section d'électricité **81**
  - 5.8.1 Publications extérieures **81**
  - 5.8.2 Rapports BIPM **81**
  - 5.8.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **82**
- 5.9 Activités en liaison avec des organisations extérieures **83**
- 5.10 Activités liées au travail des Comités consultatifs **84**
- 5.11 Visiteurs de la section d'électricité **84**
- 5.12 Chercheur invité **84**
  
- 6 Rayonnements ionisants **85**
  - 6.1 Rayons x et  $\gamma$  **85**
    - 6.1.1 Étalons et équipements pour la dosimétrie **85**
    - 6.1.2 Comparaisons de dosimétrie **86**
    - 6.1.3 Étalonnage d'étalons nationaux pour la dosimétrie **87**
  - 6.2 Radionucléides **88**
    - 6.2.1 Comparaisons clés internationales de mesures d'activité **88**
    - 6.2.2 Autres comparaisons clés **90**
    - 6.2.3 Système international de référence (SIR) pour la mesure d'activité de radionucléides émetteurs de rayonnement gamma **90**
    - 6.2.4 Spectrométrie de rayonnement gamma **91**
  - 6.3 Publications, conférences et voyages : section des rayonnements ionisants **92**
    - 6.3.1 Publications extérieures **92**
    - 6.3.2 Rapports BIPM **95**
    - 6.3.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **96**
  - 6.4 Activités en liaison avec des organisations extérieures **97**
  - 6.5 Activités liées au travail des Comités consultatifs **98**
  - 6.6 Visiteurs de la section des rayonnements ionisants **98**
  - 6.7 Chercheurs invités **98**

- 7 Chimie **99**
  - 7.1 Programme de comparaisons d'étalons de référence mesureurs d'ozone **99**
    - 7.1.1 Traitement statistique des résultats des comparaisons **99**
    - 7.1.2 Détermination des caractéristiques des photomètres de référence étalons **100**
  - 7.2 Équipements pour les étalons primaires de dioxyde d'azote **101**
  - 7.3 Équipements pour le titrage en phase gazeuse **101**
  - 7.4 Équipements pour les comparaisons d'étalons de monoxyde d'azote **102**
  - 7.5 Composition de l'air **102**
  - 7.6 Programme d'analyse organique **103**
  - 7.7 Publications, conférences et voyages : section de chimie **104**
    - 7.7.1 Publication extérieure **104**
    - 7.7.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **104**
  - 7.8 Activités en liaison avec des organisations extérieures **106**
  - 7.9 Activités liées au travail des Comités consultatifs **106**
  - 7.10 Activités liées au JCTLM **107**
  - 7.11 Visiteurs de la section de chimie **107**
  - 7.12 Chercheur invité **108**
- 8 La base de données du BIPM sur les comparaisons clés **108**
  - 8.1 Informations enregistrées dans la base de données **108**
  - 8.2 Progrès dans la mise en œuvre du système KCDB **109**
  - 8.3 La KCDB et le Système Qualité du BIPM **110**
  - 8.4 Faire connaître la KCDB **110**
  - 8.5 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **111**
  - 8.6 Activités en liaison avec des organisations extérieures **111**
  - 8.7 Activités liées au travail des Comités consultatifs **111**
- 9 Le Comité mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM, JCRB **112**
  - 9.1 Fin de la période de transition **112**
  - 9.2 Interprétation et révision du MRA du CIPM – documents connexes **113**
  - 9.3 Procédures d'examen inter-régional **113**
  - 9.4 Nouveau secrétaire exécutif **114**

- 9.5 Publications, conférences et voyages : JCRB **114**
  - 9.5.1 Révisions de documents approuvées par le CIPM **114**
  - 9.5.2 Nouveaux documents du JCRB **114**
  - 9.5.3 Documents du JCRB révisés **115**
  - 9.5.4 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **115**
- 9.6 Activités en liaison avec des organisations extérieures **115**
- 9.7 Activités liées au travail des Comités consultatifs **116**
- 9.8 Visiteurs pour le JCRB **116**
- 10 Système qualité **117**
  - 10.1 Liaison avec l'ISO et l'ILAC **117**
  - 10.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) : Système Qualité **117**
- 11 Projets spéciaux **118**
  - 11.1 Condensateur calculable **118**
  - 11.2 Balance du watt **119**
  - 11.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) : projets spéciaux **120**
  - 11.4 Visiteurs pour les projets spéciaux **121**
- 12 Publications et informatique **121**
  - 12.1 Rapports du CIPM et de ses Comités consultatifs **121**
  - 12.2 *Metrologia* **122**
  - 12.3 Informatique **123**
  - 12.4 Voyages (conférences et visites) : section publications et informatique **125**
- 13 Réunions et exposés au BIPM **125**
  - 13.1 Réunions **125**
  - 13.2 Exposés **126**
  - 13.3 Exposés internes **127**
- 14 Certificats et Notes d'étude **128**
  - 14.1 Certificats **128**
  - 14.2 Notes d'étude **134**

- 15 Finance, administration et services généraux **135**
  - 15.1 Comptes **136**
    - 15.1.1 Compte I : fonds ordinaires **136**
    - 15.1.2 Compte II : caisse de retraite **138**
    - 15.1.3 Compte III : fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique **138**
    - 15.1.4 Compte IV : caisse de prêts sociaux **139**
    - 15.1.5 Compte V : réserve pour les bâtiments **139**
    - 15.1.6 Compte VI : *Metrologia* **140**
    - 15.1.7 Compte VII : fonds de réserve pour l'assurance maladie **140**
    - 15.1.8 Bilan au 31 décembre 2003 **141**
  - 15.2 Personnel **143**
    - 15.2.1 Engagements **143**
    - 15.2.2 Promotions et changements de grade **144**
    - 15.2.3 Changements et transferts de postes **144**
    - 15.2.4 Changements de titres **145**
    - 15.2.5 Chercheurs associés **145**
    - 15.2.6 Départs **145**
  - 15.3 Bâtiments **146**
    - 15.3.1 Grand Pavillon **147**
    - 15.3.2 Petit Pavillon **147**
    - 15.3.3 Observatoire **147**
    - 15.3.4 Bâtiment des rayonnements ionisants **147**
    - 15.3.5 Nouveau Pavillon **147**
    - 15.3.6 Tous les bâtiments **147**
  - 15.4 Voyages (conférences et visites) : section finance, administration et services généraux **148**
- 16 Secrétariat **148**
- 17 Atelier de mécanique et entretien du site **149**

**Liste des sigles utilisés dans le présent volume 151**

**ÉTATS MEMBRES DE LA CONVENTION DU MÈTRE  
ET ASSOCIÉS À LA CONFÉRENCE GÉNÉRALE**au 1<sup>er</sup> juillet 2004**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
Costa Rica	Malte
Cuba	Panama
Équateur	Philippines
Hong Kong, Chine	Slovénie
Jamaïque	Taipei chinois
Kenya	Ukraine
Lettonie	Viet Nam

## **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 : 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 et du Comité international 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*.

Le Comité international a décidé en 2003 que les rapports des sessions des Comités consultatifs ne seraient plus imprimés, mais placés sur le site Web du BIPM, dans leur langue originale.

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 2004

**Directeur** : M. A.J. Wallard

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

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

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

Mmes P. Barat, J. Coarasa, H. Fang, C. Goyon-Taillade, M. A. Picard

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

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

**Électricité** : M. T.J. Witt

M. M. Stock<sup>3</sup>  
MM. R. Chayramy, F. Delahaye, R. Goebel, A. Jaouen, D. Reymann,  
S. Solve

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

MM. D.T. Burns, S. Courte, Mmes C. Kessler, C. Michotte, M. M. Nonis,  
Mme S. Picard, MM. G. Ratel, P. Roger

**Chimie** : M. R.I. Wielgosz

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

**Publications et informatique** : M. J. Williams

M. L. Le Mée, Mme J.R. Miles, M. G. Petitgand

**Base de données du BIPM sur les comparaisons clés** : Mme C. Thomas<sup>4</sup>

Mme S. Maniguet

**Système qualité, liaison avec l'ISO et l'ILAC** : M. R. Köhler

**Secrétariat :** Mme F. Joly

Mmes D. Le Coz<sup>4</sup>, G. Négadi, J. Varenne

**Finances, administration et services généraux :** Mme B. Perent

M. F. Ausset, Mmes D. Etter, M.-J. Martin, D. Saillard<sup>4</sup>

*Gardiens :* M. et Mme Dominguez<sup>5</sup>, M. et Mme Neves<sup>5</sup>

*Femme de ménage :* Mmes A. Da Ponte, M.-J. Fernandes, R. Prieto

*Jardiniers :* MM. C. Dias-Nunes, A. Zongo<sup>5</sup>

**Atelier de mécanique et entretien du site :** M. J. Sanjaime

*Atelier :* MM. F. Boyer, M. de Carvalho, J.-B. Caucheteux, D. Rotrou

*Entretien du site :* MM. P. Benoit, P. Lemartrier

**Directeurs honoraires :** MM. P. Giacomo, T.J. Quinn

---

1 Chercheur associé supérieur.

2 Chercheur associé(e).

3 Responsable des projets spéciaux.

4 Également aux publications.

5 Également à l'entretien du site.

6 En détachement au BNM-SYRTE, Observatoire de Paris.

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

(1<sup>er</sup> juillet 2003 – 30 juin 2004)



## 1 INTRODUCTION

### 1.1 Introduction générale et résumé des travaux scientifiques

C'est avec plaisir que je rédige l'introduction au Rapport du directeur 2003-2004. Durant cette période, nous avons vécu trois événements notables : la 22<sup>e</sup> Conférence générale des poids et mesures (CGPM), la fin de la période de transition de l'Arrangement de reconnaissance mutuelle du CIPM (MRA), et le départ à la retraite de M. Terry Quinn, directeur du BIPM.

La dernière Conférence générale a été critique pour le BIPM parce que, pour la première fois depuis les années 1960, le Comité international a demandé une réelle augmentation de la dotation du BIPM. Cette demande, déjà anticipée lors de la 21<sup>e</sup> Conférence générale en 1999, était fondée sur la très forte augmentation de la charge de travail du BIPM qui a résulté de la mise en œuvre de l'Arrangement du CIPM, de l'intensification des activités de coordination avec les laboratoires nationaux de métrologie et avec les autres organisations intergouvernementales et internationales, et de la nécessité d'étendre nos activités dans les domaines de la métrologie en chimie et en médecine de laboratoire. De plus, notre programme scientifique et technique de base dans les domaines existants a dû répondre aux exigences toujours croissantes des États membres. Jusqu'à récemment, le BIPM a été capable de maintenir ses activités dans tous ces domaines en ré-évaluant ses priorités et en effectuant de modestes réductions dans son programme. Toutefois, il est devenu clair en 2002 qu'une telle situation ne pourrait se poursuivre pendant la prochaine période de quatre ans. Pour faire face à la situation future, le CIPM a approuvé la proposition du directeur de l'époque de fermer la section de photométrie et de radiométrie et de recentrer les activités de la section des longueurs dans le domaine des peignes de fréquences, tout en conservant les programmes restreints existants en nanométrie et en gravimétrie. Ces décisions ont aidé à montrer aux États membres que le CIPM et le BIPM sont réactifs à la situation extérieure et qu'ils sont préparés à ajuster les activités du BIPM afin de s'adapter à l'évolution des priorités. La Conférence générale a approuvé le Programme de travail et budget proposé pour la période 2005 à 2008, mais a voté dans sa Résolution 12 une augmentation de la dotation, ainsi qu'une contribution discrétionnaire, inférieures à ce que le CIPM jugeait nécessaire. Le BIPM doit donc effectuer d'autres économies budgétaires pour être en mesure de mettre en œuvre le programme de travail proposé pour la période 2005-2008. Cette Résolution demandait aussi aux

États membres de subventionner un programme de chercheurs associés au BIPM et d'organiser la mise à disposition ou le détachement au BIPM de membres de leur personnel. Des suggestions de projets scientifiques ont été envoyées aux directeurs des laboratoires nationaux de métrologie à la fin de l'année 2003 ; j'attends leurs réponses.

Les propositions du Programme et budget présentées à la 22<sup>e</sup> Conférence générale ont été préparées après consultation approfondie avec les directeurs des laboratoires nationaux de métrologie. Elles sont fondées sur les réponses à deux questionnaires envoyés en 2001 portant sur un vaste domaine d'activités. Ces réponses ont fait l'objet de discussions lors des réunions des directeurs qui ont suivi. La Conférence générale a approuvé, à l'unanimité, le programme de travail pour la période 2005 à 2008 tel qu'il a été proposé. Ce programme comprend une extension des activités scientifiques et techniques du BIPM en chimie et la mise en œuvre d'une expérience sur la balance du watt. La Conférence générale a aussi souligné l'importance de la proposition d'augmenter les activités de coordination internationale. Cette tendance est déjà évidente ; pendant l'année passée nous avons accru nos relations avec l'ILAC, l'ISO et l'OIML. Nous avons aussi poursuivi notre collaboration avec des organisations expertes ou représentatives des nouveaux domaines d'application de la métrologie. Parmi ces dernières nous citerons l'OMM, l'OMS et le Codex Alimentarius, et des organisations spécialisées comme l'IFCC. Ces partenariats sont essentiels pour que soient appliqués avec succès nos concepts de métrologie fondamentale, de traçabilité des mesures et d'incertitude, dans des domaines scientifiques où d'autres organisations sont plus expertes que nous. Ces partenariats ont été accueillis avec enthousiasme par les organisations concernées et je suis sûr que nous constaterons des progrès considérables dans les années à venir.

Décembre 2003 a vu la fin de la période officielle de transition de l'Arrangement du CIPM. Le Comité mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM (JCRB) s'est réuni deux fois pendant la période couverte par ce rapport et a, entre autres, finalisé sa position en ce qui concerne les mesures visant à donner confiance au niveau international dans les procédures d'examen des Systèmes Qualité. La base de données du BIPM sur les comparaisons clés (KCDB) contient maintenant un grand nombre de données sur les aptitudes en matière de mesure et d'étalonnage (CMC) et de rapports présentant les résultats des comparaisons ; presque tous les domaines de la métrologie y sont représentés. Nous continuerons à modifier et à améliorer la base de données, ainsi que sa présentation. Nous pensons que la KCDB a atteint un stade de maturité tel que nous pouvons commencer

à la promouvoir activement et à la « vendre » aux utilisateurs qui ne font pas partie de la communauté des laboratoires nationaux de métrologie. La Conférence générale et les récentes réunions des directeurs ont soutenu cette politique. Nous avons donc eu, en collaboration avec un certain nombre de laboratoires nationaux de métrologie, des discussions avec des organismes de réglementation et de législation qui, nous l'espérons, auront suffisamment confiance dans les procédures énoncées dans l'Arrangement du CIPM pour l'utiliser et s'y référer dans leurs propres procédures. Nous avons aussi établi un groupe de travail commun avec l'ILAC afin d'établir des liens plus étroits et promouvoir l'interdépendance entre l'Arrangement du CIPM et celui de l'ILAC. Informer les utilisateurs de nos progrès et les sensibiliser à la KCDB est une part importante de notre stratégie de communication. C'est pourquoi nous continuons à développer le site Web du BIPM et nous avons envoyé un bulletin d'information sur la KCDB (la « *KCDB Newsletter* ») à un millier de destinataires en juin 2004.

Au moment où ce rapport a été rédigé, nous comptons 16 associés à la Conférence générale. Nous sommes heureux de les accueillir et notons avec intérêt que leur décision d'acquiescer ce statut a été principalement motivée par le fait que l'Arrangement du CIPM répondait convenablement à leurs besoins dans le domaine des échanges commerciaux. Plusieurs États et entités économiques, y compris un groupe économique d'intérêt commun, sont à l'heure actuelle en relation avec le BIPM afin d'obtenir le statut d'associé.

Le programme scientifique et technique du BIPM, adopté par les Conférences générales successives, est conduit conformément à l'article 6 (1875) de la Convention du Mètre et à l'article 7 (1921) du Règlement annexé à la Convention du Mètre ; il comprend un certain nombre d'objectifs. Ceux-ci sont détaillés dans le rapport du CIPM sur « Le rôle du BIPM », dont la dernière version a été présentée à la 22<sup>e</sup> Conférence générale sous le titre « *Évolution des besoins dans le domaine de la métrologie pour le commerce, l'industrie et la société et le rôle du BIPM* ». Tout d'abord, ce document nous donne pour mission de conserver et de disséminer l'étalon primaire de masse, le prototype international du kilogramme ; d'établir et de disséminer le Temps atomique international (TAI) et le Temps universel coordonné (l'UTC) ; d'offrir des services uniques tels que le Système international de référence (SIR), et de mener à bien les comparaisons et les étalonnages approuvés par le CIPM et par la Conférence générale. De plus, et c'est important, il donne au personnel scientifique et technique du BIPM sa crédibilité sur le plan scientifique et technique et la confiance des laboratoires nationaux de métrologie et des organisations internationales. Les

Comités consultatifs peuvent ainsi jouer leur rôle avec efficacité et le BIPM peut être le laboratoire pilote d'un certain nombre de comparaisons clés. De plus, notre compétence sur le plan scientifique et technique et notre vaste connaissance de ce qui se passe dans le monde entier nous permettent d'effectuer un transfert de technologie de haut niveau pendant les réunions au BIPM, lors des étalonnages et des comparaisons. Le contenu de notre travail scientifique et technique doit toutefois être choisi avec soin pour répondre aux besoins des laboratoires nationaux de métrologie et pour éviter une duplication inutile. Des questionnaires, les discussions dans le cadre des réunions des Comités consultatifs et les contacts réguliers avec les laboratoires nationaux de métrologie nous assurent d'obtenir les informations essentielles de haute qualité nous permettant de proposer et de formuler notre programme de travail et de garantir que les résultats sont fiables et peuvent être exploités aussi largement que possible. Le haut niveau de reconnaissance de notre rôle scientifique et technique se reflète clairement dans les réponses du personnel des laboratoires nationaux de métrologie aux deux questionnaires envoyés en 2001 que nous avons évoqués précédemment. Nous mentionnerons en particulier deux faits notables survenus lors de l'année passée : l'accord auquel nous sommes parvenus sur la nature du nouveau programme de chimie organique, consacré à l'analyse des matériaux purs, et l'étude récente sur les besoins des laboratoires nationaux de métrologie concernant les comparaisons d'étalons de référence à effet Josephson de 1 V et de 10 V.

Pendant la période couverte par ce rapport, le BIPM a organisé une vingtaine de réunions de Comités consultatifs, groupes de travail, comités communs et diverses réunions en liaison avec d'autres organisations. De plus, le CIPM s'est réuni juste avant la Conférence générale et le JCRB s'est réuni au BIPM et au CENAM (Mexique). Les activités des comités continuent donc à occuper une grande partie de nos ressources scientifiques et de soutien technique et logistique. Pour permettre au BIPM de faire face à la production des rapports des réunions des Comités consultatifs, dont le nombre s'est considérablement accru, le CIPM a décidé de les publier uniquement dans leur langue d'origine sur son site Web. Comme la charge de travail liée à l'Arrangement du CIPM décroît un peu, les Comités consultatifs se concentrent à nouveau sur des questions techniques, en particulier les énormes progrès réalisés dans le domaine des peignes de fréquence à impulsions femtosecondes et des étalons de fréquence optiques. Ces travaux ont été examinés récemment au cours de deux réunions du groupe de travail commun au CCL et au CCTF qui a pour mission d'examiner les radiations

proposées pouvant servir de représentations secondaires de la seconde du SI. Il a déjà recommandé une valeur et une incertitude pour la transition du rubidium à une fréquence micro-onde, proche de 6,8 GHz. Nous espérons examiner davantage de transitions optiques dans un proche avenir. Selon les conclusions du travail de la section des longueurs, effectué en collaboration avec des personnels de certains laboratoires nationaux de métrologie, nous sommes amenés à penser que la technique des peignes n'apportera pas de composante significative à l'incertitude de mesure de ces fréquences par rapport aux étalons à césium. Si, comme beaucoup le croient, les « horloges » optiques surpassent les performances des horloges à césium, une voie est ouverte vers une éventuelle redéfinition de la seconde.

Environ quatre-vingts étudiants originaires d'une trentaine de pays ont assisté à l'école d'été du BIPM sur la métrologie en juillet-août 2003 ; l'école a connu un grand succès. Elle avait deux objectifs : tout d'abord de donner un vaste aperçu de la métrologie grâce à des conférences données par des experts internationaux, y compris plusieurs titulaires du prix Nobel. Ensuite nous souhaitons offrir l'opportunité aux plus jeunes membres du personnel des laboratoires nationaux de métrologie de se rencontrer, d'établir des contacts et de lier des amitiés essentielles pour la communauté de la métrologie à l'avenir. Les comptes rendus ont été publiés sur CD et, en réponse à la demande des étudiants, nous envisageons d'organiser une deuxième école d'été à une date à fixer.

Nos activités avec l'IFCC et l'ILAC dans le cadre du Comité commun pour la traçabilité en médecine de laboratoire (JCTLM) continuent à progresser. Les premières listes de matériaux de référence ayant fait l'objet d'un examen ont été publiées dans la base de données du JCTLM ; d'autres doivent suivre. Les prochaines priorités pour ce comité concernent les moyens de traiter les matériaux de référence biologiques et leur traçabilité, ainsi que la promotion de ces travaux auprès des agences de réglementation. Nous avons aussi fait des progrès considérables dans nos relations avec la Communauté européenne en ce qui concerne la reconnaissance de la base de données du JCTLM pour fournir les listes « d'étalons de rang hiérarchique supérieur » nécessaires à la mise en œuvre des aspects techniques de la directive de l'union européenne sur les dispositifs médicaux de diagnostic *in vitro*.

Au BIPM proprement dit, nous avons apporté un certain nombre de changements dans l'organisation afin de refléter l'augmentation des activités avec l'ILAC et l'ISO et les nouvelles responsabilités de la section d'électricité. La cellule informatique est maintenant rattachée à la section des

publications, ce qui reflète les liens étroits entre l'informatique et les activités liées au site Web du BIPM.

Notre Système Qualité est totalement opérationnel en ce qui concerne les services de mesure du BIPM. Toutes les sections ont été soumises à un examen sur place par leurs pairs des laboratoires nationaux de métrologie. Ce Système est en cours d'extension à d'autres services, tels que le JCRB et la « *Circulaire T* ».

Nous poursuivons notre travail de promotion de la Convention du Mètre, du BIPM et de l'Arrangement du CIPM à l'attention de l'extérieur. Le directeur et les responsables représentent le BIPM aux réunions des organisations régionales de métrologie et font régulièrement des présentations aux conférences et aux réunions de spécialistes. Dans la limite du temps disponible, nous nous efforcerons de maintenir cette participation. Ces engagements sont mentionnés aux rubriques « voyages » de ce rapport. De plus, nous avons accueilli un certain nombre de visiteurs pour rendre le BIPM plus visible auprès des communautés académiques, industrielles et autres concernées. Nous nous engageons à mettre en valeur notre site Web, la source principale d'informations sur la Convention du Mètre, à le mettre à jour régulièrement et à l'utiliser pour promouvoir certains événements spécifiques relatifs à la métrologie.

Le BIPM continue à être un lieu de travail passionnant et animé. D'après mon expérience, nous combinons un ensemble unique de fonctions scientifiques, politiques, économiques et sociales. Ce n'est pas particulièrement facile de répondre au mieux aux exigences et aux besoins de ces différents domaines, et je suis reconnaissant au personnel du BIPM pour sa réaction positive et enthousiaste aux changements et aux priorités externes.

Enfin, je terminerai mon premier Rapport du directeur en rendant hommage à mon prédécesseur, Terry Quinn, dont la contribution personnelle à la métrologie internationale pendant de nombreuses années a, à juste titre, été applaudie et universellement reconnue. Le BIPM est dans une position scientifique, technique et financière solide, grâce à sa direction pendant toutes ces années. Sa présence au jour le jour nous manquera, mais nous sommes heureux de le voir mener à bon terme son expérience sur  $G$ , ainsi que de sa nomination au titre de directeur honoraire et membre à titre personnel de Comités. Je lui souhaite, ainsi qu'à son épouse, une longue et heureuse retraite.

Les rapports scientifiques et techniques détaillés fournis par les chefs de sections figurent dans la suite du rapport. J'aimerais, toutefois, attirer votre attention sur un ou deux des travaux les plus notables de chaque section pendant l'année passée.

**Longueurs :** La section des longueurs a mené avec succès deux campagnes d'étalonnage de lasers à peigne à impulsions femtosecondes, qui nous ont permis de trouver le moyen d'améliorer la réalisation du mètre, au moyen des lasers à 633 nm classiques. Le soutien enthousiaste du CCL à une nouvelle comparaison clé dans ce domaine a montré avec évidence la valeur qu'attache la communauté internationale à notre activité de comparaison et d'étalonnage. La comparaison clé BIPM.L-K11 a été lancée ; elle comprendra un plus grand domaine de sources lasers que par le passé, ainsi que les comparaisons effectuées par les organisations régionales de métrologie.

Le fait le plus marquant pendant l'année est sans doute le travail, publié dans *Science*, sur les limites des peignes dans les comparaisons de fréquences et le lien entre les fréquences optiques et micro-ondes. L'article explique que l'accord entre les mesures de peignes peut atteindre le niveau de  $10^{-19}$ , ouvrant ainsi la possibilité de comparaisons directes entre des horloges optiques et micro-ondes avec des incertitudes de mesure indépendantes de la procédure de mesure. Cet article a eu un vif retentissement dans la presse technique. En raison de problèmes sur notre laser de référence nos efforts pour mesurer le laser asservi sur le méthane à  $3,39 \mu\text{m}$  n'ont pas abouti, mais les améliorations nécessaires ont maintenant presque toutes été apportées et nous espérons être en mesure de donner une valeur de la fréquence au moyen du peigne l'année prochaine.

Nos travaux de mise au point de lasers compacts qui seront utilisés pour la balance du watt du BIPM, pour le condensateur calculable et pour le gravimètre donnent des résultats très satisfaisants et nous sommes en discussion sur leur exploitation éventuelle par une société commerciale.

La session du CCL en septembre 2003 a été précédée de la réunion du Groupe de travail sur la mise en pratique, qui a révisé partiellement la liste des radiations recommandées (Recommandations CCL 2a, b et c), et de celle du Groupe de travail commun au CCL et au CCTF. Ce Groupe de travail commun a établi les critères concernant les radiations à examiner comme éventuelles représentations secondaires de la seconde. Lors de sa dernière réunion, il a recommandé une valeur pour la transition micro-onde du rubidium pouvant servir de représentation secondaire éventuelle de la

seconde. Ce groupe espère examiner d'autres candidats éventuels, probablement du domaine optique, lors de sa prochaine réunion.

**Masses :** Six nouveaux prototypes du kilogramme (portant les numéros 86 à 91) ont été fabriqués et leur stabilité de masse a été étudiée pendant plusieurs mois. Ce travail a enfin permis de faire face au retard de commandes accumulé depuis longtemps. Nous continuons à soutenir l'effort international portant sur la redétermination de la constante d'Avogadro. De plus, des membres de la section des masses ont été affectés au projet du BIPM sur la balance du watt. Nous avons effectué l'étalonnage de quatre prototypes nationaux du kilogramme et introduit un nouveau service d'étalonnage de la susceptibilité magnétique volumique d'artefacts utilisés pour le susceptomètre du BIPM. En plus de ces activités, nous avons introduit un Système Qualité pour tous les services d'étalonnage, qui a subi avec succès l'examen par les pairs.

**Temps :** L'automatisation de la procédure de calcul du Temps atomique international (TAI) a écourté le délai de publication de la *Circulaire T* et a rendu la procédure plus fiable. Depuis mars 2004, les incertitudes de type A et de type B des liaisons horaires du TAI sont publiées dans la *Circulaire T*. La stabilité à moyen terme du TAI, exprimée sous forme de l'écart-type d'Allan, est estimée à environ  $0,6 \times 10^{-15}$  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, à présent, 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 depuis juillet 2003. Une part importante de l'activité de la section est consacrée aux comparaisons de temps et de fréquences 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, a été enrichi grâce à l'adjonction de nouvelles techniques de comparaisons d'horloges. Quatre liaisons horaires, établies dans le cadre de l'expérience pilote destinée à vérifier l'utilisation de mesures du code P porté par les deux fréquences des signaux du GPS et reçues par des récepteurs géodésiques, ont été incorporées au TAI. Le nombre de récepteurs du GPS à canaux multiples a augmenté l'an passé et les observations pour les comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite entre l'Europe et l'Amérique du Nord sont maintenant effectuées quotidiennement et parfois plusieurs fois par jour. Des programmes d'étalonnage de récepteurs du GPS ont été organisés

et mis en œuvre par la section : près de 50 % des récepteurs participant au TAI ont été étalonnés.

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 établir les systèmes de référence spatio-temporels ; les « *Conventions de l'IERS* » (2003) ont été publiées. D'autres activités de recherche concernent les pulsars, les projets d'utilisation d'horloges dans l'espace et l'interférométrie atomique.

Dans le cadre des activités du Conventions Product Centre du Service international de la rotation terrestre, un poste de scientifique a été mis à disposition du BIPM. M. Jim Ray (US National Geodetic Survey) bénéficie de cette position depuis le 1<sup>er</sup> septembre 2003.

**Électricité :** Cette année a été riche en événements pour la section d'électricité, en particulier avec le transfert dans la section de trois collègues de l'ancienne section de photométrie et radiométrie, et avec la mise en œuvre de deux projets majeurs, sur la balance du watt et sur le condensateur calculable, décrits dans une autre section de ce rapport. Un autre événement important a été l'établissement, avec succès, du Système Qualité soumis à l'audit externe d'un certain nombre d'experts internationaux les plus réputés dans les domaines des mesures de tension, de résistance et de capacité. Pour nous aider à établir des priorités dans les activités de la section, nous avons envoyé un questionnaire aux laboratoires nationaux de métrologie concernant leur intention de participer à d'éventuelles comparaisons directes d'étalons à effet Josephson organisées par le BIPM. Sur les 36 spécialistes contactés, 34 ont répondu au questionnaire et 32 ont exprimé le souhait de participer à une comparaison du BIPM. Ces réponses révèlent un niveau d'intérêt remarquable pour cette activité du BIPM. Parmi les activités techniques les plus marquantes de l'année, notons les essais concluants du réseau programmable qui nous a été donné par la PTB. Nous avons comparé entre elles les tensions de deux segments de ce réseau, ainsi que la tension de tous les segments par rapport à celles d'un réseau de jonctions semiconducteur-isolant-semiconducteur (SIS) et nous n'avons pas trouvé de différences significatives, dans les limites d'une incertitude-type de 0,1 nV. Dans le domaine de la métrologie des tensions, nous avons aussi participé à une comparaison de l'EUROMET d'étalons à effet Josephson à 1,09 V ; les

mesures s'accordent à 0,07 nV près avec une incertitude-type de 0,16 nV. Ces résultats fournissent un lien solide entre les résultats des comparaisons clés en continu d'étalons à effet Josephson du BIPM et ceux de la comparaison de l'EUROMET. Dans le domaine des mesures d'impédance, nous avons progressé dans la réalisation et la vérification de dispositifs à effet Hall quantique combinés en série et en parallèle. Nous avons aussi mis au point une méthode pour étendre le domaine de fréquence de nos mesures de capacité les plus exactes, dans l'intervalle compris entre 500 Hz et 6000 Hz, au moyen d'un pont à quadrature composé de résistances dont la dépendance en fréquence est connue, et au moyen de diviseurs de rapports 1/4 et 4/1. Nos recherches sur le bruit des mesures en courant continu montrent clairement que l'inversion de polarité n'affecte pas le bruit en  $1/f$ . Nous avons aussi vérifié l'exactitude de nos calculs de densité spectrale et de variance d'Allan pour les mesures de bruit de tension en montrant que la densité spectrale est en accord à quelques pourcents près avec l'expression de Nyquist pour le bruit thermique d'une résistance à la température ambiante. Notre collaboration avec le NIST comprend maintenant la détermination des caractéristiques du bruit de la mesure de 25 étalons fondés sur des diodes de Zener au moyen d'un réseau de jonctions de Josephson et d'un voltmètre numérique. Les résultats sont en accord avec un modèle de bruit spectral à deux termes, le bruit blanc et le bruit en  $1/f$ , et confirment les tendances observées au cours de travaux antérieurs au BIPM, lesquels avaient montré un bruit beaucoup plus faible pour certains étalons à diodes de Zener. Nous avons obtenu des résultats intéressants grâce à un nouveau schéma utilisé pour déduire les coefficients de température des étalons à diodes de Zener, schéma fondé sur une modulation de température à très basse fréquence.

Les activités de la section englobent maintenant la thermométrie, suite au transfert du personnel de l'ancienne section de photométrie et radiométrie. Les mesures de la comparaison clé du CCT de cellules à points triples de l'eau se sont achevées en juillet 2003, à l'exception de celle d'une cuve supplémentaire envoyée ultérieurement afin de remplacer une cellule dont le comportement n'était pas satisfaisant. En tout, vingt laboratoires ont participé à la comparaison, ce qui souligne la grande importance du point triple de l'eau pour définir l'unité SI de température, le kelvin. Les résultats de cette nouvelle comparaison (CCT-K7) sont de bien meilleure qualité que ceux de la précédente comparaison, car nos instruments ont été largement améliorés. Le rapport est en préparation et sera distribué mi-2004.

Le projet réalisé en collaboration avec le NMIJ/AIST sur la détermination de la température thermodynamique d'alliages utilisant les eutectiques métal-carbone a été limité à une durée d'un an, suite à la fermeture de la section de radiométrie et photométrie. Les eutectiques métal-carbone pourraient éventuellement servir de points fixes à haute température pour la future échelle de température. En dépit du temps limité consacré à cette expérience, la faisabilité de toutes les étapes nécessaires au projet a été démontrée. Une nouvelle technique pour la caractérisation des défauts optiques du système d'imagerie a été mise au point.

**Rayonnements ionisants :** Nous avons remplacé le tube à rayons x aux moyennes énergies après trente années de service ; les faisceaux de référence sont en cours de réinstallation. De nouveaux diviseurs à haute tension ont été construits et installés dans les deux équipements pour les rayons x. Un spectromètre Compton à rayons x est en cours de mise au point afin de confirmer les spectres simulés utilisés en mammographie avant l'achèvement de deux comparaisons. La vérification des facteurs de correction (expérimentaux et calculés) pour le faisceau de  $^{60}\text{Co}$  à 250 TBq progresse et un nouveau fantôme d'eau a été construit. La mesure exacte de la capacité calorifique spécifique du cœur du nouveau calorimètre en graphite étalon pour les mesures de dose absorbée est en cours. Les résultats de 23 comparaisons ont été publiés dans la KCDB, après application des facteurs de correction calculés selon la méthode de Monte Carlo aux étalons de kerma dans l'air pour les rayons x du BIPM. Deux nouvelles comparaisons de dosimétrie ont été effectuées et trente-deux étalons secondaires nationaux ont été étalonnés. Les étalonnages ont été soumis avec succès à un audit pour le Système Qualité.

Dans le domaine des radionucléides, six comparaisons clés sont en cours ; des projets de rapports sont déjà rédigés pour les comparaisons de  $^{192}\text{Ir}$  et de  $^{90}\text{Y}$ , ils sont en cours pour les comparaisons de  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{54}\text{Mn}$  et  $^{65}\text{Zn}$  ; la comparaison de  $^{125}\text{I}$  vient de commencer. Les équipements de mesure du BIPM pour les radionucléides, et en particulier l'électronique, ont été remis à niveau pour faire face à l'augmentation de la charge de travail. En plus de plusieurs ampoules utilisées dans les comparaisons de la Section II du CCRI, six laboratoires ont soumis huit radionucléides différents au Système international de référence (SIR) cette année. Au cours des douze derniers mois, 31 nouveaux rapports de comparaisons du SIR ont été publiés dans la KCDB. En plus des rapports en cours concernant les huit comparaisons en continu restantes, deux autres nouvelles comparaisons de radionucléides et dix comparaisons répétées sont en cours. La collaboration se poursuit avec le

NPL sur les courbes d'efficacité du SIR afin d'améliorer le modèle mathématique et de réduire les incertitudes. Les niveaux d'activité des impuretés de sept radionucléides soumis à diverses comparaisons ont été mesurés au moyen du spectromètre gamma Ge(Li) du BIPM.

**Chimie :** La dernière Conférence générale a approuvé la priorité que nous attachons à la chimie et deux personnes supplémentaires ont été recrutées, mais elles ne rejoindront le BIPM qu'après la fin de la période couverte par ce rapport. Leur principal domaine d'activité sera la chimie organique, dans le cadre de l'examen des matériaux purs décidé par le CCQM.

Jusqu'à récemment, les activités de la section étaient donc centrées sur les gaz. Ces travaux ont rencontré un vif succès et des progrès remarquables ont été faits avec une équipe relativement restreinte. Le BIPM coordonne la comparaison d'étalons de référence mesureurs d'ozone (CCQM-P28). Quatorze laboratoires ont participé à la comparaison depuis juillet 2003 et treize autres laboratoires devraient y participer. Une comparaison non-officielle du nouvel étalon de référence mesureur d'ozone de l'IMGC a été effectuée par rapport au photomètre étalon de référence BIPM-SRP27. Une collaboration avec le BAM a débuté afin d'utiliser la méthode généralisée des moindres carrés pour mettre au point des expressions permettant de calculer les degrés d'équivalence des étalons de référence mesureurs d'ozone.

La construction du photomètre étalon de référence BIPM-SRP33, effectuée en collaboration avec le NIST, s'est achevée au BIPM en juillet 2003. L'instrument a été utilisé pour étudier les sources éventuelles d'erreur dans les mesures effectuées avec des photomètres étalons de référence. L'exactitude des mesures de température dans le photomètre étalon de référence a été évaluée et les erreurs constatées ont été supprimées par la mise au point et l'installation d'un dispositif de contrôle de la température afin d'équilibrer les températures des cuves à gaz à l'intérieur de l'instrument. Nous avons aussi étudié les différences de pression dans les cuves à gaz des photomètres étalons de référence et l'effet dû à la conception de ces instruments sur la longueur du chemin optique. Des supports de fenêtres optiques modifiés ont été conçus et construits afin de confirmer l'effet des réflexions multiples dans les cuves à gaz. Nous avons terminé l'étude de faisabilité sur l'incorporation d'une source de lumière fondée sur un laser dans le photomètre étalon de référence.

Un équipement pour les étalons primaires de gaz permettant la préparation dynamique d'étalons gazeux de dioxyde d'azote est en cours de mise au

point. Le nouveau système a été soumis à des essais ; l'analyse de la variance d'Allan des mesures de séries temporelles a confirmé qu'il répond maintenant aux spécificités requises en matière de stabilité. Une fois prêt, cet équipement sera la référence primaire pour les mesures de fraction massique du dioxyde d'azote pour le titrage en phase gazeuse.

Un équipement pour le titrage en phase gazeuse a été construit pour servir de deuxième méthode primaire potentielle de mesures de concentration d'ozone. Quatre « molblocs » ont été achetés et sont en cours d'intégration dans le système afin de permettre les mesures en temps réel du flux de gaz avec une incertitude considérablement réduite. La validation de cet équipement est en cours. Il est envisagé que l'équipement modifié participe à la comparaison CCQM-P28.

Un équipement pour la comparaison d'étalons gazeux de monoxyde d'azote de fraction molaire nominale  $50 \mu\text{mol/mol}$  a été installé. Il a été démontré que les étalons gazeux de monoxyde d'azote peuvent être analysés avec une incertitude de mesure du même ordre de grandeur que celle de la valeur déterminée par préparation gravimétrique. Une fois terminé cet équipement sera utilisé pour s'assurer que les mesures de la concentration de monoxyde d'azote au moyen du système de titrage en phase gazeuse sont traçables aux étalons primaires de gaz par préparation gravimétrique. Le BIPM a récemment proposé une étude pilote du CCQM sur la comparaison de mélanges gravimétriques de monoxyde d'azote au moyen de cet équipement.

Le KRISS a préparé avec les sections de chimie et de masse deux articles décrivant la mesure des fractions molaires de l'argon dans l'air et leur importance pour la métrologie des masses. Ces articles ont été soumis pour publication à *Metrologia* en juin 2004.

Un programme de travail détaillé du BIPM dans le domaine des substances organiques pures a été présenté au Groupe de travail du CCQM sur l'analyse organique en septembre 2003 et au CCQM en avril 2004.

Le but de ce programme, à long terme, est de permettre au BIPM de mettre en place et d'étayer le programme international de comparaisons de détermination de pureté du CCQM et de contribuer au développement d'approches robustes et de méthodologies pour la détermination de la pureté. Le BIPM a considéré que les demandes en médecine de laboratoire sont prioritaires. Elles concernent les substances pures, appropriées aux études cliniques, nécessaires pour établir les systèmes de mesure de référence. Dans sa période initiale, le programme sera centré sur deux domaines : la comparaison de méthodes de détermination de pureté de stéroïdes utilisés

pour le diagnostic clinique et l'analyse de drogues utilisées dans un cadre thérapeutique. Le BIPM a établi des projets en collaboration avec le LGC et le NMIJ/AIST afin de coordonner ces comparaisons.

La section de chimie assure le secrétariat du JCTLM. La première réunion du Comité exécutif du JCTLM s'est tenue au BIPM ; une liste des « matériaux de référence de rang hiérarchique supérieur et de procédures de mesure de référence » a été publiée sur le site Web du BIPM.

**Projets spéciaux :** Deux nouveaux projets ont été lancés avec l'approbation de la Conférence générale et du CIPM. Ces programmes sont fondamentaux pour que le BIPM reste une organisation dynamique répondant à l'évolution des besoins du monde de la métrologie. En décidant de débiter cette activité, nous nous engageons à long terme à maintenir un condensateur calculable et nous avons décidé qu'il était opportun pour le BIPM de participer au projet sur la balance du watt nécessaire pour contrôler le prototype international du kilogramme.

**Condensateur calculable :** Il s'agit d'un projet en collaboration avec le NML-CSIRO, qui vise à mettre au point une nouvelle version améliorée du condensateur calculable. Deux condensateurs calculables fondés sur des techniques de conception novatrice et une technologie améliorée seront construits d'ici octobre 2006, avec pour objectif une incertitude de  $1 \times 10^{-8}$  en valeur relative. L'atelier du BIPM a fabriqué un bâti qui servira à vérifier la qualité des tiges des électrodes des condensateurs fabriquées par le NML-CSIRO. Leur rectitude est fondamentale au bon fonctionnement des instruments. Le BIPM contribuera aussi à améliorer l'interféromètre pour la mesure de la longueur efficace des électrodes. Nous mettrons aussi au point le logiciel pour le calcul des figures d'interférence dans un interféromètre à faisceaux multiples et pour la simulation des effets des défauts d'alignement des composants optiques. Nous envisageons aussi d'inclure un des lasers compacts à Nd:YVO<sub>4</sub>/KTP du BIPM asservis sur l'iode et sans modulation dans le système optique.

**Balance du watt :** L'approche utilisée au BIPM pour la balance du watt diffère de celle utilisée dans les autres laboratoires nationaux de métrologie en ce que nous proposons d'effectuer des mesures simultanées dans les parties statiques et mobiles de la balance du watt classique et d'utiliser une technique cryogénique afin de réduire certaines des erreurs constatées par ailleurs. Nous avons commencé à utiliser la méthode d'analyse des éléments finis pour étudier différentes formes de circuit magnétique. Un système fermé, symétrique, avec les aimants et l'entrefer à l'intérieur du circuit,

présente plusieurs avantages : la protection contre les champs magnétiques externes, un champ magnétique très uniforme dans l'entrefer et une conception compacte. Nous travaillons actuellement avec une société commerciale à la fabrication de ce système. L'alignement est un facteur critique pour toutes les balances du watt et nous prêtons une grande attention aux techniques d'alignement de l'aimant par rapport à l'accélération gravitationnelle locale et de la bobine par rapport à l'aimant. Nous avons étudié deux systèmes pour générer le mouvement relatif de la bobine et de l'aimant : dans l'un des cas on déplace le circuit magnétique et dans l'autre la bobine. Comme nous envisageons d'opérer simultanément en modes de pesée et en mode déplacement, nous devons déplacer la bobine dans l'aimant pendant que le courant circule. Il faut alors estimer l'effet des courants de Foucault. Aux températures cryogéniques, les forces dues à ces courants sont significatives mais doivent s'annuler sur le cycle complet de mesures. Nous avons vérifié que, pour certains types d'aimants SmCo, le coefficient de température est très faible. Ceci ouvre l'opportunité de construire le circuit magnétique avec un coefficient de température bien plus faible que dans les expériences actuelles.

**Publications et informatique :** Les arrangements avec l'IOPP concernant une grande partie de la procédure de production de *Metrologia* continuent à bien fonctionner. Nous avons prévu un programme de numéros spéciaux pour les trois prochaines années. L'événement le plus notable cette année est, toutefois, l'ouverture du nouveau site Web du BIPM. La nouvelle version et les liens vers les diverses bases de données du BIPM ont déjà été reçus très positivement. Comme c'est le cas dans de nombreuses autres organisations, le site Web est notre principale interface avec les utilisateurs extérieurs et nous avons pris pleinement avantage de ses fonctionnalités pour y placer tous les documents des réunions et les rapports associés.

Dans le domaine de l'informatique, le serveur principal a été remplacé l'an passé et les performances du nouveau sont bien meilleures. De plus, nous avons introduit un système pare-feu plus sophistiqué et une protection renforcée contre les virus.

**Base de données du BIPM sur les comparaisons clés, KCDB :** Les activités liées à la KCDB se poursuivent, avec la mise à jour régulière de l'annexe B contenant les rapports des comparaisons clés et supplémentaires. Environ 570 comparaisons sont enregistrées dans la base de données, avec chaque semaine un nouveau rapport de comparaison en moyenne.

Les données relatives aux aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages de l'annexe C (CMC) viennent continuellement s'y ajouter, et nous vérifions sans cesse que les nouvelles données sont approuvées, selon les règles et les procédures du JCRB. La manière dont les CMCs en électricité sont spécifiés a été modifiée, rendant plus simple et plus condensée la présentation des incertitudes et des informations pour chaque déclaration. Il faudra bientôt s'assurer que les CMCs arrivent avec une déclaration conforme aux Systèmes Qualité examinés par les comités concernés des organisations régionales de métrologie. Cela prend de plus en plus d'importance maintenant que la période de transition de l'Arrangement du CIPM se termine.

La KCDB est destinée aux utilisateurs externes des laboratoires nationaux de métrologie, aux sociétés privées et aux agences de réglementation, et elle requiert donc des modifications continues afin de refléter les besoins des utilisateurs. Aucune restructuration majeure n'a été nécessaire en 2003-2004, mais plusieurs modifications de détail, toutefois significatives, ont été nécessaires pour accroître les fonctionnalités et l'utilité du site pour les utilisateurs et les personnes responsables de soumettre les CMCs dans les organisations régionales de métrologie. Les procédures internes ont aussi été formalisées sous forme de procédures dans le cadre du Système Qualité du BIPM et la KCDB a subi récemment avec succès l'examen interne.

Nous commençons maintenant à promouvoir la KCDB auprès de nouveaux utilisateurs. Pour le moment cette activité est assez réduite, mais plusieurs présentations ont été faites lors de différentes réunions et nous avons lancé un bulletin d'information régulier, la « *KCDB Newsletter* », en juin 2004.

**Comité mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM (JCRB) :** Depuis sa première réunion de 2003, le JCRB prête particulièrement attention aux actions liées à la fin de la période de transition de l'Arrangement du CIPM. Il a été demandé aux organisations régionales de métrologie de soumettre un rapport sur l'examen et l'approbation des Systèmes Qualité des laboratoires nationaux de métrologie qui y participent, avant le 5 avril 2004. La discussion de ces rapports lors de la 12<sup>e</sup> réunion du JCRB, à Querétaro (Mexique), en mai 2004, a abouti à la décision de fixer au 31 décembre 2004 la date limite pour la mise en place de tous les Systèmes Qualité. Après cette date, tous les CMCs publiés qui ne seront pas étayés par un Système Qualité examiné et approuvé par l'organisation régionale de métrologie concernée et par le JCRB seront supprimés de l'annexe C. Il est prévu d'organiser un atelier le 30 septembre 2004, au cours duquel le BIPM présentera son Système Qualité et les organisations régionales de métrologie

les procédures d'examen des Systèmes Qualité des laboratoires nationaux de métrologie membres.

Maintenant que les CMCs soumis dans les domaines de la thermométrie et du temps et des fréquences font l'objet d'examens inter-régionaux, tous les domaines de la métrologie participent au MRA. Il est prévu qu'après la réunion de mai 2005 les activités du JCRB deviendront plus routinières ; il pourrait être nécessaire de réexaminer s'il est encore utile que le JCRB se réunisse deux fois par an.

**Système Qualité :** La première pierre de l'introduction d'un Système Qualité compatible avec la norme ISO/CEI 17025 a été posée comme prévu à la fin de 2003, et tous les services de mesure qui émettent des certificats d'étalonnage, y compris les services de mesure auxiliaires, ont maintenant fait l'objet d'un audit interne et d'un examen par leurs pairs. En 2004, la KCDB et la section du temps ont été intégrées à ce système. Le calcul du TAI et la distribution d'une fréquence de référence stable ont fait tous deux l'objet d'un audit interne et externe ; la KCDB a été soumise uniquement à un audit interne. La seconde série d'audits internes annuels a débuté.

L'examen de management de 2003 a conclu à la nécessité de mener certaines actions, mais a considéré que l'introduction du Système Qualité s'était déroulée avec succès.

**Liaison avec l'ILAC et l'ISO :** Pendant l'année passée, il est devenu évident que nous avons besoin de maintenir des liens plus étroits avec l'ILAC et l'ISO. Nous avons, en particulier, commencé à échanger ouvertement des informations avec l'ISO et nous sommes représentés aux principales réunions des comités REMCO et CASCO de l'ISO. Le BIPM joue maintenant aussi un rôle plus actif dans un certain nombre de groupes de travail de l'ISO, à savoir sur le vocabulaire, la qualité en métrologie et les questions d'accréditation. Le but est de représenter le point de vue des organes de la Convention du Mètre auprès de l'ISO et d'alerter les laboratoires nationaux de métrologie et autres sur les activités de l'ISO susceptibles d'avoir un impact sur leurs activités ou sur celles de la Convention du Mètre.

Nous avons aussi établi un groupe de travail commun officiel avec l'ILAC pour étayer le protocole d'accord entre le BIPM et l'ILAC. Ce groupe s'est réuni en mars 2004 au BIPM. Résultat, les deux organisations prépareront un document commun sur les questions essentielles concernant la traçabilité au Système international d'unités (SI), et le rôle et les responsabilités au niveau national et régional des laboratoires nationaux de métrologie et des

organismes d'accréditation reconnus au niveau national, reflétant les changements de leurs rôles respectifs du fait, en particulier, des pressions économiques. Cette collaboration étroite entre les deux organisations a pour but de régler un certain nombre de questions pratiques afin d'améliorer l'efficacité et la transparence des « systèmes nationaux de mesure » qui combinent les responsabilités des laboratoires nationaux de métrologie et des laboratoires accrédités.

## 1.2 Publications, conférences et voyages du directeur

### 1.2.1 Publications extérieures

1. Wallard A.J., Collaboration between BIPM and ILAC - an update, *Proc. 2003 NCSLI International Annual Workshop and Conference* (Tampa, Floride, États-Unis), 2003, 7 p.
2. Wallard A.J., Traceability issues in measurement, *Accred. Qual. Assur.*, 2003, **8**, 319-322.
3. Wallard A.J., News from the BIPM – 2003, *Metrologia*, 2004, **41**, 99-108.

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

T.J. Quinn s'est rendu à :

- Londres (Royaume-Uni), le 10 juillet 2003, pour une réunion du Royal Society Paul Fund ;
- Panamá (Rép. de Panamá), du 15 au 17 septembre 2003, pour l'assemblée générale du SIM ;
- Paris (France), le 22 septembre 2003, à l'Académie des sciences, pour une réunion du Groupe de travail de l'Académie sur les unités de base du SI ;
- Berlin (Allemagne), le 26 septembre 2003, pour le 50<sup>e</sup> anniversaire de la PTB, Berlin ;
- Birmingham (Royaume-Uni), le 1<sup>er</sup> octobre 2003, pour la Poynting Lecture à l'université de Birmingham ;
- Londres (Royaume-Uni), le 20 octobre 2003, afin de recevoir la médaille d'or Tompion de la Worshipful Company of Clockmakers ;
- Londres (Royaume-Uni), le 21 octobre 2003, pour une réunion du Royal Society Paul Fund et pour le comité de rédaction de *Notes and Records* ;

- São Paulo (Brésil), du 4 au 6 novembre 2003, pour un exposé au Metrology Symposium organisé par l'INMETRO ;
- Singapour (Rép. de Singapour), du 2 au 5 décembre 2003, pour l'assemblée générale de l'APMP.

A.J. Wallard s'est rendu à :

- San Diego (États-Unis), du 31 juillet au 4 août 2003, pour une réunion du Groupe de travail du CCL sur la métrologie dimensionnelle ;
- Tampa (Floride, États-Unis), du 17 au 21 août 2003, au NCSL International (NCSLI) annual workshop and symposium ;
- Bratislava (Slovaquie), du 20 au 22 septembre 2003, pour l'assemblée générale de l'ILAC ;
- Londres (Royaume-Uni), les 31 septembre et 1<sup>er</sup> octobre 2003, et le 10 mars 2004, pour présider l'IOP Membership and Qualifications Board ;
- Turin (Italie), les 27 et 28 octobre 2003, pour une réunion du conseil scientifique de l'IEN ;
- Aberystwyth (Royaume-Uni), les 11 et 12 novembre 2003, pour un exposé inaugural en qualité de professeur associé à l'université du Pays de Galles ;
- Geel (Belgique), les 20 et 21 novembre 2003, à l'IRMM, dans le cadre du Review Committee du Joint Research Centre ;
- Londres (Royaume-Uni), le 25 novembre 2003, au Professional Standards Committee de l'Institute of Physics ;
- Bruxelles (Belgique), les 8 et 9 décembre 2003, pour la réunion de clôture du Joint Research Centre Review Committee ;
- Braunschweig (Allemagne), les 14 et 15 décembre 2003, pour une présentation en l'honneur de M. Helmcke à la PTB ;
- Monterey (États-Unis), du 14 au 17 janvier 2004, pour le NCSLI Board of Management ;
- Londres (Royaume-Uni), les 22 et 23 janvier 2004, à l'IOP ;
- Paris (France), le 2 février 2004, à l'Observatoire de Paris ;
- Londres (Royaume-Uni), le 9 février 2004, au NPL et au Rank Prize Fund dinner ;
- Braunschweig (Allemagne), les 25 et 26 février 2004, pour visiter la PTB ;

- Genève (Suisse), le 27 février 2004, pour une réunion à l'ISO avec A. Bryden ;
- Washington DC (États-Unis), le 19 avril 2004, pour une présentation au NIST ;
- Columbia (Maryland, États-Unis), le 20 avril 2004, au « ILAC/NIST forum on government acceptance of test data » ;
- Londres (Royaume-Uni), le 28 avril 2004, pour une réunion du conseil de l'IOP ;
- Querétaro (Mexique), les 3 et 4 mai 2004, au JCRB ;
- Bled (Slovénie), le 2 juin 2004, pour la 18<sup>e</sup> assemblée générale de l'EUROMET ;
- Vienne (Autriche), le 10 juin 2004, à l'UNIDO ;
- Gênes (Italie), le 14 juin 2004, pour une conférence invitée au 2<sup>e</sup> International Symposium on Measurement, Analysis and Modelling of Human Functions ;
- Londres (Royaume-Uni), le 28 juin 2004 et les 1<sup>er</sup> et 2 juillet 2004, pour la CPEM ;
- Genève (Suisse), les 29 et 30 juin 2004, à l'OMC.

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

De juillet à décembre 2003, M. Quinn a été 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 Terminology, 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 a été président du Paul Instrument Fund de la Royal Society, du JCRB et du Comité commun pour les guides en métrologie (JCGM).

Le directeur actuel, M. Wallard, est membre du conseil scientifique de l'IMGC et de l'IEN, Turin ; il a pris la suite de M. Quinn comme membre de l'Interdivisional Committee on Terminology, Nomenclature and Symbols de l'Union internationale de chimie pure et appliquée ; il est membre de la Commission C2 Symbols, units, nomenclature, atomic masses and fundamental constants de l'Union internationale de physique pure et

appliquée. Il est membre du conseil de l'université du Pays de Galles à Aberystwyth et professeur associé de l'Institute of Mathematics and Physical Sciences; vice-président chargé du Membership and Qualifications de l'Institute of Physics (IOP, Royaume-Uni), membre du conseil de l'IOP, président du « Membership and Qualifications Board » et membre du « Professional Standards Committee » ; membre du conseil de la National Conference of Standards Laboratories International (NCSLI) ; membre de l'Académie des sciences de Turin. Il remplace M. Quinn comme président du comité scientifique de NEWRAD, du JCRB et du JCGM.

## **2 LONGUEURS (A.J. WALLARD)**

### **2.1 Laser à peigne transportable et comparaisons de peignes**

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

Pendant l'année, nous avons achevé la construction d'un laser à peigne transportable et nous l'avons utilisé dans deux comparaisons internationales : une comparaison bilatérale au BIPM et une comparaison trilatérale au NIST, à laquelle participait aussi l'East China Normal University (ECNU). L'accord en fréquence des trois lasers à peigne BIPM-C1, BIPM-C2 et ECNU-C1, en utilisant un maser à hydrogène comme référence, se situe à un niveau meilleur que un hertz pour les mesures de fréquence dans le domaine de 563 THz. Quand la référence des lasers à peigne est un étalon optique, l'accord en fréquence entre les quatre lasers à peigne BIPM-C2, ECNU-C1, NIST-BB1 et NIST-BB2 est bien meilleur ; il se situe au niveau de  $10^{-19}$ , en valeur relative, dans le domaine de fréquence compris entre 333 THz et 456 THz. Les résultats ont été publiés dans *Science* et ont vivement intéressé la communauté scientifique.

### **2.2 Mesures absolues de fréquence et comparaison clé du BIPM BIPM.L-K11 (L.-S. Ma, L. Robertsson et M. Zucco)**

Depuis le début de l'année 2002, nous effectuons des mesures absolues de fréquence au moyen de nos systèmes lasers à peigne. Maintenant, nous

effectuons deux campagnes de mesures par an. Au cours de l'année passée, des étalons du BNM-INM (France), du CSIR (Afrique du Sud), de l'IMGC (Italie), de l'INTI (Argentine), de l'IPQ (Portugal), du MIKES (Finlande), du NIS (Égypte) et du VNIIM (Féd. de Russie) y ont participé. En tout, 29 lasers ont été mesurés aux longueurs d'onde 515 nm, 532 nm, 543 nm et 633 nm. Les mesures absolues de fréquence offrent une amélioration d'environ un facteur cinq pour les étalons à 633 nm si l'on utilise la méthode (b) mentionnée dans la Mise en pratique de la définition du mètre plutôt que la méthode (c). Ce résultat est principalement dû au fait que les décalages éventuels de fréquence causés par des impuretés dans la cuve à iode n'ont plus besoin d'être prises en compte dans le bilan d'incertitude. L'amélioration ne résulte pas simplement de la technique des peignes proprement dite, mais de son application systématique aux lasers que nous avons mesurés. Ce travail se poursuivra dans le cadre de la nouvelle comparaison clé, BIPM.L-K11, décidée lors de la 11<sup>e</sup> session du CCL en 2003.

La comparaison clé BIPM.L-K11 concerne essentiellement les longueurs d'onde figurant dans la liste des radiations recommandées, qui sont utilisées dans le domaine de la métrologie dimensionnelle. Les lasers asservis sur l'iode à 532 nm, 543 nm, 612 nm et 633 nm en sont des exemples typiques, mais il pourra être nécessaire le moment venu d'en inclure d'autres. La comparaison clé BIPM.L-K11 offre une couverture bien meilleure que la comparaison clé BIPM.L-K10 qui ne concernait que les lasers à 633 nm. Le CCL a proposé d'inclure en plus des mesures absolues de fréquence, des mesures en matrice, ainsi que des mesures de fréquence par méthode hétérodyne dans lesquelles l'on mesure uniquement la différence de fréquence entre deux étalons. En tant que comparaison clé, BIPM.L-K11 fournira non seulement de meilleures estimations des fréquences figurant dans la mise en pratique, mais elle étendra aussi les moyens permettant aux participants de revendiquer et de démontrer la traçabilité à la définition du mètre. La comparaison clé BIPM.L-K10 était une comparaison en continu. Quant à la comparaison clé BIPM.L-K11, même si un grand nombre de mesures seront probablement effectuées au BIPM, d'autres mesures de fréquence – absolues ou hétérodynes – pourront être effectuées dans le cadre des comparaisons régionales. L'inclusion dans la comparaison de mesures hétérodynes effectuées au niveau régional est, bien sûr, un moyen efficace d'atteindre un grand nombre de laboratoires au sein des organisations régionales de métrologie.

### 2.3 Lasers étalons à 633 nm et à 532 nm

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

Les lasers BIPM4 et BIW167 sont conservés au BIPM ; ils nous fournissent une réalisation de la définition du mètre à 633 nm. L'étalonnage périodique de ces étalons nous assure une traçabilité permanente au mètre du SI au cas où le laser à peigne aurait un problème pendant une campagne de mesure.

La fréquence du nouveau laser étalon Nd:YAG à 532 nm, Nd:YAG-C, a été mesurée. En supprimant le décalage de fréquence  $f_0$  du battement originel entre le peigne et le laser étalon, on réduit le contrôle du peigne à un problème unidimensionnel, ce qui signifie que le taux de répétition doit être asservi en phase à la base temporelle utilisée. La fréquence,  $f$ , de la composante  $a_{10}$  de la transition R(56) 32-0 est égale à :

$$f = 563\,260\,223\,510,4 \text{ kHz.}$$

Cette valeur est remarquablement proche de celle des deux autres étalons du BIPM à 532 nm, Nd:YAG-A et Nd:YAG-B, dont les fréquences sont égales à 563 260 223 510,8 kHz et 563 260 223 510,85 kHz, respectivement. En utilisant les mêmes paramètres spectroscopiques, on obtient une reproductibilité de seulement quelques centaines de hertz.

### 2.4 Cuves à iode (L. Robertsson et M. Zucco ; J. Labot)

L'activité de remplissage et de vérification au BIPM de cuves à iode utilisées dans les lasers asservis et en spectroscopie se poursuit. Ces cuves sont destinées aux laboratoires nationaux de métrologie et à d'autres clients, moyennant paiement. Au cours de l'année passée, nous avons vendu 17 cuves au total.

Ces possibilités internes ont été étendues pour permettre le remplissage de cuves pouvant atteindre 1,8 m de long. Le but de cette activité est d'améliorer la stabilité des lasers à Nd:YAG du BIPM et de fournir une référence moléculaire plus stable pour les travaux sur le peigne.

Un nouveau laser à 633 nm a été construit ; il est consacré aux vérifications de cuves à iode et à la recherche. Dans ce laser, il est plus facile d'insérer la cuve à iode et d'inclure un moyen de contrôler la rotation et le déplacement de la cuve ainsi que du tube à hélium-néon. Actuellement, la stabilité mécanique de ce laser est moins bonne que celle obtenue avec une structure compacte en Invar et demande donc un temps d'intégration plus long pour

obtenir le même niveau d'incertitude statistique. Des études sont en cours pour mettre en œuvre un contrôle numérique intégral du système.

La qualité de la cuve est déterminée en mesurant la fréquence absolue du laser asservi sur la composante f. Si la fréquence mesurée se situe dans les limites de 5 kHz par rapport à la valeur du CCL, l'on considère que la cuve répond aux meilleurs critères de qualité et de performances.

Des études sont aussi en cours sur la détermination de la qualité des cuves en mesurant les coefficients de sensibilité des paramètres de travail. Cette approche offre l'avantage de demander l'utilisation d'une référence stable plutôt qu'absolue.

La procédure de vérification complémentaire de la qualité des cuves à iode au moyen de la fluorescence induite par laser a été revue. En plus des modifications expérimentales, un nouveau logiciel a été mis au point pour le contrôle du système, l'acquisition et l'analyse des données et pour la sauvegarde des résultats finaux dans un rapport.

## **2.5 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)**

### **2.5.1 Maintenance des lasers**

La construction et l'étude de tubes de lasers à hélium-néon et de cuves à méthane se poursuit dans le but de réaliser des mesures absolues de fréquence au moyen du système à peigne à impulsions femtosecondes. Deux cuves à méthane à extrémités de Brewster ont été modifiées et sont en cours de traitement dans notre nouveau four programmable. Nous avons reçu récemment de nouvelles verreries pour les tubes laser ; elles ont été envoyées à une société pour adhérence moléculaire des fenêtres aux extrémités.

### **2.5.2 Mesure de la fréquence absolue du laser de référence BIDM1**

Le laser hétérodyne BIDM1 fonctionne maintenant avec deux tubes à hélium-néon en série à l'intérieur de la cavité.

Un laser hétérodyne et un laser de référence bi-mode sont en construction pour permettre au second laser télescopique (Tel-100) de fonctionner de manière indépendante selon deux modes.

Le laser de référence mono-mode du BIPM, VB, qui a été utilisé dans le passé dans plusieurs expériences pour la détermination absolue de fréquence au moyen de chaînes de fréquence classiques, a été reconstruit.

Le dispositif expérimental fonctionnera avec deux lasers bi-mode indépendants, le laser VB et un laser hétérodyne puissant dont le signal pourra être envoyé vers un cristal servant au mélange de fréquences au moyen d'une liaison par fibre optique jusqu'au laboratoire des peignes. Ce dispositif est aussi conçu pour nous permettre d'étalonner les étalons de fréquence à 3,39  $\mu\text{m}$  des laboratoires nationaux de métrologie par rapport à notre générateur à peigne.

## 2.6 Métrologie dimensionnelle (L.F. Vitouchkine et O.A. Orlov\*)

### 2.6.1 Diffractomètre laser interférentiel

La nouvelle caméra à dispositif de couplage de charge a été installée et le logiciel FRINGER servant à mesurer la période des franges d'interférence a été modifié. Un nouveau système optique est à l'étude. De nouveaux réseaux holographiques du type BIPM-HOLOGRATE utilisant divers revêtements conducteurs ont été fabriqués.

### 2.6.2 Lasers à l'état solide, pompés par diode asservis sur l'iode, pour la métrologie dimensionnelle et la gravimétrie absolue

L'asservissement électronique, la tête laser et la forme de la cuve à iode du laser compact Nd:YVO<sub>4</sub>/KTP à 532 nm à l'état solide, pompé par diode, asservi sur l'iode au moyen du troisième harmonique, ont été modifiés. Ce laser a été étudié au BIPM et a fait preuve de meilleures performances.

De nouveaux éléments optiques, un circuit intégré de photo-détection et de l'électronique sont en cours de mise au point pour effectuer des mesures de l'accélération en chute libre dans le gravimètre ballistique FG5-108 au moyen du laser compact Nd:YVO<sub>4</sub>/KTP/I<sub>2</sub> à 532 nm.

Le laser Yb:KGW/KTP/I<sub>2</sub> à 515 nm a été modifié et ses performances ont été étudiées au BIPM.

## 2.7 Gravimétrie (L.F. Vitouchkine)

Le gravimètre absolu FG5-108 a été réparé par la société Micro-g Solutions (Eirie, États-Unis). Les mesures périodiques de l'accélération en chute libre g au site A du BIPM ont débuté. Les résultats actuels coïncident, dans les

---

\* VNIIM, Saint-Petersbourg (Féd. de Russie).

limites de l'incertitude de mesure, à la valeur moyenne de  $g$  obtenue lors des mesures faites entre 1997 et 2001.

La conception de la nouvelle chambre de chute du gravimètre ballistique absolu a débuté en collaboration avec l'Institut de métrologie D.I. Mendéléév (VNIIM).

La première réunion conjointe du Groupe de travail du CCM sur la gravimétrie et du Groupe d'étude sur la comparaison des gravimètres absolus de l'Association internationale de géodésie a été organisée au BIPM les 26 et 27 mai 2004.

## 2.8 Publications, conférences et voyages : section des longueurs

### 2.8.1 Publications extérieures

1. Ma L.-S., Bi Z., Bartels A., Robertsson L., Zucco M., Windeler R.S., Wilpers G., Oates C., Hollberg L., Diddams S.A., Optical Frequency Synthesis and Comparison with Uncertainty at the  $10^{-19}$  Level, *Science*, 2004, **303**, 1843-1845.
2. Ma L.-S., Picard S., Zucco M., Chartier J.-M., Robertsson L., Direct measurement of the absolute frequency of the international reference laser BIPM4, *Metrologia*, 2004, **41**, 65-68.
3. Ma L.-S., Robertsson L., Picard S., Zucco M., Bi Z., Wu S., Windeler R.S., First international comparison of femtosecond laser combs at the International Bureau of Weights and Measures, *Opt. Lett.*, 2004, **29**, 641-643.
4. Ma L.-S., Robertsson L., Zucco M., Bi Z., Windeler R.S., Bartels A., Wilpers G., Oates C., Hollberg L., Diddams S.A., Precision Test of Femtosecond Laser Optical Frequency Synthesizers, *Conference on Lasers and Electro Optics (CLEO) Digest*, San Francisco, États-Unis, 16-21 mai 2004, CMW6, 2 p.
5. Ma L.-S., Zucco M., Picard S., Robertsson L., Windeler R.S., A new method to determine the absolute mode number of a mode-locked femtosecond laser comb used for absolute optical frequency measurements, *IEEE J. Select. Top. Quant. Electr.*, 2003, **9**, 1066-1071.
6. Madej A., Bernard J.E., Robertsson L., Ma L.-S., Zucco M., Windeler R.S., Long-term absolute frequency measurements of 633 nm iodine-stabilized laser standards at NRC and demonstration of high

reproducibility of such devices in international frequency measurements, *Metrologia*, 2004, **41**, 152-160.

7. Vitushkin L.F., Krivtsov E.P., Sinelnikov A.E., Development of a metrology and the limits in the measurements in geophysics, *Problems of Geophysics in XXIst Century*, Edit. Nauka, 2003, **2**, 245-265 (en russe).

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

R. Felder s'est rendu :

- chez Fichou, Fresnes (France), le 19 novembre 2003, pour le contrôle et la réception de tubes de lasers à hélium-néon et le 7 mai 2004, pour la remise de verres pour des tubes de lasers à traiter ;
- au CNRS, Verrières (France), le 21 novembre 2003, pour une collaboration future.

L.-S. Ma s'est rendu au :

- NIST (États-Unis), du 1<sup>er</sup> juillet au 1<sup>er</sup> septembre 2003, pour participer à la comparaison entre les lasers à peigne du BIPM, de l'ECNU et du NIST ;
- JILA et NIST (États-Unis), du 1<sup>er</sup> février au 30 avril 2004, pour une collaboration.

L.-S. Ma, L. Robertsson et M. Zucco se sont rendus à la CPEM 2004, Londres (Royaume-Uni), du 28 juin au 2 juillet 2004, posters :

- « International comparison of transportable femtosecond laser frequency comb », par L.-S. Ma, Z. Bi, A. Bartels, L. Robertsson, M. Zucco, R.S. Windeler, G. Wilpers, C. Oates, L. Hollberg et S.A. Diddams, *CPEM 2004 Digest*, pp. 14-15.
- « Absolute frequency measurement and comparison of the UME and the BIPM He-Ne/I<sub>2</sub> lasers », par R. Hamid, E. Sahin, M. Celik, M. Zucco, L. Robertsson et L.-S. Ma, *CPEM 2004 Digest*, pp. 261-262.
- « A frequency doubled amplified-fiber laser for molecular iodine spectroscopy near 515 nm », par J.-P. Wallerand, P. Juncar, T. Badr, L. Robertsson, L.-S. Ma et M. Zucco, poster présenté par J.-P. Wallerand.

L. Robertsson s'est rendu au NMIJ/AIST (Japon), du 31 janvier au 7 février 2004, pour un audit.

L.F. Vitouchkine, s'est rendu au VNIIM, Saint-Pétersbourg (Féd. de Russie), du 9 au 14 mars et du 22 au 26 mars 2004, pour participer aux discussions sur la modification de l'électronique du laser et sur la nouvelle chambre de chute du gravimètre absolu.

M. Zucco s'est rendu au NIST (États-Unis), du 7 au 14 juillet 2003, pour participer à la comparaison entre les lasers à peigne du BIPM, de l'ECNU et du NIST.

## 2.9 Activités liées au travail des Comités consultatifs

Les membres de la section ont assisté aux réunions du CCL et du Groupe de travail commun au CCL et au CCTF.

R. Felder est secrétaire exécutif du CCL, conjointement avec A.J. Wallard. Il est aussi co-secrétaire du Groupe de travail commun au CCL et au CCTF.

L.F. Vitouchkine est président du Groupe de travail du CCM sur la gravimétrie et du groupe d'étude sur les comparaisons de gravimètres absolus de la Commission 2 « champ gravitationnel » de l'Association internationale de géodésie. Il est modérateur du Groupe de discussion 7 sur la nanométrie du Groupe de travail du CCL sur la métrologie dimensionnelle.

## 2.10 Visiteurs de la section des longueurs

- M. J.-P. Wallerand (BNM-INM), les 22 et 30 juillet 2003, le 1<sup>er</sup> août 2003, le 30 mars 2004, et du 8 au 18 juin 2004.
- M. M. Pisani (IMGC-CNR), le 30 juillet 2003.
- M. M. Gubin (Institut Lebedev), les 8 et 10 septembre 2003.
- M. A. Onae (NMIJ/AIST), les 8 et 12 septembre 2003 et le 30 mars 2004.
- M. H. Matsumoto (NMIJ/AIST), le 10 septembre 2003.
- MM. M. Merima et K. Nyholm (MIKES), du 24 au 28 novembre 2003.
- M. T. Conjo (INTI), du 24 au 28 novembre 2003.
- M. P. Cordiale (IMGC-CNR), le 27 novembre 2003.
- Mme M.P. Sassi et M. E. Malgeri (IMGC-CNR), le 28 janvier 2004.
- M. A. Clairon (BNM-SYRTE), le 30 mars 2004.
- M. Y. Domnin (VNIIFTRI), le 30 mars et le 2 avril 2004.

- M. R. Hamib (UME), le 30 mars et le 2 avril 2004.
- M. A. Godone (IEN), le 1<sup>er</sup> avril 2004.
- M. P. Plombin (Éts. Dumas, Noizay, France), le 22 avril et le 3 mai 2004.
- M. P. Juncar (BNM-INM), le 5 mai 2004.
- M. F. Senotier (Laserlabs, Étampes, France), le 13 mai 2004.
- M. P. Medvedev, M. E. Boyarsky et Mme L. Afanasieva (IPE RAS), M. E. Krivtsov (VNIIM), le 28 mai 2004, pour des discussions sur le projet de nouveau gravimètre absolu.
- Mme N. Medvedeva (IPE RAS), le 2 juin 2004, pour se familiariser avec l'organisation des mesures absolues de l'accélération en chute libre au BIPM.

## 2.11 Chercheurs invités

- M. O.A. Orlov (VNIIM), du 31 août au 26 novembre 2003.
- Mme F. Saraiva (IPQ), du 8 au 14 mai 2004.
- M. O. Terre (NIS), du 7 au 19 mai 2004.
- Mme L. Moster (CSIR), du 10 au 15 mai 2004.
- MM. K. Chekirda, V. Fedorin et Yu. Zackarenko (VNIIM), du 10 au 17 mai 2004.
- M. T. Niebauer (Micro-g Solutions, États-Unis), du 24 au 28 mai 2004, pour vérifier le gravimètre absolu FG5-108 du BIPM.
- M. S. van den Bergh (NMI), du 7 au 25 juin 2004.

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

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

Pendant l'année écoulée, nous avons émis des certificats pour les prototypes du kilogramme (en platine iridié) suivants : n° 38 (Suisse), n° 53 (Pays-Bas), n° 65 (Slovaquie) et n° 82 (Royaume-Uni). De plus, six nouveaux prototypes ont été fabriqués par l'atelier du BIPM et étudiés par la section des masses. Le premier d'entre eux, le prototype n° 86, a été attribué à la Suède. Trois autres seront attribués au cours de cette année à l'Australie, au Mexique et à la Suisse. Deux seront conservés au BIPM afin de remplacer les prototypes n° 9 et 31 (voir ci-dessous). Notons que nous avons déjà prévu l'an passé un prototype de remplacement.

La fabrication du disque empilable de 1,1 kg en platine iridié, mentionné dans le rapport de l'an dernier, progresse bien.

Nous avons aussi consacré beaucoup d'efforts à la conservation de nos propres étalons de travail en platine iridié. Dans le passé nous utilisions principalement les prototypes n° 9 et 31 comme étalons de travail, mais nous utilisons maintenant le prototype n° 63 et l'étalon n° 42'. Les contrôles statistiques montrent que la masse des prototypes n° 9 et 31 n'est plus suffisamment stable. Ces prototypes ont été soumis à un nettoyage-lavage. Nous contrôlons actuellement l'évolution de leur masse.

Des certificats pour des étalons de 1 kg en acier inoxydable ont été émis pour le NMIJ/AIST (Japon) et le SIRIM Berhad (Malaisie). Nous avons aussi effectué des déterminations de masse complémentaires pour étayer le programme de travail sur la balance FB-2.

Notre balance HK1000MC a été réparée par le fabricant afin de corriger son fonctionnement aléatoire. Une intervention de ce type demande un nombre considérable de mesures préliminaires avant de procéder à la réparation, nécessaires pour déterminer la nature exacte du problème, et une étude minutieuse après réparation pour s'assurer qu'il n'y a pas de discontinuité dans son fonctionnement.

En mai 2004, nous avons constaté un sérieux problème concernant la détermination de la masse volumique de l'air pour les deux comparateurs de masses de 1 kg utilisés pour les étalonnages. Trouver la source du problème

relève du défi et, bien sûr, nous ne pouvons pas effectuer d'étalonnage tant que ce problème n'est pas résolu.

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

La balance hydrostatique est utilisée pour déterminer la masse volumique des étalons de masse et en particulier des nouveaux prototypes fabriqués au BIPM.

Nous avons déterminé la masse volumique des échantillons en platine iridié destinés à devenir les prototypes du kilogramme n<sup>os</sup> 90 et 91, ainsi que celle d'un étalon de 500 g en platine iridié. Cette dernière et celle de deux étalons similaires font partie d'une commande spéciale. Un grand nombre de vérifications internes ont aussi été effectuées au cours de ces mesures.

Avec l'aide du NMIJ/AIST (Japon) nous sommes sur le point d'acquérir deux cylindres de 500 g en monocristal de silicium. Il est prévu qu'après étalonnage au NMIJ/AIST ils serviront d'étalons de référence pour la masse volumique déterminée par pesée hydrostatique.

Les activités sur ce projet ont été interrompues de janvier à juin 2004, en raison de l'absence de C. Goyon-Taillade.

### **3.3 Sorption de vapeur d'eau sur des masses étalons**

(H. Fang et A. Picard)

Nous rappellerons que le but de ce travail est d'étudier l'effet de sorption de vapeur d'eau sur des masses étalons. Nous avons effectué des mesures sur des échantillons en acier inoxydable, en platine iridié et en silicium par la méthode gravimétrique et par ellipsométrie.

Des recherches supplémentaires ont été effectuées par ellipsométrie. Un disque spécial en platine iridié a été utilisé pour vérifier les effets de sorption de l'eau en fonction de la procédure de polissage employée. Une des surfaces planes a été polie à l'outil au diamant et la seconde par polissage à la pâte de diamant, une technique adoptée récemment au BIPM pour la fabrication des nouveaux prototypes. Les résultats ont montré que les effets de sorption sont environ deux fois plus petits pour la surface polie à la pâte de diamant que pour celle polie à l'outil au diamant. L'effet de sorption a aussi été mesuré sur trois échantillons en or : un cylindre en or pur appartenant au METAS, une plaque en verre et un disque en cuivre plaqués or.

Les résultats obtenus pour la masse du METAS et pour l'échantillon en verre plaqué or montrent une désorption d'environ 0,1 nm lors du passage de l'air au vide à une humidité relative,  $h$ , de 0,5, et un coefficient d'adsorption d'environ 0,2 nm/ $h$  dans le domaine  $0,35 < h < 0,70$ . L'effet de sorption était légèrement plus élevé pour l'échantillon en cuivre plaqué or, ce qui pourrait s'expliquer par une éventuelle diffusion de l'or plaqué à la surface dans le cuivre.

La collaboration entre le NPL et le BIPM a pour objet d'étudier les effets de sorption dans le silicium dans le cadre du projet sur la constante d'Avogadro. En fait, les effets de sorption obtenus au NPL étaient plus de cinq fois plus élevés que ceux mesurés au BIPM. Le but est d'élucider la source de cette différence par l'échange d'artefacts utilisés pour l'étude de la sorption.

### **3.4 Balance à suspensions flexibles FB-2 (H. Fang et A. Picard)**

#### **3.4.1 Étude dans le vide du prototype n° 85**

Comme mentionné précédemment, le NIST a pris possession d'un nouveau prototype du kilogramme portant le n° 85. À la demande du NIST, nous avons effectué une brève étude sur la stabilité de masse de cet étalon en passant de l'air au vide. Cette étude est distincte de l'étalonnage, qui a été effectué de manière classique et qui a été répété après l'étude dans le vide.

#### **3.4.2 Vérifications**

Les effets dus à la position du carrousel, aux amortisseurs magnétiques et au système de circulation d'eau (pour la stabilité thermique dans l'enceinte de la balance) ont été évalués au moyen de comparaisons de masse entre deux masses en acier inoxydable de 1 kg. L'erreur liée à la position du carrousel a été estimée en comparant les différences de masse entre les deux masses placées successivement dans différentes positions sur le carrousel. Les erreurs de position se situent toutes dans les limites de 2  $\mu\text{g}$ , que ce soit dans l'air ou dans le vide.

Pour confirmer la faible influence des amortisseurs magnétiques sur les masses dans la balance ou sur la balance proprement dite, une comparaison dans l'air entre deux étalons de masse de 1 kg en acier inoxydable (ayant une susceptibilité magnétique volumique,  $\chi$ , de 0,0033 et une rémanence inférieure à 0,1  $\mu\text{T}$ ) a été effectuée avec et sans amortisseurs magnétiques. La variation de la différence de masse entre les deux objets est d'environ 0,2  $\mu\text{g}$

( $s = 0,1 \mu\text{g}$ ). Cependant, l'écart-type des résultats obtenus sans amortisseur magnétique était environ deux fois plus élevé que celui mesuré avec les amortisseurs magnétiques.

La balance FB-2 est équipée d'une enceinte double, dans laquelle on fait circuler de l'eau à température constante. Cette particularité est utile pour des études spéciales telles que celle des effets de sorption de l'eau sur les masses étalons entre l'air et le vide, parce que l'on obtient plus rapidement une température stable après changement des conditions de pression. Une petite étude a été effectuée pour vérifier la conséquence sur les pesées de la régulation thermique dans l'enceinte. Les comparaisons de masse effectuées avec et sans régulation thermique étaient identiques. Cependant, en raison du contrôle dynamique de la température de l'eau en circulation, la stabilité à court terme des pesées se trouve détériorée par rapport à celle obtenue sans contrôle (c'est-à-dire passivement).

### 3.4.3 Modification

Anticipant notre participation au projet sur la constante d'Avogadro, la balance a été modifiée afin de permettre la comparaison entre une sphère en silicium de 1 kg (diamètre de 94 mm) et un prototype du kilogramme en platine iridié (diamètre de 39 mm) dans l'air et dans le vide. Pour accepter un diamètre aussi large, les colonnes supportant la balance ont été enlevées et modifiées. De plus, des supports, fabriqués par l'atelier du BIPM, ont été placés entre les masses et le plateau de pesée, afin de rehausser la sphère en silicium par rapport au carrousel.

### 3.5 Générateur d'humidité (A. Picard et N. Depouez\*)

Comme nous l'avons mentionné dans le rapport de l'an passé, le BIPM a mis au point un générateur d'humidité pour des étalonnages internes exacts d'appareils de mesure du point de rosée et de capteurs d'humidité. Le générateur est composé de deux saturateurs d'humidité placés dans des bains thermorégulés séparés. La température désirée du point de rosée est obtenue par ajustement de la température de l'air dans les saturateurs. Le générateur est maintenant opérationnel et l'incertitude-type composée de l'étalonnage de la température du point de rosée est de  $0,06 \text{ }^\circ\text{C}$  dans le domaine compris entre  $5 \text{ }^\circ\text{C}$  et  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ . Les mesures effectuées cette année sont en accord dans

---

\* Étudiant.

des limites de 0,01 °C avec celles obtenues l'an passé, ce qui confirme l'excellente reproductibilité du générateur. Nous envisageons d'introduire ce système d'étalonnage de l'humidité l'an prochain dans le Système Qualité.

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

Les accessoires et le logiciel pour la réalisation du susceptomètre du BIPM ont été fournis au NIM (Chine) et au NML-CSIRO (Australie). Cette année, nous fournirons un service supplémentaire qui consiste à certifier la susceptibilité magnétique volumique d'échantillons convenant à l'étalonnage du susceptomètre. Ce nouveau service a été ajouté au Système Qualité du BIPM et, à ce jour, nous avons émis cinq certificats d'étalonnage.

Nous avons participé à une comparaison internationale de susceptibilité magnétique volumique et de rémanence magnétique de trois étalons de masse de 1 kg. La comparaison est organisée par le NRC (Canada), lequel en est aussi le laboratoire pilote. La première série de mesures en pétale (qui comprend douze participants) est terminée. Tous les participants utilisent une version du susceptomètre du BIPM.

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

Des étalonnages de jauges de pression par rapport au manobaromètre à mercure du BIPM ont été effectués jusqu'en décembre 2003, selon les spécifications du Système Qualité du BIPM. Cet appareil a subi un sérieux dysfonctionnement en janvier 2004, ce qui a mis notre référence primaire de pression hors service. En raison du coût très élevé de la réparation du manobaromètre (en service pendant les 32 dernières années), nous avons décidé de le remplacer par une balance primaire de pression. Cet instrument est plus facile à utiliser et nous permettra d'étalonner des jauges secondaires de pression dans les limites de l'incertitude nécessaire (0,5 Pa). Nous avons réceptionné la balance de pression au BIPM en juin 2004. Un étalonnage de la géométrie piston-cylindre est envisagé.

### 3.8 Balance de torsion pour la mesure de $G$ (R.S. Davis, H.V. Parks\*, T.J. Quinn et C.C. Speake\*\*)

Le nouvel appareil fonctionne maintenant extrêmement bien en modes asservissement et déflexion libre. L'acquisition des données est entièrement automatisée. Même si l'écart-type et la reproductibilité des résultats correspondent à notre attente, nous continuons à collecter des données et nous devons encore calculer une nouvelle valeur de  $G$ . L'état actuel d'avancement de l'expérience a été présenté en juin 2004 à la CPEM à Londres.

L'étalonnage et l'étude détaillée de notre autocollimateur ont grandement facilité les progrès effectués cette année. Ce travail a été effectué par A. Just et R. Probst de la PTB. Leur recherche a montré que la multiplication angulaire n'améliore pas le rapport signal sur bruit. Nous avons aussi bénéficié de l'analyse du bruit de nos données effectuée par notre collègue T.J. Witt. Ceci nous a permis de consacrer moins de temps aux mesures pour obtenir la même incertitude.

### 3.9 Publications, conférences et voyages : section des masses

#### 3.9.1 Publications extérieures

1. Davis R.S., The SI unit of mass, *Metrologia*, 2003, **40**, 299-305.
2. Davis R.S., Gläser M., Magnetic properties of weights, their measurements and magnetic interactions between weights and balances, *Metrologia*, 2003, **40**, 339-355.
3. Davis R.S. *et al.*, Final report on CIPM key comparison of 1 kg standards in stainless steel (CCM.M-K1), *Metrologia*, 2004, **41**, *Tech. Suppl.*, 07002.
4. Davis R.S., Erratum: Determining the Magnetic Properties of 1 kg Mass Standards, *J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol.*, 2004, **109**, 303.
5. Picard A., The BIPM flexure-strip balance FB-2, *Metrologia*, 2004, **41**, 319-329.
6. Picard A., Fang H., Mass comparisons using air buoyancy artefacts, *Metrologia*, 2004, **41**, 330-332.

---

\* JILA, depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2004.

\*\* Université de Birmingham (Royaume-Uni).

7. Picard A., Fang H., Methods to determine water vapour sorption on mass standards, *Metrologia*, 2004, **41**, 333-339.
8. Silvestri Z., Davis R.S., Genevès G., Gosset A., Madec T., Pinot P., Richard P., Volume magnetic susceptibility of gold-platinum alloys: possible materials to make mass standards for the watt balance experiment, *Metrologia*, 2003, **40**, 172-176.

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

R.S. Davis s'est rendu :

- au BNM-LNE, Paris (France), du 30 juin au 1<sup>er</sup> juillet 2003, pour une réunion technique sur la balance du watt, en compagnie de H. Fang et A. Picard ;
- au NIST, Gaithersburg MD (États-Unis), du 11 au 14 août 2003, pour rencontrer le personnel travaillant dans le domaine de la métrologie des masses (primaire et légale), des mesures de débit de fluides et de la balance du watt du NIST ;
- à Tampa (Floride, États-Unis), du 17 au 20 août 2003, pour assister au NCSL International Annual Workshop and Symposium, à l'invitation de la « NIST Weights and Measures Division, Laboratory Metrology Group », qui a organisé une session sur « Magnetism in Mass Measurement ». Un article a aussi été présenté au « Workshop and Symposium Magnetization of Mass Standards as Determined by Gaussmeters, Magnetometers and Susceptometers » ;
- au NPLI, New Delhi (Inde), du 12 au 16 janvier 2004, pour participer à un examen par les pairs des services d'étalonnage dans les domaines de la masse et de la masse volumique ;
- au NPL, Teddington (Royaume-Uni), le 4 mars 2004, pour une réunion du NPL Watt Balance Design Review Group ;
- au CENAM, Querétaro (Mexique), du 10 au 14 mai 2004, pour participer à un examen par les pairs des services d'étalonnage dans les domaines de la masse et de la masse volumique ;
- au NPL, Teddington (Royaume-Uni), le 26 juin 2004, pour assister à l'atelier du CCEM sur le contrôle de la stabilité du prototype international du kilogramme ; le 27 juin, pour assister à une réunion du Groupe de travail du CCM sur la constante d'Avogadro, en compagnie d'A. Picard.

Le 7 juillet 2003, R.S. Davis a accordé un entretien à Mme C. Bonneau (*Science et Vie*) au sujet du prototype international du kilogramme (Le kilogramme n'est plus ce qu'il était !, *Science et Vie*, sept. 2003, 96-100).

A. Picard s'est rendu :

- à la BEV, Vienne (Autriche), du 23 au 26 février 2004, pour participer à la réunion des personnes chargées des relations dans le domaine des masses de l'EUROMET ;
- chez Sartorius, Göttingen (Allemagne), les 22 et 23 mars 2004, pour présenter le projet de balance du watt du BIPM afin de définir nos besoins concernant les cellules de pesées prêtées par la société Sartorius, en compagnie de R.S. Davis ;
- à l'université technique d'Ilmenau (Allemagne), les 23 et 24 mars 2004, pour apporter son assistance technique dans le cadre de la collaboration avec la société Sartorius, en compagnie de R.S. Davis ;
- chez CEDRAT, Grenoble (France), le 7 avril 2004, pour présenter nos besoins concernant le circuit magnétique du projet de balance du watt du BIPM, afin d'obtenir un contrat avec cette société à ce sujet, en compagnie de R.S. Davis et de M. Stock (voir aussi 11.3) ;
- au NIST, Gaithersburg (États-Unis), les 12 et 13 mai 2004, pour visiter la section des masses et le laboratoire de la balance du watt du NIST et pour des discussions avec l'équipe travaillant sur la balance du watt, accompagné de M. Stock (voir aussi 11.3).

### 3.10 Activités liées au travail des Comités consultatifs

R.S. Davis est secrétaire exécutif du CCM, lequel comprend maintenant des groupes de travail couvrant onze domaines techniques, y compris l'ancien 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. Il est la personne à contacter dans le domaine des masses dans le cadre du Groupe de travail du CCM sur la détermination de la constante d'Avogadro.

### 3.11 Autres activités

R.S. Davis a fait partie du corps enseignant de l'école d'été du BIPM, du 21 juillet au 1<sup>er</sup> août 2003.

R.S. Davis est l'un des deux membres extérieurs du « NPL Watt Balance Experiment Design Review Group ».

### 3.12 Visiteurs de la section des masses

- M. M. Gläser (PTB), le 4 juillet 2003 et les 20 et 21 novembre 2003.
- Mme E. Funes, MM. C. Aramburo et O. Purata (CIATEC, Mexique), le 29 septembre 2003.
- M. J.-C. Legras (BNM-LNE), le 28 octobre 2003.
- MM. S. Downes et D. Bayliss (NPL), P. Pinot (BNM-INM), le 17 novembre 2003.
- MM. R. Probst et A. Just (PTB), le 2 décembre 2003.
- MM. J. Luo et Z. Li (HUST), le 26 janvier 2004.
- MM. T. Petelski et M. Fattori (Département de physique de l'université de Florence), le 19 février 2004.
- M. U. Jacobsson (SP), du 26 au 28 mai 2004.

### 3.13 Chercheurs invités et étudiant

- M. S. Mizushima (NMIJ/AIST), du 3 au 27 novembre 2003.
- M. H. Parks (JILA), du 5 au 16 mars 2004.
- M. N. Depouez (IUT Orsay), du 5 avril au 25 juin 2004.

## 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, 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. Le Rapport annuel de la section du temps du BIPM (2003)*, volume 16, complété par des fichiers informatiques accessibles par le réseau Internet sur le site du BIPM, donne les résultats définitifs de l'année 2003.

### 4.2 Algorithmes pour les échelles de temps

(J. Azoubib, W. 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 85 % des horloges actuellement en service sont des horloges à césium du commerce du type HP/Agilent 5071A et des masers à hydrogène auto-asservis actifs. Pour améliorer la stabilité de l'Échelle atomique libre (EAL), le poids relatif maximal des horloges est fixé à  $2,5/N$ , où  $N$  est le nombre total d'horloges participant au TAI. Nous avons ainsi réduit de manière substantielle le nombre des horloges au poids maximal (13 % en moyenne en 2003, contre 54 % en 2000). Nous permettons à une horloge d'atteindre le poids maximal quand la variance de sa fréquence, calculée à partir de 12 échantillons consécutifs de 30 jours, atteint un maximum de  $5,8 \times 10^{-15}$  (contre  $15,9 \times 10^{-15}$  selon la précédente procédure de

---

\* Jusqu'au 30 septembre 2003, date de son départ à la retraite.

pondération). Cette procédure engendre une échelle de temps fondée sur les meilleures horloges.

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 2004.

#### 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 juillet 2003, 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 le fonctionnement des étalons primaires de fréquence sont publiés régulièrement dans le *Rapport annuel de la section du temps du BIPM*.

Une correction de  $1,0 \times 10^{-15}$  est appliquée tous les deux mois à la fréquence du TAI pour mettre l'unité d'échelle du TAI en conformité avec la seconde du SI. 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 juillet 2003, de  $+0,5 \times 10^{-14}$  à  $+1,19 \times 10^{-14}$ , avec une incertitude-type de  $0,2 \times 10^{-14}$ . Ces valeurs indiquent que l'unité d'échelle du TAI dévie de manière significative par rapport à sa définition, et que la procédure de pilotage a besoin d'être révisée. Ce besoin a été reconnu par le CCTF dans sa Recommandation CCTF 3 (2004). Par conséquent, à partir de juillet 2004, une correction pouvant atteindre  $0,7 \times 10^{-15}$  sera appliquée chaque mois.

#### 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 logiciel spécialement conçu pour un nombre restreint d'horloges a été mis au point et est en cours d'amélioration. La stabilité de TA(PL) est d'environ  $2,5 \times 10^{-15}$  pour une durée moyenne d'environ un mois.

### TT(BIPM)

Comme le TAI est calculé en « temps réel » et subit des contraintes opérationnelles, il ne fournit pas une réalisation optimale du Temps terrestre, TT, le temps-coordonnée du système de référence géocentrique. Le BIPM calcule donc une autre réalisation, TT(BIPM), calculée après coup, qui est fondée sur la moyenne pondérée des évaluations de la fréquence du TAI au moyen d'un étalon primaire de fréquence. Les procédures pour traiter les données des étalons primaires de fréquence ont été récemment remises à niveau et nous avons, par conséquent, fourni une version améliorée de TT(BIPM), nommée TT(BIPM2003). Nous utilisons pour ce faire toutes les données disponibles des nouvelles fontaines à césium et une estimation révisée de la stabilité de l'Échelle de temps atomique libre EAL sur laquelle le TAI est fondé. TT(BIPM2003) est utilisé pour vérifier l'exactitude du TAI et pour comparer des mesures récentes obtenues avec des étalons primaires de fréquence.

### 4.3 Liaisons horaires (E.F. Arias, J. Azoubib, Z. Jiang, W. Lewandowski, G. Petit et P. Wolf ; H. Konaté, M. Thomas et L. Tisserand)

La section du temps du BIPM organise le réseau international de liaisons horaires. En 2003, des progrès significatifs ont été effectués dans les comparaisons horaires du TAI. L'expérience pilote TAIP3, débutée à l'été 2002 et visant à évaluer l'application aux liaisons horaires du TAI de mesures du code P porté par les deux fréquences du signal du GPS se poursuit. Plusieurs liaisons horaires de ce type ont été introduites dans le calcul du TAI en 2003 et cette procédure se poursuit. Ceci permet d'utiliser quatre techniques pour les comparaisons des horloges participant au TAI. À l'heure actuelle, 36 % des liaisons prises en compte dans le calcul du TAI 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 33 % des liaisons sont réalisées au moyen d'observations, effectuées avec des récepteurs à canaux multiples (certains d'entre eux sont des récepteurs de l'un ou l'autre code et des deux systèmes GPS et GLONASS) ; 9 % sont réalisées à partir des observations des récepteurs du GPS à deux fréquences ; 15 % sont des comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite. Ceci améliore l'exactitude des comparaisons horaires et la fiabilité de l'ensemble du réseau de comparaisons d'horloges. De plus, la section du temps du BIPM continue à

étudier les autres méthodes de comparaison de temps et de fréquences, 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 [ $UTC - temps\ du\ GPS$ ] et [ $UTC - temps\ du\ GLONASS$ ] 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 positions des satellites déduites des éphémérides précises, calculées après coup par l'International GPS Service (IGS), et pour les récepteurs à une seule fréquence pour tenir compte des mesures ionosphériques de l'IGS.

##### *ii) 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.

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

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

##### *iv) 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 à un seul canal. 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. Ces études s'effectuent dans le cadre du nouveau groupe de travail de l'IGS sur les produits horaires, qui remplace l'ancien projet pilote IGS/BIPM destiné à effectuer des comparaisons exactes de temps et de fréquences en utilisant des mesures de phase et de code du GPS.

Les études fondées sur les deux récepteurs du GPS Ashtech Z12-T (dont l'un a été acquis en décembre 2003), sur le récepteur GPS/GLONASS Javad Legacy, et sur le récepteur Septentrio PolarX acquis en mai 2004, se poursuivent 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 dans des laboratoires de temps du monde entier. Les campagnes d'étalonnages, qui ont débuté en janvier 2001, se poursuivent. En juin 2004, vingt-six étalonnages de ce type avaient été effectués pour vingt et un récepteurs. Le nouveau récepteur Z12-T sert de référence locale auquel est comparé le récepteur Z12-T transportable au BIPM.

Les données de code P de ces récepteurs sont collectées dans le monde entier dans le cadre de l'expérience pilote TAIP3, en utilisant des procédures et un logiciel mis au point en collaboration avec l'Observatoire royal de Belgique. Treize laboratoires fournissaient régulièrement les données P3 en juin 2004. Les liaisons horaires calculées au moyen de ces données sont systématiquement comparées à celles obtenues au moyen d'autres techniques, notamment par la technique des comparaisons horaires par aller et retour. Nous avons montré que la stabilité à long terme de ces liaisons se situe typiquement en dessous de 1 ns. Nous avons commencé à utiliser les données de ces récepteurs pour les liaisons horaires du TAI en juillet 2003.

L'IGS publie maintenant régulièrement ces produits horaires. Plusieurs laboratoires de temps participant au calcul du TAI au moyen des données P3 et aussi au réseau de l'IGS, il est possible de comparer les résultats obtenus au moyen des produits de l'IGS et par TAIP3 : plusieurs études sont en cours.

Un des récepteurs 3S Navigation en service au BIPM est utilisé pour 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 2003. 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

L'évaluation des incertitudes de types A et B affectant les liaisons horaires du TAI est terminée. Leurs valeurs sont publiées dans la *Circulaire T* depuis mars 2004, ainsi que des informations sur les types de liaisons horaires utilisés pour le calcul mensuel. Les incertitudes de type B sur les liaisons horaires du GPS peuvent atteindre 20 ns, principalement en raison d'un manque d'étalonnages. Ceci met en évidence le besoin d'achever l'étalonnage de toutes les liaisons horaires utilisées pour le calcul du TAI.

#### 4.3.5 Étalonnage des liaisons horaires du TAI

Le BIPM effectue une série d'étalonnages de récepteurs du temps du GPS situés dans les laboratoires de temps qui participent au calcul du TAI. En 2003/2004, les récepteurs de dix-sept laboratoires, sur cinquante susceptibles de l'être, ont été étalonnés (AOS, APL, CH, CRL, IEN, KRISS, OCA, OP, NIST, NMIJ/AIST, NML, NPL, NTSC, PTB, TL, USNO et VSL). De plus, le personnel de la section du temps met au point des méthodes pour étalonner les récepteurs de temps du GPS et du GLONASS. Le BIPM participe aussi à

l'organisation des campagnes d'étalonnage des comparaisons de temps et de fréquence par aller et retour sur satellite.

#### 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, J. Ray 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'U.S. Naval Observatory (USNO), du Conventions Product Center de l'IERS. La nouvelle édition des « *Conventions de l'IERS* » (2003) a été finalisée et publiée, après avoir reçu l'approbation du directoire de l'IERS. Il s'agit d'un document de 127 pages résumant les modèles, constantes et procédures à utiliser pour l'analyse des données de l'IERS ; il est destiné à la communauté des astronomes et des géodésiens en général.

Un nouveau site Web et ftp pour les « *Conventions de l'IERS* » a été mis en place au BIPM (<http://tai.bipm.org/iers/>), ainsi qu'un forum de discussion pour les utilisateurs (<http://tai.bipm.org/iers/forum/>), afin qu'ils puissent faire part de leurs commentaires concernant les futures mises à jour des « *Conventions de l'IERS* ».

Des études ont débuté pour améliorer la cohérence intrinsèque des « *Conventions de l'IERS* » et pour comprendre l'influence des incohérences sur les produits de l'IERS, en collaboration avec d'autres centres d'analyse de l'IERS (IGN, OP).

Des activités liées à la réalisation de 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 poursuivons les tests de l'invariance de Lorentz en comparant les fréquences d'un maser à hydrogène et d'un oscillateur hyperfréquence cryogénique à saphir. Les mesures couvrent maintenant une période de 500 jours et les résultats les plus récents montrent une amélioration d'un facteur supérieur à deux par rapport aux résultats publiés précédemment. Une nouvelle analyse théorique fondée sur l'extension du modèle standard (SME) en physique des particules a été effectuée. Dans ce cadre, l'expérience améliore les limites actuelles d'environ un ordre de grandeur comme le montrent les résultats les plus récents. Pour obtenir des améliorations ultérieures, ces expériences devront être montées sur une plateforme tournante dans le laboratoire, ce qui devrait permettre de gagner un nouvel ordre de grandeur. Cette expérience est en cours à l'University of Western Australia, avec la participation de P. Wolf qui y a passé deux mois. Une autre activité dans ce domaine concerne l'analyse des expériences d'analyse de Doppler et de comparaisons d'horloges dans le SME, comme celles envisagées dans le cadre de l'expérience ACES (Atomic Clock Ensemble in Space) à bord de la station spatiale internationale en 2008.

L'expérience ACES comprend une liaison hyperfréquence pour les comparaisons d'horloges, qui devrait améliorer les résultats de comparaisons de fréquence d'au moins un ordre de grandeur par rapport aux systèmes actuels (GPS, TWSTFT). Cette technique est fondamentale pour comparer les étalons de fréquence primaires actuels et futurs. P. Wolf participe à la modélisation et à l'analyse des données pour la liaison ACES par hyperfréquence. Il supervise les travaux d'un étudiant en doctorat et une formation dans le cadre d'un DEA sur ce sujet.

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

### 4.7.1 Publications extérieures

1. Altamimi Z., Boucher C., Ray J., Petit G., TRF Datum Definition and Geocenter Motion Estimate, *EOS Trans. AGU*, 2003, **84**(46), Fall Meeting Suppl., Abstract G21A-01.
2. Arias E.F., Bouquillon S., Representation of the International Celestial Reference System (ICRS) by different sets of selected radio sources, *Astron. Astrophys.*, 2004, **422**, 1105-1108.
3. Bize S., Wolf P. *et al.*, Cold Atom Clocks, Precision Oscillators and Fundamental Tests, Springer, *Lecture Notes*, 2004, **648**, 189-207. arXiv:astro-ph/0310112.
4. De Biasi M.S., Osorio J., Amenna J., Esperón C., Arias E.F., The Observatorio Naval Buenos Aires time service, *Astrometry in Latin America*, AdeLA Publications Series n° 1, 2004, 25-28.
5. Fey A.L., Ma C., Arias E.F., Charlot P., Feissel-Vernier M., Gontier A.-M., Jacobs Ch.S. Sovers O.J., Li J., MacMillan D., The second extension of the International Celestial Reference Frame: ICRF-EXT.1, *Astron. J.*, 2004, **127**, 3587-3608.
6. Lamine B., Wolf P. *et al.*, Relic Gravitational Waves and the Isotropy of Spacetime, *Gravitational Waves and Experimental Gravity* (Dumarchez J. et Tran Thanh Van J. eds.), The Goi Publishers, Viet Nam, 2003, 307-314.
7. McCarthy D.D., Petit G. eds., IERS Conventions (2003), *IERS TN 32*, Verlag BKG, 2004, 127 p.
8. Ray J., Petit G., Altamimi Z., Requirements for improved definitions and realizations of the ITRF origin and geocenter motion, AGU Fall meeting 2003, *EOS Trans. AGU*, 2003, **84**(46), Fall Meeting Suppl., Abstract G22B-09.
9. Soffel M., Klioner S., Petit G., Wolf P. *et al.*, The IAU 2000 Resolutions for Astrometry, Celestial Mechanics, and Metrology in the Relativistic Framework: Explanatory Supplement, *Astron. J.*, 2003, **126**, 2687-2706, arXiv:astro-ph/0303376.
10. Wolf P., Bize S., Clairon A., Luiten A.N., Santarelli G., Tobar M.E., Tests of Lorentz Invariance using a Microwave Resonator: an update, *Gravitational Waves and Experimental Gravity* (Dumarchez J. et Tran Thanh Van J. eds.), The Goi Publishers, Viet Nam, 2003, 315-321.

11. Wolf P., Bize S., Clairon A., Luiten A.N., Santarelli G., Tobar M.E., Tests of Lorentz Invariance using a Microwave Resonator: an update, *Proc. 2003 IEEE FCS and 17th EFTF* (Tampa, États-Unis), 2003, 205-210.
12. Wolf P., Tobar M.E., Bize S., Clairon A., Luiten A.N., Santarelli G., Whispering Gallery Resonators and Tests of Lorentz Invariance, *Gen. Rel. Grav.*, 2004, **36**, 2351-2372.

#### 4.7.2 Publications du BIPM

13. *Rapport annuel de la section du temps du BIPM (2003)*, 2004, **16**, 89 p.
14. *Circulaire T* (mensuelle), 7 p.
15. Lewandowski W., Tisserand L., Determination of the differential time corrections for GPS time equipment located at the OP, NPL, IEN, PTB, and VSL, *Rapport BIPM-2004/05*, 2004, 17 p.
16. Lewandowski W., Tisserand L., Determination of the differential time corrections for GPS time equipment located at the OP, PTB, AOS, KRISS, CRL, NIST, USNO and APL, *Rapport BIPM-2004/06*, 2004, 29 p.
17. Lewandowski W., Tisserand L., Determination of the differential time corrections for GPS time equipment located at the OP and CH, *Rapport BIPM-2004/08*, 2004, 15 p.

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

E.F. Arias s'est rendue à :

- Sydney (Australie), du 14 au 24 juillet 2003, pour la 25<sup>e</sup> assemblée générale de l'UAI ;
- Kashima (Japon), le 16 septembre 2003, pour voir la station VLBI et pour un exposé intitulé « Realization of the International Celestial Reference Frame by VLBI Observations » ;
- Tsukuba et Tokyo (Japon), le 17 septembre 2003, pour visiter le NMIJ/AIST et le National Astronomical Observatory ;
- Tokyo (Japon), le 18 septembre 2003, pour visiter le NICT (précédemment dénommé CRL) et pour un exposé intitulé « BIPM activities on time and frequency » ; le 19 septembre 2003, pour le « Japan Review Committee of activities on space-time » ;

- Genève (Suisse), du 6 au 8 octobre 2003, pour la réunion du Groupe de travail 7A du Groupe d'étude 7 de l'UIT ;
- Teddington (Royaume-Uni), les 9 et 10 octobre 2003, pour la 11<sup>e</sup> réunion du Groupe de travail du CCTF sur les comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite ;
- Panamá (Rép. de Panamá), du 27 octobre au 3 novembre 2003, pour une visite de CENAMEP et pour un exposé intitulé « Las escalas internacionales de tiempo. Actividad del BIPM » ;
- Vienne (Autriche), du 8 au 12 décembre 2003, pour l' « UN/USA International Workshop on the Use and Applications of GNSS and for the 8th meeting of the Action Team on GNSS of COPUOS » ;
- Paris (France), le 3 mars 2004, pour une conférence au Bureau des longitudes sur « Les échelles internationales de temps » ;
- Berne (Suisse), les 4 et 5 mars 2004, pour l'atelier et le symposium de l'IGS ;
- Vienne (Autriche), le 1<sup>er</sup> juin 2004, pour la 9<sup>e</sup> réunion de l'Action Team on GNSS of COPUOS.

D'avril à juin 2004, E.F. Arias a répondu à des interviews d'une dizaine de stations radiophoniques d'Argentine pour discuter de questions relatives au temps légal en Argentine.

Z. Jiang s'est rendu à San Diego (Californie), du 1<sup>er</sup> au 5 décembre 2003, pour la 35<sup>e</sup> réunion du PTTI.

W. Lewandowski s'est rendu à :

- Varsovie (Pologne), au Space Research Centre, du 20 au 27 août 2003, du 17 au 24 septembre 2003 pour une réunion sur la géodésie dans l'espace dédiée à Mme Barbara Kolaczek, du 17 au 24 octobre 2003, du 14 au 21 janvier 2004 et du 19 au 22 mars 2004 ;
- Portland (Oregon, États-Unis), du 8 au 12 septembre 2003, pour la 42<sup>e</sup> réunion du Civil GPS Service Interface Committee (présidence du sous-comité sur le temps) et pour la 16<sup>e</sup> réunion technique ION-GPS ;
- Bruxelles (Belgique), le 7 octobre 2003, pour assister à une réunion du « Galileo Joint Undertaking » ;
- Teddington (Royaume-Uni), les 9 et 10 octobre 2003, pour un exposé à la 11<sup>e</sup> réunion du Groupe de travail du CCTF sur les comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite ;

- San Diego (États-Unis), du 29 novembre au 6 décembre 2003, pour la réunion des stations qui participent au Groupe de travail du CCTF sur les comparaisons de temps et de fréquences par aller et 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 35<sup>e</sup> réunion du PTTI ;
- Guildford (Royaume-Uni), du 5 au 7 avril 2004, pour le 18<sup>e</sup> EFTF et comme co-auteur d'exposés intitulés « A simultaneous calibration of the IEN/PTB time link by GPS CV and TWSTFT portable equipment » par W. Lewandowski, F. Cordara, L. Lorini, V. Pettiti, A. Bauch, D. Piester et O. Koudelka et « NIST-OP GPS receiver calibrations spanning twenty years: 1983-2003 » par M. Weiss, V. Zhang, W. Lewandowski, P. Urich et D. Valat.

G. Petit s'est rendu à :

- Sydney (Australie), du 16 au 25 juillet 2003, pour la 25<sup>e</sup> assemblée générale de l'UAI et pour présider la réunion de la Commission 31 (Temps) ;
- Saint-Petersbourg (Féd. de Russie), du 22 au 26 septembre 2003, pour les Journées 2003, exposé intitulé « A new realization of Terrestrial Time » ; Kalyazin (Féd. de Russie), les 29 et 30 septembre 2003, pour une visite de l'observatoire radioastronomique ; à Mendeleevo (Féd. de Russie), le 1<sup>er</sup> octobre 2003, pour une visite du laboratoire du temps du VNIIFTRI et un exposé intitulé « TAI and UTC » ;
- Nançay (France), le 16 décembre 2003 et le 22 janvier 2004, pour participer à des observations de pulsars ;
- Toulouse (France), les 3 et 4 février 2004, pour visiter le département du temps du CNES et l'Observatoire Midi-Pyrénées ;
- Berne (Suisse), du 1<sup>er</sup> au 5 mars 2004, pour l'atelier et le symposium de l'IGS et pour une visite du laboratoire du temps du METAS ;
- Guildford (Royaume-Uni), du 5 au 7 avril 2004, pour le 18<sup>e</sup> EFTF et comme co-auteur d'exposés intitulés « Stability and accuracy of GPS P3 time links » par G. Petit et Z. Jiang, « Comparison of instrumental and empirical station timing biases for a set of Ashtech Z12T GPS receivers » par K. Senior, J. Ray et G. Petit ;
- Paris et Limeil-Brévannes (France), le 30 avril et le 3 mai 2004, pour un groupe d'étude du CNES.

P. Wolf s'est rendu à :

- Paris (France), les 8 et 9 octobre 2003, invité au GREX (Gravitation et Expériences) pour une présentation intitulée « Tests of Local Lorentz Invariance and Local Position Invariance: new theory, new results » ;
- São Paulo (Brésil), du 10 au 15 octobre 2003, invité à l' « Advanced International School on Time and Frequency Metrology », pour des exposés intitulés « Relativistic Tests using Time Metrology » and « Time Transfer » ;
- Perth (Australie), du 17 avril au 25 juin 2004, pour une collaboration sur des tests expérimentaux de l'invariance de Lorentz à l'University of Western Australia ;
- Melbourne (Australie), le 28 avril 2004, invité pour une présentation à l'université de Melbourne intitulée « Testing Lorentz Invariance using Microwave Resonators » ;
- Sydney (Australie), le 29 avril 2004, invité pour une présentation au National Measurement Laboratory intitulée « Lorentz Invariance using Microwave Resonators » et pour visiter la section du temps du NML-CSIRO ;
- Perth (Australie), le 25 mai 2004, invité à un séminaire de l'Australian Institute of Physics intitulé « Testing Lorentz Invariance using Microwave Resonators ».

#### 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 SYRTE (Observatoire de Paris) et correspondante du Bureau des longitudes.

J. Azoubib représentait le BIPM au Groupe de travail 7A du Groupe d'étude 7 de l'UIT. Depuis son départ à la retraite en septembre 2003, E.F. Arias représente le BIPM.

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 est co-directeur du Conventions Product Centre de l'IERS, et le représente au directoire de l'IERS. 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), 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 était 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, sur les algorithmes et sur la normalisation des comparaisons d'horloges utilisant les systèmes de navigation par satellite à couverture globale.

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

- M. D.D. McCarthy (USNO), le 23 octobre 2003.
- M. K. Senior (USNRL), le 12 novembre 2003.
- Mme P. Tavella et Mlle G. Panfilo (IEN), le 17 février 2004.
- M.. C. Donado (CENAMEP), du 29 mars au 1<sup>er</sup> avril 2004.
- M. J. Nawrocki (SRC), du 28 mai au 28 juin 2004.

#### 4.11 Chercheur associé

- M. J. Ray (US National Geodetic Survey), du 1<sup>er</sup> septembre 2003 au 31 août 2004.

## 5 ÉLECTRICITÉ (T.J. WITT)

### 5.1 Potentiel électrique : effet Josephson (D. Reymann et S. Solve ; R. Chayramy)

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

Nous avons continué cette année nos travaux sur les réseaux programmables supraconducteur-isolant métal-normal-isolant-supraconducteur (SINIS) (*voir* Rapport du directeur 2002-2003). En décembre 2003, la PTB nous a fait don d'un second réseau programmable : un réseau de 1,2 V composé de 8192 jonctions divisées en 14 segments comprenant chacun de 1 à 4096 jonctions. Comparé au premier réseau donné au BIPM par la PTB, celui-ci peut être considéré comme « parfait », en ce sens que tous les segments comprennent un arrangement binaire de 1, 1, 2, 4... à 4096 jonctions. Nous avons mesuré la différence entre la tension aux bornes du plus grand segment et celle aux bornes de la connexion en série de tous les autres segments et nous avons trouvé que, dans les limites d'une incertitude-type de 0,1 nV, il n'y a pas de différence de tension entre les deux sections de cette configuration. Nous avons aussi comparé la tension totale aux bornes de tous les segments du réseau SINIS connectés en série 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, aucune différence de tension n'a été observée entre les deux types de réseaux.

Dans le cadre d'une autre activité, à la demande du SIRIM (Malaisie), nous avons étudié le fonctionnement de deux réseaux fonctionnant respectivement à 1 V et à 10 V.

### 5.1.2 Projet 723 de l'EUROMET : comparaison d'étalons de tension de 1,09 V complémentaire à la comparaison BIPM.EM-K10.a

En mars 2004 le BIPM a participé au projet 723 de l'EUROMET, une comparaison d'étalons à effet Josephson de 1,09 V. L'étalon voyageur était un étalon de tension à effet Josephson transportable construit par le VNIIM, fondé sur un réseau SINIS (voir Katkov A. *et al.*, *Metrologia*, 2003, **40**, 89-92). Le BIPM a utilisé le même système de réseau SIS que celui décrit dans les publications précédentes sur les comparaisons d'étalons à effet Josephson. La première série de mesures a montré une différence de tension d'environ 2 nV entre les deux instruments. On a trouvé que cette différence était due aux effets des interférences électromagnétiques sur l'étalon transportable. Ce problème a été éliminé en connectant à la terre le point de connexion commun aux deux réseaux et en polarisant le réseau SINIS à proximité du centre des marches. Nous avons ainsi obtenu le résultat suivant :

$$U_{\text{SINIS}} - U_{\text{SIS}} = + 0,07 \text{ nV}; \quad u_C = 0,13 \text{ nV}$$

où  $u_C$  est l'incertitude globale ( $k = 1$ ).

### 5.1.3 Mesures de diodes de Zener

Nous continuons à utiliser le système automatique, validé l'an passé, pour étalonner les étalons électroniques de tension fondés sur des diodes de Zener. De temps en temps, nous mesurons ces étalons directement au moyen du système à effet Josephson afin de vérifier la validité des résultats obtenus avec le système automatique.

## 5.2 Résistance électrique et impédance

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

Le BIPM a participé à la comparaison EUROMET.EM-K10, une comparaison clé de l'EUROMET d'étalons de résistance de 100  $\Omega$  dont la PTB est le laboratoire pilote. Les quatre étalons voyageurs de 100  $\Omega$  ont été mesurés cinq fois au BIPM en décembre 2003. Les étalons étaient alors comparés directement aux résistances quantifiées correspondant aux plateaux  $i = 2$  des deux dispositifs à effet Hall quantique, en utilisant le comparateur de courant cryogénique du BIPM. Les quatre étalons ont été stables à  $2 \times 10^{-8}$  près en valeur relative pendant leur séjour au BIPM.

Nous avons poursuivi l'étude de la technique qui consiste à placer les dispositifs à effet Hall quantique à plusieurs bornes en série ou en parallèle, par des connexions au sommet du cryostat, facilement réalisables sans avoir à enlever le dispositif. La technique a été utilisée pour vérifier le rapport 4/1 du diviseur à résistance de Hamon  $400 \Omega/100 \Omega$  qui fait partie de notre chaîne reliant les étalons de capacité aux étalons de résistance. Deux dispositifs à effet Hall quantique opérant sur les plateaux  $i = 2$  ont été placés en série ou en parallèle au moyen de liens triples au sommet du cryostat. Nous disposons ainsi de deux résistances à effet Hall quantique de rapport 4/1 (de  $25\,812 \Omega$  et  $6453 \Omega$ ). Elles ont été comparées respectivement aux résistances de  $400 \Omega$  et de  $100 \Omega$  du dispositif de Hamon au moyen d'un pont comparateur de courant de rapport approprié ( $6453/100$ ) fonctionnant à 1 Hz. Des tensions appropriées ont été appliquées à des gardes pour chaque ensemble de liens porté à un potentiel déterminé. Nous avons trouvé que les rapports 4/1 définis par les dispositifs à effet Hall quantique et par le diviseur de Hamon s'accordent à  $1 \times 10^{-8}$  près en valeur relative.

### 5.2.2 Conservation d'un étalon de référence de capacité et étalonnages de condensateurs (F. Delahaye et R. Goebel ; R. Chayramy)

Jusqu'à présent, nos mesures de capacité couvraient le domaine de fréquence compris entre 1000 Hz et 1592 Hz. Nous avons cette année étendu le domaine de fréquence des mesures de capacité du BIPM au domaine compris entre 500 Hz et 6000 Hz, ce qui permet d'évaluer la dépendance en fréquence des étalons de capacité. Cette procédure pourrait en particulier être utilisée pour vérifier la dépendance en fréquence de l'étalon de capacité calculable. Pour couvrir ce domaine de fréquence étendu, notre pont à quadrature a été adapté pour fonctionner à cinq fréquences :  $f_0 = 1541$  Hz,  $f_0/3 = 513$  Hz,  $f_0/1,5 = 1027$  Hz,  $2f_0 = 3082$  Hz et  $4f_0 = 6164$  Hz. Pour ce faire, nous utilisons toujours dans le pont la même paire de résistances ( $R = 51,6 \text{ k}\Omega$ ) dont la dépendance en fréquence est connue, mais nous changeons soit la paire de condensateurs ( $C = 1000 \text{ pF}$ ,  $2000 \text{ pF}$  ou  $3000 \text{ pF}$ ) soit le rapport du diviseur principal de tension inductif du pont.

Dans le cas particulier où le rapport du diviseur principal est 1/1, l'équation d'équilibre du pont de quadrature est  $2\pi RCf = 1$ . On obtient une forme plus générale pour cette équation si le rapport du diviseur principal,  $k$ , a d'autres valeurs. Dans notre cas, un diviseur de rapport 1/1 donne des fréquences d'équilibre égales à  $2f_0$ ,  $f_0$  ou  $f_0/1,5$  quand  $C$  est égal à  $1000 \text{ pF}$ ,  $2000 \text{ pF}$  ou  $3000 \text{ pF}$ , respectivement. Pour opérer aux deux fréquences extrêmes,  $f_0/3$  et

$4f_0$ , le diviseur principal de rapport 1/1 est remplacé par un diviseur de rapport 1/4 ou 4/1. La fréquence d'équilibre est égale à  $f_0/3$  en utilisant une paire de condensateurs de 3000 pF et un rapport de 1/4, et à  $4f_0$  en utilisant une paire de condensateurs de 1000 pF et un rapport de 4/1.

Les mesures effectuées avec notre pont à quadrature à fréquences multiples nous ont permis d'évaluer la dépendance en fréquence de condensateurs en silice fondue de 10 pF et de 100 pF. On observe une légère diminution de la valeur de capacité dans le domaine de fréquence qui nous intéresse.

### 5.3 Détermination des caractéristiques de bruit des étalons de tension électroniques (T.J. Witt)

Nous avons continué notre analyse des cycles de mesure de tension complets en courant continu avec inversion de la polarité afin d'améliorer notre compréhension des limites imposées par le bruit intrinsèque aux procédures de mesure de routine. Dans notre projet commun avec le NIST visant à appliquer les techniques utilisées au BIPM afin de déterminer le bruit et la stabilité des instruments de mesure électriques, nous avons déterminé le bruit de 25 étalons de tension électroniques et vérifié que le modèle de travail utile pour décrire le bruit est une simple loi de puissance de la densité spectrale à deux termes, le bruit blanc et le bruit en  $1/f$ . Nous avons commencé à travailler sur une méthode à très basse fréquence en utilisant des variations de température sinusoïdales pour déterminer les coefficients de température des diodes de Zener.

#### 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)

L'inversion de la polarité est une technique classique utilisée en métrologie électrique pour supprimer les effets des forces électromotrices thermiques. Afin d'étudier comment elle affecte le bruit et la stabilité des instruments de mesure électriques, nous avons utilisé deux nanovoltmètres, l'un analogique et l'autre numérique, et un commutateur à inversion automatique de la polarité afin de mesurer les tensions des détecteurs, ainsi que des étalons de tension électroniques à diodes de Zener et des cellules étalons. Les résultats ont été pour la plupart analysés en utilisant trois méthodes d'analyse de séries temporelles : la densité spectrale, la variance d'Allan et les ondelettes. Toutes les mesures ont été répétées en utilisant une méthode unipolaire (sans

inversion de la polarité) et les résultats ont été comparés. Un des objectifs de cet exercice était de démontrer que, contrairement à ce que l'on croit généralement, l'inversion de polarité n'affecte pas le bruit en  $1/f$ . Nous avons montré que les variances d'Allan et les densités spectrales calculées à partir des données collectées en utilisant ces deux procédures sont étroitement compatibles, en particulier pour les durées (ou les fréquences) correspondant au bruit en  $1/f$ . Dans le passé, lorsque nous utilisions uniquement la méthode unipolaire, nous avons déjà mis au point un modèle de loi de puissance pour les densités spectrales des diodes de Zener, comprenant deux types de bruit, le bruit blanc et le bruit en  $1/f$ . Ce modèle est confirmé par les résultats des mesures avec inversion de la polarité. Pour les mesures de diodes de Zener, à des fréquences auxquelles la tension directe (celle des diodes de Zener) est dominée par le bruit en  $1/f$ , la tension non inversée est dominée par le bruit blanc. Le spectre et la variance d'Allan des lectures des valeurs des tensions non inversées servent à contrôler les caractéristiques du bruit du voltmètre pendant les mesures des diodes de Zener. Comme la forme d'onde en créneau, produite par inversion de la polarité, peut être représentée par une série de Fourier d'ondes sinusoïdales, on peut considérer que nos résultats démontrent que les techniques de mesure en courant alternatif ne suppriment pas les effets du bruit en  $1/f$ . Dans notre analyse des séries temporelles, les densités spectrales sont calculées à partir des transformées de Fourier des tensions mesurées, alors que les variances d'Allan sont calculées à partir d'expressions algébriques. Nous avons validé nos procédures de mesure et d'analyse en comparant la densité spectrale du bruit de tension d'une résistance de  $80 \Omega$  à la température ambiante à celle prédite par l'expression de Nyquist,  $4kTR$  (où  $k$  est la constante de Boltzmann,  $R$  la résistance de bruit totale et  $T$  la température absolue) et nous avons trouvé un accord à 5 % près. La variance d'Allan calculée est aussi en bon accord avec l'expression de Nyquist. Les détails de l'inversion de la polarité et les travaux sur la thermométrie de bruit ont été présentés à la CPEM 2004, à Londres (Royaume-Uni).

### 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)

Notre collaboration avec M. Y. Tang de la division d'électricité du NIST se poursuit. Ce projet commun est destiné à déterminer le bruit des étalons de tension en courant continu et des voltmètres au NIST. Les résultats

préliminaires ont été présentés au « NCSL International conference and workshop » en août 2003. Nous avons maintenant déterminé les propriétés du bruit de 25 étalons de tension à diode de Zener. Bien que les mesures au NIST aient été faites avec des étalons de Josephson automatisés et en utilisant des voltmètres numériques, les résultats sont en bon accord avec ceux obtenus pour les 13 étalons à diode de Zener du BIPM avec un système à effet Josephson manuel et un voltmètre analogique. Nous avons eu confirmation que certains modèles de diodes de Zener présentent des niveaux de bruit plus faibles. Dans le cadre d'une autre partie de ce travail, nous avons utilisé des voltmètres numériques pour mesurer directement des tensions de sortie entre 0 mV et 2 mV en utilisant des échelles allant de 1 mV à 10 mV. Comme nous nous y attendions, le bruit est blanc, mais nous constatons deux résultats surprenants. Tout d'abord, quand on commute le voltmètre de l'échelle de 1 mV à celle de 10 mV, l'écart-type d'Allan augmente d'un facteur 1,8 et pas de 10. Deuxièmement, si l'on garde en mémoire que la numérisation d'un signal analogique donne une « erreur de quantification » ayant pour résultat des valeurs quantifiées par pas de  $\Delta$ , l'incertitude-type résultante, en supposant une fonction de distribution uniforme des probabilités, est égale à  $\Delta \cdot 12^{-1/2}$ . Ce qui est surprenant, c'est que nous avons obtenu des écarts d'Allan trois fois plus faibles. Les résultats détaillés de ce travail commun avec le NIST ont été présentés à la CPEM, Londres (Royaume-Uni).

#### **5.4 Nouveau schéma de mesure des coefficients de température des étalons de tension électroniques (T.J. Witt)**

Une partie du travail, que seul le BIPM réalise, pour la détermination des caractéristiques des étalons de tension électroniques envoyés au BIPM pour étalonnage, ou utilisés par le BIPM dans les comparaisons clés en continu, est consacrée à la détermination des coefficients résiduels de température des deux tensions de sortie. Ces déterminations demandent plusieurs jours de travail et leurs incertitudes sont élevées en raison de la dérive temporelle et de la présence du bruit intrinsèque en  $1/f$ . Nous avons assez bien réussi à réduire la constante de temps correspondant à la réponse de la diode de Zener à étudier, quand elle est soumise à un changement programmé de la température dans l'enceinte thermostatée dans laquelle les mesures sont faites. Ceci nous conduit à tenter d'appliquer des variations sinusoïdales de température et à utiliser une variante de la méthode de détection synchrone pour déterminer le coefficient de température de la tension. En termes de

densité spectrale, la fréquence charnière de passage du régime du bruit en  $1/f$  au bruit blanc se situe normalement dans le domaine compris entre 0,1 Hz et 0,01 Hz pour les mesures des diodes de Zener alors que, du fait de la réponse lente du chassis des diodes de Zener aux changements de température, la fréquence de référence des oscillations de température ne peut pas être supérieure à  $1/(30 \text{ min}) = 0,6 \text{ mHz}$  pour obtenir des résultats utiles. Avec une détection synchrone, l'aptitude à extraire un signal du bruit est limitée si la fréquence de référence est inférieure à la fréquence charnière. Cependant, un logiciel moderne de traitement du signal permet l'analyse du signal de sortie (tension de la diode de Zener) par transformée de Fourier rapide et la détection de faibles pics à la fréquence de référence. Nous nous fondons sur ce système d'analyse : les premiers résultats sont prometteurs et nous espérons poursuivre nos progrès.

## 5.5 Thermométrie (R. Goebel, S. Solve, M. Stock et Y. Yamada\*)

Dans le domaine de la thermométrie, une cinquantaine de thermomètres de travail au total ont été étalonnés entre 0 °C et 30 °C pour les autres sections du BIPM.

Le BIPM est le laboratoire pilote de la comparaison clé CCT-K7, une comparaison de cellules à point triple de l'eau. La plupart des mesures étaient terminées en juillet 2003. Pendant les mesures initiales, une dérive anormale a été observée pour une des cellules des participants. Il leur a été demandé de fournir une seconde cellule, mesurée ultérieurement. Toutes les mesures ont été terminées en neuf mois ; 64 manchons de glace ont au total été réalisés. Nous préparons maintenant le rapport de la comparaison que nous envisageons de distribuer à la mi-2004. Les résultats obtenus dans cette nouvelle comparaison sont d'une qualité bien meilleure que ceux de la comparaison de 1995, en raison de la bien meilleure reproductibilité des mesures au jour le jour. C'est une conséquence de la modernisation des instruments, et en particulier de l'amélioration du contrôle de la température de la résistance de référence et de l'utilisation d'un pont de résistance automatique.

Par suite de la fermeture de la section de photométrie et radiométrie, nous avons dû mettre fin au travail commun avec le NMIJ/AIST (Japon) sur la détermination de la température thermodynamique des points fixes des

---

\* NMIJ/AIST (Japon).

eutectiques à haute température après l'année de travail de M. Yamada au BIPM. Malgré le peu de temps disponible pour ce projet, nous avons montré la faisabilité de toutes les étapes depuis la préparation des creusets avec l'alliage eutectique jusqu'à la détermination de la température thermodynamique. Ce dernier travail a été accompli en mesurant la luminance énergétique spectrale au moyen de deux radiomètres à filtre étalonnés par rapport à notre radiomètre cryogénique. Une des découvertes liées à ce projet a été la mise au point d'un nouveau type de creuset eutectique, non seulement plus robuste mais aussi moins onéreux que les cellules classiques. Un autre résultat a été la mise au point d'une nouvelle technique de caractérisation de l'optique imparfaite (« effet de taille de la source ») des radiomètres à filtre au moyen de laquelle il a été possible de surmonter certaines difficultés rencontrées avec les techniques classiques. Les résultats de ce projet ont été présentés à la conférence TempMeko en juin 2004.

## 5.6 Comparaisons clés continues du BIPM d'étalons électriques

(F. Delahaye, D. Reymann et T.J. Witt ; A. Jaouen)

Depuis juin 2003, dans le cadre du programme de comparaisons clés en continu du BIPM d'étalons électriques, nous avons effectué les comparaisons suivantes :

Dans le domaine des étalons de tension utilisant des étalons voyageurs à diode de Zener, nous avons terminé les comparaisons à 10 V avec le CSIR-NML (Afrique du Sud) et avec le NML (Irlande), ainsi qu'une comparaison à 1,018 V et à 10 V avec le NML-CSIRO (Australie). Le CCEM a accepté que ces résultats soient publiés dans la KCDB, dans le cadre des comparaisons clés BIPM.EM-K11.a et BIPM.EM-K11.b. Le CSIR-NML et le NML ont aussi en même temps effectué des comparaisons non-officielles à 1,018 V.

Dans le domaine des étalons de résistance en courant continu, nous avons terminé les comparaisons à 10 k $\Omega$  avec l'EIM (Grèce) et à 1  $\Omega$  avec le KRIS (Rép. de Corée). Le CCEM a accepté que ces résultats soient publiés dans la KCDB dans le cadre des comparaisons clés BIPM.EM-K13.a et BIPM.EM-K13.

## 5.7 Étalonnages

(F. Delahaye, D. Reymann et T.J. Witt ; 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 Bulgarie, l'Égypte, la Malaisie, la République tchèque, la Roumanie et la Serbie-et-Monténégro ; étalons de résistance de 1  $\Omega$  pour le Brésil et la Serbie-et-Monténégro ; étalons de résistance de 100  $\Omega$  pour la Belgique ; étalons de résistance de 10 k $\Omega$  pour la Belgique, le Brésil, le Danemark, la République tchèque et la Serbie-et-Monténégro ; étalons de capacité de 10 pF pour la Belgique, le Canada, la Finlande et Israël ; et étalons de capacité de 100 pF pour la Belgique, le Canada, la Finlande, la France et Israël.

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

### 5.8.1 Publications extérieures

1. Solve S., Stock M., An international comparison of water triple point cells, *Proc. 11th Int. Metrology Congress*, Toulon, 2003, 5 p.
2. Goebel R., Stock M., Final report on the subsequent bilateral comparison of cryogenic radiometers CCPR-S3 between the BIPM and the IEN, *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 02001.
3. Köhler R., Stock M., Garreau C., Final Report on the international comparison of luminous responsivity CCPR-K3.b, *Metrologia*, 2004, **41**, *Tech. Suppl.*, 02001.

### 5.8.2 Rapports BIPM

4. Delahaye F., Holiastou M., Flouda E., Jaouen A., Witt T.J., Bilateral comparison of 10 k $\Omega$  standards (ongoing BIPM key comparison BIPM.EM-K13.b) between the EIM, Greece and the BIPM, September 2003, *Rapport BIPM-2004/07*, 2004, 8 p.
5. Reymann D., Frenkel R., Witt T.J., Bilateral comparison of 1.018 V and 10 V standards between the NML-CSIRO (Australia) and the BIPM, October to December 2003 (part of the ongoing BIPM key comparisons BIPM.EM-K11.a & b), *Rapport BIPM-2004/03*, 2004, 8 p.
6. Reymann D., Power O., Witt T.J., Bilateral comparison of 10 V standards between the NML (Ireland) and the BIPM, March to May

2004 (part of the ongoing BIPM key comparison BIPM.EM-K11.b), *Rapport BIPM-2004/09*, 2004, 12 p.

7. Reymann D., Tarnow E., Witt T.J., Bilateral comparison of 10 V standards between the CSIR-NML (South Africa) and the BIPM, October to December 2003 (part of the ongoing BIPM key comparison BIPM.EM-K11.b), *Rapport BIPM-2004/02*, 2004, 13 p.
8. Yu K.M., Jaouen A., Delahaye F., Witt T.J., Bilateral comparison of 1  $\Omega$  standards (ongoing BIPM key comparison BIPM.EM-K13.a) between the KRISS, Republic of Korea and the BIPM, June 2003, *Rapport BIPM-2004/01*, 2004, 7 p.

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

R. Goebel s'est rendu au MSL, Lower Hutt (Nouvelle-Zélande), les 25 et 26 novembre 2003, pour participer à un audit technique.

S. Solve s'est rendu à Dubrovnik (Croatie), du 22 au 25 juin 2004, pour participer à la conférence TempMeko.

M. Stock s'est rendu :

- à Ljubljana (Slovénie), du 29 au 31 mars 2004, pour la réunion des personnes chargées des relations dans le domaine de la thermométrie au sein de l'EUROMET ;
- à l'IEN, Turin (Italie), les 22 et 23 avril 2004, pour la réunion des personnes chargées des relations dans le domaine de la radiométrie et de la photométrie au sein de l'EUROMET ;
- au NIST, Gaithersburg (États-Unis), du 10 au 14 mai 2004, pour des réunions des groupes de travail du CCPR ;
- Dubrovnik (Croatie), du 22 au 25 juin 2004, pour un exposé à la conférence TempMeko intitulé « Thermodynamic temperature measurements of metal-carbon eutectic fixed points » et pour des réunions des groupes de travail du CCT.

T.J. Witt s'est rendu :

- à la 16<sup>e</sup> réunion des personnes chargées des relations dans le domaine de l'électricité et du magnétisme au sein de l'EUROMET, qui s'est tenue au BEV, Vienne (Autriche), les 25 et 26 novembre 2003 ; il y a présenté un rapport sur les réunions, qui se sont tenues les 4 et 5 novembre 2003, du Groupe de travail du CCEM pour les grandeurs aux basses fréquences

(WGLF) et du Groupe de travail du CCEM pour les grandeurs aux radiofréquences (GT-RF) ;

- à la 6<sup>e</sup> réunion du comité technique de l'APMP sur l'électricité et le magnétisme, le 1<sup>er</sup> et le 2 décembre 2003, à Singapour ; le 1<sup>er</sup> décembre il a présenté le rapport des réunions du WGLF et du GT-RF des 4 et 5 novembre 2003 et un exposé intitulé « Overview of the activities of the BIPM Electricity section » ; le 2 décembre il a fait un exposé de 3 heures, accompagné de démonstrations, intitulé « Introduction to and Practical Applications of Spectrum Analysis in DC Electrical Metrology: Voltmeters and Zener Voltage Standards ».

T.J. Witt, M. Stock, F. Delahaye, D. Reymann, R. Goebel et S. Solve se sont rendus à la CPEM 2004, Londres (Royaume-Uni), du 28 juin au 2 juillet 2004 :

- F. Delahaye et R. Goebel y ont présenté un poster intitulé « Evaluation of the frequency dependence of the resistance and capacitance standards in the BIPM quadrature bridge », *CPEM 2004 Digest*, 372-373 ;
- T.J. Witt et Y. Tang (NIST) y ont présenté un poster intitulé « Investigations of Noise in Measurements of Electronic Voltage Standards », *CPEM 2004 Digest*, 172-173 ;
- D. Reymann y a présenté un exposé intitulé « Sources of errors in measurements of 1.018 V Zener voltage references and suggestions for treating them », *CPEM 2004 Digest*, 68-69 ;
- T.J. Witt y a présenté un exposé intitulé « Allan Variances for DC Voltage Measurements with Polarity Reversals », *CPEM 2004 Digest*, 64-65 ;
- T.J. Witt a organisé et présidé une réunion informelle sur la métrologie quantique en électricité le 1<sup>er</sup> juillet après la CPEM ;
- T.J. Witt était co-auteur de la présentation par Yi-hua Tang (NIST) intitulée «  $1/f$  Noise Floor of Solid-State Voltage Standards » au NCSL International Workshop and Symposium, le 18 août 2003, à Tampa, Floride. Le texte figure dans les comptes-rendus de la conférence NCSL International 2003, sous la référence PR-2003.

## 5.9 Activités en liaison avec des organisations extérieures

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

T.J. Witt, F. Delahaye et D. Reymann sont membres du comité technique de la CPEM 2004.

F. Delahaye est la personne à contacter au BIPM pour les travaux du Groupe de travail 2 du Comité commun pour les guides en métrologie (révision du VIM).

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

T.J. Witt est secrétaire exécutif du CCEM, membre du WGLF et participe aux réunions du GT-RF. Il assiste aux réunions des présidents des comités techniques des organisations régionales de métrologie dans les domaines de l'électricité et du magnétisme.

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

#### **5.11 Visiteurs de la section d'électricité**

- M. K. Ikeda, université de Tokushima, Tokushima (Japon), le 2 septembre 2003, pour visiter le laboratoire des hautes températures.
- Mme S. Sivinee et Mme C. Ajchara (NIMT), du 3 au 5 mars 2004.
- M. H.C. Apfeldorfer, responsable de la Division des étalons physiques (INPL), le 11 mars 2004.
- M. S. Kajane (Botswana Bureau of Standards), le 22 mars 2004.
- M. A. Katkov (VNIIM), les 22 et 23 mars 2004.
- MM. H. Moody, K. Jaeger et J.-C. Krymick (SCLSI), le 23 mars 2004.
- Mmes G. Dankos et T.O. Varga (OMH), le 11 juin 2004.

#### **5.12 Chercheur invité**

- M. Y. Yamada (NMIJ/AIST), du 1<sup>er</sup> au 30 septembre 2003 et du 1<sup>er</sup> au 12 décembre 2003.

## 6 RAYONNEMENTS IONISANTS

(P.J. ALLISY-ROBERTS)

### 6.1 Rayons x et $\gamma$

(P.J. Allisy-Roberts, D.T. Burns, C. Kessler\* et S. Picard\*\* ; P. Roger)

#### 6.1.1 Étalons et équipements pour la dosimétrie

Des diviseurs à haute tension de remplacement, conçus l'an passé, ont été construits. L'un d'entre eux a été incorporé aux équipements pour les rayons x aux moyennes énergies en septembre 2003 et l'autre aux équipements pour les basses énergies en janvier 2004. Ce dernier a été vérifié en profondeur par comparaison au diviseur existant afin de permettre une estimation plus robuste des incertitudes d'étalonnage. Les nouvelles mesures des coefficients d'atténuation dans l'air pour ces deux équipements n'ont pas montré de changements significatifs. Un spectromètre Compton utilisant un détecteur au germanium hyper pur a été assemblé et étalonné en énergie. Des mesures spectrales préliminaires ont été effectuées pour les rayons x aux basses énergies. Une nouvelle alimentation de tension en courant continu, bien isolée, a été conçue et construite pour la mesure de courant d'anode pour les rayons x aux moyennes énergies.

Le tube de rayons x aux moyennes énergies, en service depuis 1974, a été remplacé en mai 2004 après avoir re-mesuré l'épaisseur de demi-atténuation et les coefficients d'étalonnage de la chambre de référence au moyen de l'ancien tube. Nous travaillons à ré-établir les qualités de référence du CCRI. Des taux de kerma dans l'air plus élevés seront utilisés, ce qui demande de ré-évaluer les corrections pour la recombinaison des ions de l'étalon primaire.

Les mesures du profil horizontal et vertical du faisceau ont été répétées au moyen de la nouvelle source de  $^{60}\text{Co}$  à 250 TBq afin d'établir la stabilité mécanique de l'équipement. Les positions du centre du faisceau et des bords ont été reproduites à environ 0,2 mm près. Les profils de la source de  $^{60}\text{Co}$  à 170 TBq ont aussi été mesurés. Les résultats ont été utilisés pour déterminer

---

\* Nouveau membre du personnel depuis le 23 avril 2004, précédemment chercheur associée.

\*\* Transférée de la section des longueurs le 22 avril 2003. Pour les publications liées à la section des longueurs, voir section 2.8.1.

les facteurs de correction pour la non-uniformité de l'étalon primaire dans chaque faisceau. Un modèle d'analyse a été développé pour obtenir de meilleurs valeurs afin de corriger la non-uniformité des chambres sphériques. Un nouveau fantôme d'eau a été construit pour la source de  $^{60}\text{Co}$  à 250 TBq. La correction pour la recombinaison des ions de l'étalon primaire du BIPM a été vérifiée dans le faisceau à 250 TBq. Deux nouveaux étalons à chambre à cavité en graphite sont en fabrication et devraient être vérifiés avant la fin de l'année 2004.

Les étalonnages d'assurance de qualité se poursuivent pour tous les faisceaux de référence pour les rayons x et le rayonnement  $\gamma$ , ainsi que pour les qualités de rayonnement utilisées pour la mammographie.

Le travail a débuté sur un calorimètre étalon en graphite pour les mesures de dose absorbée. Plusieurs ponts à thermistance à faible bruit, une alimentation électrique et un équipement de mesure ont été assemblés et vérifiés, et un système pour l'étalonnage de précision de la température a été mis au point. Actuellement, nous mesurons avec exactitude la capacité calorifique spécifique d'un ensemble d'échantillons en graphite représentatifs du cœur du calorimètre. Le travail progresse sur la détermination de l'énergie électrique à l'entrée et sur la minimisation des corrections pour les pertes de chaleur et les impuretés des échantillons.

### 6.1.2 Comparaisons de dosimétrie

Des comparaisons de kerma dans l'air et de dose absorbée dans l'eau dans le rayonnement  $\gamma$  du  $^{60}\text{Co}$  ont été effectuées en novembre 2003 avec le BNM-LNHB (France). Les rapports des comparaisons précédentes de kerma dans l'air avec le LNMRI (Brésil), le NMIJ/AIST (Japon), le NPL (Royaume-Uni) et la PTB (Allemagne) ont été remis à une date ultérieure, car des changements sont apportés à différents étalons. Le rapport concernant l'ENEA (Italie) a été publié. Le rapport résumé de toutes les comparaisons précédentes de dose absorbée dans l'eau sera envoyé au CCRI pour approbation finale avant publication dans la KCDB, une fois le résultat du NPL approuvé. Les rapports de l'OMH (Hongrie) et du VNIIFTRI (Féd. de Russie) concernant cette grandeur ont été publiés.

Suite à l'accord de la Section I du CCRI en mai 2003 sur les nouvelles valeurs des facteurs de correction pour les étalons de rayons x aux énergies basse et moyenne, valeurs fondées sur des calculs de Monte Carlo, celles-ci ont été publiées dans *Metrologia* et adoptées ; elles sont en vigueur depuis le 1<sup>er</sup> octobre 2003. Les degrés d'équivalence obtenus à partir des résultats des

comparaisons clés, fondés sur ces valeurs, ont été évalués, vérifiés par chacun des laboratoires nationaux de métrologie participants et publiés dans la KCDB à la fin du mois de novembre 2003.

Les calculs nécessaires pour évaluer les facteurs de correction des étalons de rayonnement  $\gamma$  sont en cours. Les calculs des spectres des rayons x ont aussi commencé par la mise au point d'un modèle pour le tube à rayons x et la collimation.

Les rapports des précédentes comparaisons de rayons x avec l'ARPANSA (Australie), le BEV (Autriche), le NIM (Chine), le NIST (États-Unis) et le NMi (Pays-Bas) sont en préparation. Ces rapports de comparaison évaluent les degrés d'équivalence ; les résultats seront inclus dans la KCDB une fois approuvés par le CCRI.

Les quatre chambres de transfert pour les comparaisons clés de dose absorbée aux hautes énergies du CCRI continuent à être mesurées périodiquement dans le faisceau de  $^{60}\text{Co}$  du BIPM.

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

Les procédures et les instructions techniques en accord avec le Manuel Qualité du BIPM pour les services d'étalonnage en dosimétrie sont terminées ; un audit extérieur de ces services a été effectué en décembre 2003. Aucune non-conformité n'a été notée.

Neuf séries d'étalonnages d'étalons nationaux au total ont été effectuées pour les rayons x aux énergies basse et moyenne pour l'AIEA, le BNM-LNHB (France), le CIEMAT (Espagne), le NRPA (Norvège) et le STUK (Finlande).

Vingt-trois 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 et l'équivalent de dose ambiant, à la demande de l'AIEA, du CIEMAT (Espagne), de l'HIRCL (Grèce), du KRISS pour le compte du KFDA (Rép. de Corée), du NRPA (Norvège) et du STUK (Finlande).

Nous continuons à étayer le programme commun à l'AIEA et à l'OMS d'assurance pour la dosimétrie avec des irradiations de référence dans le faisceau de  $^{60}\text{Co}$ .

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

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

La Section II du CCRI s'est engagée dans un programme d'envergure de comparaisons internationales de mesures d'activité pour permettre aux laboratoires nationaux d'étayer leurs aptitudes de mesures déclarées ; le BIPM est le laboratoire pilote de la plupart d'entre elles. Les résultats de huit des dix-neuf comparaisons de ce type achevées dans le passé sont déjà publiés dans la KCDB, cinq comparaisons plus récentes en sont au projet B de rapport et les six autres au projet A de rapport.

La conception de la chaîne de mesure du BIPM utilisée pour la méthode des coïncidences a été revue et la chaîne remplacée. Le nouveau système, contrôlé par la fréquence de l'horloge atomique de la section du temps du BIPM, comprend un module pour les temps morts plus sophistiqué avec un décalage constant de seulement 4 (1) ns sur l'ensemble du domaine de temps mort compris entre 2  $\mu$ s et 51  $\mu$ s, ce qui est une amélioration par rapport au système original.

Le laboratoire radiochimique est en cours de mise à niveau pour faire face à la charge supplémentaire de travail liée au programme de comparaisons.

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

Les corrections proposées par les participants au projet A de rapport de cette comparaison ont été incorporées et un rapport plus détaillé, incluant les bilans d'incertitude, est en préparation. Le lien à la comparaison du BIPM de  $^{192}\text{Ir}$  a été effectué et le rapport correspondant est en préparation.

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

L'activité d'un échantillon du BIPM a été mesurée au moyen de la méthode des coïncidences avec un compteur proportionnel fonctionnant à la pression atmosphérique. Nous n'avons pas effectué d'extrapolation parce que le compteur était réglé sur le plateau  $\alpha$  et n'était donc pas sensible aux électrons ni aux rayons x et au rayonnement  $\gamma$  diffusés dans le compteur. Cette insensibilité a été confirmée au moyen d'une source de  $^{60}\text{Co}$ . La

---

\* Retraité depuis le 31 décembre 2003.

\*\* Engagé le 12 novembre 2003.

\*\*\* En temps partagé avec la section Publications ; retraits depuis le 30 septembre 2003.

concentration d'activité obtenue avec une incertitude-type relative de  $1,7 \times 10^{-3}$  est en bon accord avec celle des autres participants.

La comparaison est maintenant terminée après quelque retard, dû en particulier aux problèmes d'expédition de la solution à certains des vingt-deux participants. Le BIPM a informé deux laboratoires que leurs valeurs étaient en désaccord avec les autres, conformément aux directives. Chaque laboratoire a vérifié ses résultats et soumis de nouvelles valeurs, en expliquant les changements. Ces résultats révisés sont incorporés dans le projet A de rapport, accompagnés d'une note identifiant la pratique suivie.

*iii) Comparaison de mesures d'activité d'une solution de  $^{54}\text{Mn}$*

La solution de  $^{54}\text{Mn}$  préparée et envoyée par la PTB à 23 laboratoires a déjà été mesurée par 19 laboratoires ; 18 d'entre eux ont utilisé des méthodes primaires de mesure. Dix méthodes différentes ont été utilisées, produisant 25 résultats indépendants. Aucune impureté n'a été détectée dans la solution. À l'exception d'un résultat, tous les autres sont contenus dans une bande comprise entre +1,35 % et -1,2 % de la valeur moyenne. Les résultats obtenus au moyen de la méthode CIEMAT/NIST fondée sur la scintillation liquide utilisée par trois laboratoires (le BIPM, l'IRMM et la PTB) montrent une dispersion inhabituelle qui mérite d'être étudiée. Le projet A de rapport est en préparation ; il sera envoyé aux participants durant l'été.

*iv) Comparaison de mesures d'activité d'une solution de  $^{125}\text{I}$*

Une comparaison de mesures d'activité d'une solution de  $^{125}\text{I}$  vient de débiter. La solution a été préparée et envoyée aux participants par le NPL. Le BIPM a reçu quatre ampoules supplémentaires avec une activité environ six fois plus élevée, destinées à être mesurées directement dans les chambres d'ionisation du SIR. Ceci devrait permettre d'entrer les résultats de la comparaison dans la base de données du SIR. Le BIPM étalonne la solution au moyen de la méthode par scintillation liquide. Les résultats doivent être envoyés au BIPM avant la fin du mois d'août 2004.

*v) Comparaison de mesures d'activité d'une solution de  $^{90}\text{Y}$*

Le BIPM participe à la comparaison d'une solution de  $^{90}\text{Y}$  organisée par l'AIEA pour le compte de la Section II du CCRI. La solution de  $^{90}\text{Y}$  a été préparée par le NIST. Le BIPM a mesuré la solution avec un spectromètre à scintillation liquide au moyen de la méthode CIEMAT/NIST. Le résultat obtenu par le BIPM est en bon accord avec les sept autres résultats et avec la

valeur moyenne de la comparaison, dans les limites d'un écart-type. Le projet B de rapport est en circulation.

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

Conformément aux recommandations de la Section II du CCRI, une autre comparaison d'une solution de  $^{32}\text{P}$  entre les trois laboratoires qui avaient obtenu des résultats aberrants lors de la comparaison en 2003 a été organisée cet été. Trois autres participants à la précédente comparaison y seront inclus pour s'assurer que les nouveaux résultats peuvent être liés aux autres ; une opportunité est offerte à de nouveaux participants de se joindre à cette comparaison clé.

### 6.2.2 Autres comparaisons clés

La comparaison de mesures d'activité d'une solution de  $^{65}\text{Zn}$  est en cours. Le projet A de rapport devrait être finalisé cet été.

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

En 2003, le BIPM a reçu quinze ampoules contenant chacune un des huit radionucléides mentionnés ci-dessous, appartenant à six laboratoires : le BNM-LNHB (six ampoules remplies de trois radionucléides différents), le CIEMAT, le CNEA, l'IRA, le NPL (cinq ampoules remplies de trois radionucléides différents) et le RC. Par conséquent, neuf nouveaux résultats ont été enregistrés pour les radionucléides  $^{18}\text{F}$ ,  $^{60}\text{Co}$  (deux résultats),  $^{67}\text{Ga}$ ,  $^{90}\text{Y}$ ,  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{153}\text{Sm}$ ,  $^{201}\text{Tl}$  et  $^{222}\text{Rn}$ .

De plus, des ampoules préparées pour différentes comparaisons clés ont été mesurées dans les chambres d'ionisation du SIR : une ampoule de  $^{54}\text{Mn}$  préparée par la PTB et une ampoule de  $^{90}\text{Y}$  préparée par le NIST. Ceci permettra d'établir un lien direct entre les résultats individuels de chacune des comparaisons impliquant ces radionucléides et les résultats déjà publiés dans la KCDB. La mesure d'une ampoule de  $^{18}\text{F}$ , préparée et envoyée par le NPL, servira aussi à relier la comparaison internationale aux résultats déjà publiés dans la KCDB. Enfin, quatre ampoules de  $^{85}\text{Kr}$  remplies de gaz à différentes pressions par le BNM-LNHB ont été mesurées dans le SIR, afin d'étudier l'influence de la pression du gaz sur la réponse de la chambre d'ionisation. La nécessité de cette étude avait été identifiée pendant l'analyse et la publication des résultats de la comparaison BIPM.RI(II)-K1.Kr-85.

Trente et un rapports de comparaisons en continu du BIPM ont été publiés dans la KCDB pendant les douze derniers mois. Les résultats de huit comparaisons clés de la Section II du CCRI et des organisations régionales de métrologie sont liés à ceux des comparaisons clés du BIPM correspondantes. Cinq autres projets B de rapport sont en circulation, et trois autres sont en préparation.

Le système de mesure du SIR est en cours de remise à niveau, grâce à la mise au point d'une nouvelle électronique (un électromètre Keithley intégré à un système de balance Townsend) et une interface logiciel/matériel améliorée.

Le projet commun avec le NPL sur la détermination d'une solution mathématique pour la courbe d'efficacité du SIR en fonction de l'énergie du rayonnement  $\gamma$  progresse bien. L'objectif est de produire un logiciel afin de calculer les courbes d'efficacité des particules  $\beta$  et des photons, en résolvant des équations fondées sur des modèles par la technique des moindres carrés non-linéaire. Dans une première étape, une courbe d'efficacité des photons a été produite à partir des valeurs de référence des comparaisons clés du SIR. La seconde étape est centrée sur la prise en compte dans le modèle des corrections pour les impuretés de chaque mesure individuelle du SIR, suivie d'un traitement détaillé des incertitudes et des corrélations. Enfin, un modèle amélioré sera défini pour la courbe d'efficacité bêta et les formes du spectre bêta. Ce projet devrait être terminé à l'automne 2004.

#### 6.2.4 Spectrométrie de rayonnement gamma

Des vérifications d'impuretés ont été effectuées pour les ampoules de  $^{18}\text{F}$ ,  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{103}\text{Ru}$  et de  $^{131}\text{I}$  soumises au SIR. Aucune impureté n'a été identifiée dans aucune de ces ampoules ni dans celles soumises pour la comparaison clé de mesure d'activité d'une solution de  $^{125}\text{I}$  de la Section II du CCRI. L'ampoule de  $^{153}\text{Sm}$  du BNM-LNHB a aussi été mesurée et l'on a identifié une erreur numérique survenue lors de l'analyse d'impuretés dans ce laboratoire. La teneur en impureté corrigée est en accord avec les valeurs mesurées au BIPM, dans les limites d'une incertitude-type.

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

#### 6.3.1 Publications extérieures

1. Allisy-Roberts P.J., Burns D.T., Mutual recognition arrangement and primary standard dosimetry comparisons, *Standards and Codes of Practice in Medical Radiation Dosimetry: Proceedings of an International Symposium, Vienna, 25-28 November 2002*, AIEA, 2003, **1**, 11-19.
2. Burns D.T., Calculation of wall and non-uniformity correction factors for the Bureau International des Poids et Mesures air kerma standard for  $^{60}\text{Co}$  using the Monte Carlo code PENELOPE, 2003, *Standards and Codes of Practice in Medical Radiation Dosimetry: Proceedings of an International Symposium, Vienna, 25-28 November 2002*, AIEA, 2003, **1**, 141-149.
3. Burns D.T., Changes to the BIPM primary air kerma standards for x-rays, *Metrologia*, 2004, **41**, L3.
4. Burns D.T., Degrees of equivalence for the key comparison BIPM.RI(I)-K3 between national primary standards for medium-energy x-rays, *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 06036.
5. Burns D.T., Degrees of equivalence for the key comparison BIPM.RI(I)-K2 between national primary standards for low-energy x-rays, *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 06031.
6. Michotte C., Nonis M., Développement d'une porte linéaire conservant les qualités spectroscopiques d'un spectromètre GeHP (Journées de spectrométrie gamma et X, Saclay, octobre 2002), *Bul. B.N.M.*, 2003, No. 123, 19-22.
7. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Gd-153 of activity measurements of the radionuclide  $^{153}\text{Gd}$ , *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 06003.
8. Ratel G., Michotte C., Hino Y., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Ho-166m of activity measurements of the radionuclide  $^{166}\text{Ho}^m$  and the links for the 2000 international comparison APMP.RI(II)-K2.Ho-166m, *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 06016.
9. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.In-111 of activity measurements of the radionuclide  $^{111}\text{In}$ , *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 06017.

10. Ratel G., Michotte C., Los Arcos J.-M., Activity measurements of the radionuclide  $^{67}\text{Ga}$  for the CIEMAT in the BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Ga-67, *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 06018.
11. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Cd-109 of activity measurements of the radionuclide  $^{109}\text{Cd}$  and the links for the 1986 international comparison CCRI(II)-K2.Cd-109, *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 06019.
12. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Mo-99 of activity measurements of the radionuclide  $^{99}\text{Mo}$ , *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 06020.
13. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Kr-85 of activity measurements of the radionuclide  $^{85}\text{Kr}$ , *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 06021.
14. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.I-123 of activity measurements of the radionuclide  $^{123}\text{I}$  and the links for the 1983 EUROMET.RI(II)-K2.I-123 comparison, *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 06022.
15. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.I-131 of activity measurements of the radionuclide  $^{131}\text{I}$ , *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 06023.
16. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Cs-134 of activity measurements of the radionuclide  $^{134}\text{Cs}$  and the links for the 1978 international comparison CCRI(II)-K2.Cs-134, *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 06024.
17. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Mn-54 of activity measurements of the radionuclide  $^{54}\text{Mn}$ , *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 06025.
18. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Cs-137 of activity measurements of the radionuclide  $^{137}\text{Cs}$  and the links for the 1982 international comparison CCRI(II)-K2.Cs-137, *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 06026.
19. Ratel G., Michotte C., Woods M.J., Update of the BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.F-18 of activity measurements of the radionuclide  $^{18}\text{F}$  to include the NPL, *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 06027.
20. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Lu-177 of activity measurements of the radionuclide  $^{177}\text{Lu}$ , *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 06028.

21. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Nb-95 of activity measurements of the radionuclide  $^{95}\text{Nb}$ , *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 06029.
22. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Na-24 of activity measurements of the radionuclide  $^{24}\text{Na}$ , *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 06030.
23. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Pb-203 of the activity measurements of the radionuclide  $^{203}\text{Pb}$ , *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 06032.
24. Ratel G., Michotte C., Broda R., Listkowska A., Activity measurements of the radionuclide  $^{60}\text{Co}$  for the RC, Poland in the ongoing comparison BIPM.RI(II)-K1.Co-60, *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 06033.
25. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Ru-106 of activity measurements of the radionuclide  $^{106}\text{Ru}$ , *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 06034.
26. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Na-22 of activity measurements of the radionuclide  $^{22}\text{Na}$ , *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 06035.
27. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Sb-124 of activity measurements of the radionuclide  $^{124}\text{Sb}$ , *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 06037.
28. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Sc-46 of activity measurements of the radionuclide  $^{46}\text{Sc}$ , *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 06038.
29. Ratel G., Michotte C., Janßen H., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Ta-182 of activity measurements of the radionuclide  $^{182}\text{Ta}$ , *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 06039.
30. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Ru-103 of activity measurements of the radionuclide  $^{103}\text{Ru}$ , *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 06040.
31. Ratel G., Michotte C., Reher D., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Sc-47 of activity measurements of the radionuclide  $^{47}\text{Sc}$  and the links for the 1983 EUROMET.RI(II)-K2.I-Sc-47 comparison, *Metrologia*, 2004, **41**, *Tech. Suppl.*, 06001.
32. Ratel G., Michotte C., Bochud F.O., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Rn-222 of activity measurements of the radionuclide  $^{222}\text{Rn}$ , *Metrologia*, 2004, **41**, *Tech. Suppl.*, 06002.

33. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Eu-152 of activity measurements of the radionuclide  $^{152}\text{Eu}$  and the links for the international comparison CCRI(II)-K2.Eu-152, *Metrologia*, 2004, **41**, *Tech. Suppl.*, 06003.
34. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Sn-113 of activity measurements of the radionuclide  $^{113}\text{Sn}$ , *Metrologia*, 2004, **41**, *Tech. Suppl.*, 06004.
35. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Tc-99m of activity measurements of the radionuclide  $^{99}\text{Tc}^m$ , *Metrologia*, 2004, **41**, *Tech. Suppl.*, 06005.
36. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Sr-85 of activity measurements of the radionuclide  $^{85}\text{Sr}$ , *Metrologia*, 2004, **41**, *Tech. Suppl.*, 06006.
37. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Se-75 of activity measurements of the radionuclide  $^{75}\text{Se}$  and the links for the international comparison CCRI(II)-K2.Se-75, *Metrologia*, 2004, **41**, *Tech. Suppl.*, 06007.

### 6.3.2 Rapports BIPM

38. Allisy-Roberts P.J., Burns D.T., Berlyand V., Bregadze Y., Korostin S., Comparison of the standards of absorbed dose to water of the VNIIFTRI, Russia and the BIPM for  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -rays, *Rapport BIPM-2003/09*, 2003, 12 p.
39. Allisy-Roberts P.J., Burns D.T., Csete I., Comparison of the standards of absorbed dose to water of the OMH and the BIPM for  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -rays, *Rapport BIPM-2003/08*, 2003, 11 p.
40. Allisy-Roberts P.J., Burns D.T., Laitano R.F., Toni M., Bovi M., Revised comparison of the standards for air kerma of the ENEA-INMRI and the BIPM for  $^{60}\text{Co}$  gamma rays, *Rapport BIPM-2003/10*, 2003, 11 p.
41. Allisy-Roberts P.J., Toni M., Bovi M., Comparison of the standards for air kerma of the ENEA-INMRI and the BIPM for  $^{60}\text{Co}$  gamma radiation, *Rapport BIPM-2002/09*, 2003, 10 p.

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

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

- à l'école d'été du BIPM, du 21 juillet au 1<sup>er</sup> août 2003, pour un exposé sur la dosimétrie des rayonnements ionisants ;
- au NPL (Royaume-Uni), du 22 au 24 octobre 2003, pour assister au DTI Measurement Advisory Committee (MAC) ; du 11 au 13 novembre 2003, pour l'examen des programmes du NPL dans les domaines des rayonnements ionisants et de l'acoustique pour le MAC ;
- à Londres (Royaume-Uni), le 7 juillet 2003, pour assister au Ionizing Radiation Health and Safety Forum ; le 22 janvier 2004, pour l'International prioritization meeting du MAC ; le 28 janvier 2004 et le 30 juin 2004, pour le comité de rédaction du *Journal of Radiological Protection* ; le 23 avril 2004, pour une réunion concernant les doses élevées de rayonnement au Department of Health (Royaume-Uni) ; du 7 au 10 juin 2004, aux groupes de travail du MAC sur les rayonnements ionisants et l'acoustique ; le 16 juin 2004, pour présenter un article sur les rayonnements ionisants à une réunion des conseillers en radioprotection ;
- à Vienne (Autriche), du 1<sup>er</sup> au 5 mars 2004, pour présider la 11<sup>e</sup> réunion du comité scientifique du programme de dosimétrie de l'AIEA ;
- au BNM-LNHB (France), le 10 mars et le 4 mai 2004, pour assister à leur conseil scientifique ;
- au NEL (Royaume-Uni), les 15 et 16 mars 2004, pour le MAC.

D.T. Burns s'est rendu à :

- Melbourne (Australie), du 19 au 21 août 2003, pour assister au Workshop on Recent Advances in Absorbed Dose Standards ;
- Oxford (Royaume-Uni), du 8 au 12 septembre 2003, pour assister à la réunion de la principale commission de l'ICRU ;
- Helsinki (Finlande), les 6 et 7 novembre 2003, comme représentant du BIPM à la réunion des personnes chargées des relations dans le domaine des rayonnements ionisants et de la radioactivité au sein de l'EUROMET.

D.T. Burns et C. Kessler se sont rendus à Sydney (Australie), du 25 au 29 août 2003, pour participer au World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering. D.T. Burns y a présenté un article sur « Calculation of the wall correction for <sup>60</sup>Co air kerma standards using PENELOPE » et

C. Kessler le poster « Calculation of the wall correction factor for the BIPM air kerma standard for  $^{137}\text{Cs}$  using the code PENELOPE ».

C. Michotte s'est rendue à :

- l'école d'été du BIPM, du 21 juillet au 1<sup>er</sup> août 2003, pour un exposé sur la métrologie dans le domaine de la radioactivité ;
- Paris (France), du 1<sup>er</sup> au 5 décembre 2003, pour participer à l'atelier VERMI sur les méthodes primaires de normalisation destiné aux jeunes chercheurs.

S. Picard s'est rendue au :

- BNM-LNHB (France), le 18 décembre 2003, pour discuter des méthodes utilisées en calorimétrie avec M. A. Ostrowsky et Mme J. Daures ;
- NPL (Royaume-Uni), le 26 janvier 2004, pour discuter des méthodes utilisées en calorimétrie avec MM. S. Duane et H. Palmans.

S. Picard et G. Ratel se sont rendus au NPL (Royaume-Uni), les 27 et 28 janvier 2004, pour une formation sur les calculs scientifiques avec Fortran 90/95.

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

P.J. Allisy-Roberts est membre du MAC dans les domaines des rayonnements ionisants et de l'acoustique et membre scientifique de l'« UK Ionizing Radiation Health and Safety Forum ». 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).

### 6.5 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 a assisté au Groupe de travail des organisations régionales de métrologie dans le domaine des rayonnements ionisants.

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 des chambres à cavité pour le kerma dans l'air.

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 (avec C. Michotte) 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.

### 6.6 Visiteurs de la section des rayonnements ionisants

- M. S. Pommé (IRMM), le 10 juillet 2003.
- MM. A. Pearce, S. Judge et M. Cox (NPL), le 5 août 2003.
- MM. A. Pearce et M. Cox (NPL), le 22 septembre 2003 et le 5 mai 2004.
- Mme M.G. Iroulart (BNM-LNHB), le 28 septembre 2003.
- Mme Li Mo et M. D. Alexiev (ANSTO), le 20 octobre 2003.
- M. Y. Nedjadi (IRA), le 8 décembre 2003.
- M. T. Kurosawa (NMIJ/AIST), le 15 décembre 2003.
- Mme M.-C. Lépy, M. P. Cassette (BNM-LNHB) et Mme K.C. de Souza Patrão (Université fédérale de Rio de Janeiro, Brésil), le 5 mars 2004.
- Mme A.C. Bellanger et M. C. Bellanger (BNM-LNHB), le 8 avril 2004.
- Mme M. Sahagia (IFIN), le 6 mai 2004.
- Mme M.-M. Bé (BNM-LNHB), le 18 mai 2004.

### 6.7 Chercheurs invités

- Mme C. Lim (KFDA), du 17 au 30 novembre 2003.
- MM. F. Delaunay (en partie) et E. Leroy (BNM-LNHB), du 24 novembre au 5 décembre 2003.
- M. K. Shortt (AIEA), du 8 au 10 décembre 2003.
- MM. I. Jokelainen et I. Aropalo (STUK), du 9 au 13 février 2004.

- Mme A. Gonzalez et M. A. Brosted (CIEMAT), du 12 au 24 mars 2004.
- Mme E.A. Hult (NRPA), les 7 et 8 avril 2004.
- M. L. Czap (AIEA), du 21 au 25 juin 2004.

## 7 CHIMIE (R.I. WIELGOSZ)

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

Le BIPM coordonne l'étude pilote sur l'ozone, au niveau ambiant (CCQM-P28). Quatorze laboratoires y ont participé depuis juillet 2003 ; leurs représentants ont passé chacun jusqu'à une semaine au BIPM. Chaque étalon national ou de transfert du laboratoire a été comparé au photomètre de référence étalon SRP27 du BIPM. Treize autres laboratoires devraient y participer ; les mesures devraient être terminées en décembre 2004.

Une comparaison non officielle du nouvel étalon de référence mesureur d'ozone de l'IMGC et du photomètre de référence étalon SRP27 du BIPM a été effectuée. L'instrument de l'IMGC a été conçu et fabriqué par le KRISS. La comparaison a permis de déterminer le degré d'équivalence des étalons de référence. Les sources éventuelles de biais dans les mesures ont été étudiées ; elles ont été prises en compte dans la détermination des caractéristiques du photomètre de référence étalon SRP33 du BIPM. L'IMGC participera à l'étude pilote CCQM-P28 en octobre 2004.

#### 7.1.1 Traitement statistique des résultats des comparaisons

Une collaboration avec M. W. Bremser du BAM sur le traitement statistique des résultats de l'étude pilote a débuté en janvier 2004. Ce projet est centré sur l'utilisation de la méthode des moindres carrés généralisée pour comparer les résultats de mesure de deux photomètres mesureurs d'ozone. M. W. Bremser a adapté le programme B\_Least, mis au point pour être utilisé dans le cadre de la norme ISO 6143, à la comparaison des mesures effectuées avec des photomètres mesureurs d'ozone. La nouvelle version de ce programme permet de prendre en compte diverses corrélations entre les

résultats de mesure et montrera correctement comment le nombre de résultats de mesure affecte le résultat d'une comparaison.

### 7.1.2 Détermination des caractéristiques des photomètres de référence étalons

La fabrication au BIPM du photomètre de référence étalon SRP33 s'est terminée en juillet 2003. Le banc optique a été fabriqué au BIPM. On a déterminé les caractéristiques de l'instrument par comparaison à l'étalon SRP27 du BIPM ; il a été jugé équivalent à celui-ci, dans les limites de l'incertitude de mesure calculée. L'instrument a été utilisé pour étudier les éventuelles sources de biais dans les mesures effectuées avec les photomètres de référence étalons.

L'exactitude de la mesure de la température dans les photomètres de référence étalons a été évaluée. Un gradient de température a été mis en évidence le long des cuves à gaz des instruments ; il a été mesuré pour tous les photomètres de référence étalons conservés au BIPM. L'erreur relative due au gradient de température affectant la valeur mesurée de la fraction molaire de l'ozone s'est avérée atteindre 0,5 %. Une unité de contrôle de la température a été conçue et fabriquée au BIPM pour homogénéiser la température de la cuve à gaz. Celle-ci a été installée sur les étalons SRP31, 32 et 33 du BIPM ; il a été montré qu'elle réduisait le gradient de température dans les cuves à gaz à moins de 0,1 °C, réduisant les biais sur les fractions molaires d'ozone mesurées à un niveau négligeable.

La différence de pression dans les cuves à gaz des photomètres de référence étalons (variations à l'intérieur de la cuve et entre les cuves) a été vérifiée. La différence maximale de pression mesurée est en accord avec le bilan d'incertitude utilisé actuellement.

On a étudié l'influence du schéma de l'optique utilisée dans les photomètres de référence étalons sur la détermination de la longueur du trajet optique et, par conséquent, de la fraction molaire d'ozone mesurée. Des modifications ont permis de faire varier manuellement l'alignement du faisceau lumineux. Dans le dispositif actuel, les fenêtres optiques sont perpendiculaires à l'axe optique. Des supports de fenêtres modifiés ont été conçus et fabriqués inclinant les fenêtres de quelques degrés par rapport à la perpendiculaire. Ce nouveau système optique a confirmé la présence de réflexions multiples dans les cuves à gaz, ayant pour conséquence des différences relatives de 0,5 % dans les mesures de fraction molaire de l'ozone. La détermination de la longueur du chemin optique est de plus limitée par la faible collimation du

faisceau issu de la lampe à mercure ; l'étude de faisabilité sur l'incorporation d'une source laser mieux collimatée dans le photomètre de référence étalon est terminée.

## **7.2 Équipements pour les étalons primaires de dioxyde d'azote**

(M. Esler et R.I. Wielgosz ; P. Moussay)

Des équipements primaires pour la préparation dynamique des étalons de dioxyde d'azote sont en cours d'installation. Ils sont fondés sur une balance à suspension magnétique, remplacée par le fabricant en avril 2003. Le nouveau système a été vérifié et l'analyse de la variance d'Allan des mesures de séries temporelles a confirmé qu'il répond maintenant aux spécifications requises en termes de stabilité. Le contrôle informatisé complet de l'équipement est en cours, avec la mise au point d'un programme dédié pour la communication, l'acquisition des données et l'automatisation. La mise au point de l'équipement se poursuivra ultérieurement. Une fois terminé, celui-ci servira de référence primaire pour les mesures de la fraction massique du dioxyde d'azote pour le titrage en phase gazeuse.

## **7.3 Équipements pour le titrage en phase gazeuse**

(M. Esler et R.I. Wielgosz)

Des équipements pour le titrage en phase gazeuse ont été fabriqués pour servir de deuxième méthode primaire potentielle de mesure de concentration d'ozone. Le système utilise la dilution dynamique par contrôle du débit massique d'étalons de monoxyde d'azote de concentration élevée. Les changements en concentration de monoxyde d'azote sont contrôlés par un analyseur à chimioluminescence et comparés à la perte d'ozone déterminée par absorption d'ultraviolet. Le système a été entièrement automatisé. La première version de cet équipement comportait des instruments de contrôle du débit massique étalonnés pour les valeurs de débit de gaz. Un examen du bilan d'incertitude des résultats de mesure a montré que les instruments de contrôle du débit massique apportent l'une des composantes principales de l'incertitude globale du résultat de mesure. Quatre « molblocs » ont été achetés et sont intégrés au système pour permettre la mesure en temps réel du débit de gaz avec une incertitude considérablement réduite. La validation de cet équipement est en cours. Il est prévu que ce nouvel instrument participe à l'étude pilote CCQM-P28 (ozone, niveau ambiant).

#### 7.4 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 molaire nominale de 50  $\mu\text{mol/mol}$  ont été mis au point pour la comparaison d'étalons de monoxyde d'azote à utiliser pour le titrage en phase gazeuse. Le comportement de deux analyseurs de monoxyde d'azote fondés sur des principes de détection indépendants, par absorption d'ultraviolet et par chimioluminescence, a été analysé. L'incertitude des résultats de mesure a été réduite en optimisant la conception expérimentale de manière à minimiser la variance d'Allan des mesures de séries temporelles de fraction massique de monoxyde d'azote. Les courbes d'étalonnage ont été analysées au moyen de la méthode de régression par moindres carrés généralisée, ce qui permet de prendre en compte l'incertitude des valeurs portées sur les deux axes. Il a été montré pour la première fois que l'utilisation de cette procédure permet de mesurer les étalons de monoxyde d'azote avec une incertitude du même ordre de grandeur que celle obtenue par préparation gravimétrique. Un ensemble de 13 matériaux primaires de référence de mélanges gazeux de monoxyde et de dioxyde d'azote a été acheté à deux laboratoires nationaux de métrologie différents, ainsi qu'un ensemble de mélanges secondaires de monoxyde et de dioxyde d'azote du commerce pour le système de titrage en phase gazeuse. La procédure d'évaluation des étalons secondaires par rapport aux étalons primaires est en cours. 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. De plus, le BIPM a récemment proposé une étude pilote du CCQM, qui pourrait commencer en 2005, utilisant nos équipements pour la comparaison de mélanges de monoxyde d'azote préparés par gravimétrie. Douze laboratoires nationaux de métrologie ont fait part de leur intérêt à participer à cette comparaison. Un protocole est en préparation pour l'étude proposée.

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

Le KRISS a entrepris la détermination de la fraction molaire de l'argon dans l'air afin d'expliquer les différences observées entre les différentes méthodes utilisées pour la détermination de la masse volumique de l'air. L'importance de ces mesures pour la métrologie des masses a été présentée par le BIPM au

Groupe de travail du CCQM sur l'analyse des gaz. Le KRISS a rapporté une valeur de 9,331 mmol/mol avec une incertitude-type composée de seulement 3  $\mu$ mol/mol. L'utilisation de cette valeur élimine les différences entre les différentes méthodes utilisées pour la détermination de la masse volumique de l'air. Deux articles présentant les détails des mesures de fraction molaire de l'argon et leurs conséquences pour la métrologie des masses ont été préparés par le KRISS et par les sections de chimie et des masses du BIPM ; ils ont été soumis pour publication à *Metrologia* en juin 2004.

## 7.6 Programme d'analyse organique (R.I. Wielgosz)

Le programme de travail détaillé du BIPM dans le domaine des substances organiques pures a été présenté au Groupe de travail du CCQM sur l'analyse organique en septembre 2003 et au CCQM en avril 2004.

Le but à long terme de ce programme est de permettre au BIPM de participer au programme international du CCQM de comparaisons sur la détermination de la pureté et de contribuer à la mise au point d'approches robustes et de méthodologies dans ce domaine. Cela demandera d'étendre la série de comparaisons de mesures de pureté effectuées dans le cadre de l'étude pilote CCQM-P20, de mettre en place des équipements de laboratoire au BIPM pour étayer ces activités, et d'établir des liaisons internationales pour étayer et promouvoir ce programme. Les comparaisons internationales du CCQM seront ainsi fondées sur des méthodologies approuvées et documentées pour la détermination de la pureté. Ce programme ne demandera pas au BIPM de produire des matériaux de référence.

Dans une période initiale de cinq ans, le BIPM établira son programme d'analyse de pureté pour des substances organiques pures sélectionnées, et assurera le lien avec la série de comparaisons de mesure de pureté de substances organiques du CCQM. En ce qui concerne les substances organiques pures à étudier, le BIPM a accordé la priorité aux demandes dans le domaine de la médecine de laboratoire portant sur des substances à analyser cliniquement pures, nécessaires pour l'établissement de systèmes de mesure de référence. Le programme sera ainsi centré dans sa période initiale sur la mesure de pureté de stéroïdes utilisés pour le diagnostic clinique et sur l'analyse de drogues utilisées dans un cadre thérapeutique. Le BIPM a établi des projets communs avec le LGC et le NMIJ/AIST pour coordonner les comparaisons de ces substances. Le programme du BIPM sera aussi lié au programme de comparaisons du CCQM et aux activités du JCTLM.

Le laboratoire d'analyse de pureté de substances organiques est en cours d'installation ; deux chimistes ont été recrutés, qui se joindront au personnel de la section à l'automne 2004.

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

### 7.7.1 Publication extérieure

1. Griffith D.W.T., Esler M.B., Steele L.P., Reisinger A., Non-linear least-squares: high precision quantitative analysis of gas phase FTIR spectra, *Proc. 2nd Int. Conf. Advanced Vibrational Spectroscopy*, 23-29 August 2003, Nottingham, United Kingdom, 2003, 153.

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

M. Esler s'est rendu :

- à l'université de Nottingham (Royaume-Uni), du 24 au 29 août 2003, pour assister et présenter un poster à la 2nd International Conference on Advanced Vibrational Spectroscopy ;
- au BNM-LNE, Paris (France), les 8 et 9 septembre 2003, pour assister à l'atelier de l'EUROMET sur la pureté des gaz ;
- à l'université de Wollongong (Australie), le 12 février 2004, pour une présentation du programme de chimie du BIPM ;
- au NARL/AGAL (Australie), le 13 février 2004, pour une présentation du programme de chimie du BIPM ;
- au BNM-LNE, Paris (France), les 13 et 14 avril 2004, pour assister au « Metropolis workshop: State of the art and new trends in the use of reference materials for environmental monitoring and analysis ».

P. Moussay s'est rendu au BNM-LNE, Paris (France), le 11 mars 2004, pour apporter une modification au photomètre de référence étalon SRP24.

J. Viallon et P. Moussay se sont rendus à l'UBA, Langen (Allemagne), du 22 au 25 mars 2004, pour installer le photomètre de référence étalon SRP19 dans leur laboratoire et reproduire la comparaison effectuée au BIPM avec le photomètre de référence étalon SRP31 du BIPM.

R.I. Wielgosz s'est rendu :

- à l'OMS, Genève (Suisse), les 26 et 27 juillet 2003, pour participer à une consultation non officielle de l'OMS sur la préparation, la détermination

et l'établissement d'étalons internationaux de l'OMS et d'autres matériaux de référence biologiques ;

- au NIST, Gaithersburg (États-Unis), les 4 et 5 septembre 2003, pour participer à la réunion du Groupe de travail 1 du JCTLM sur les matériaux de référence et les procédures de mesure de référence ;
- au CENAM, Querétaro (Mexique), les 11 et 12 septembre 2003, pour participer à la réunion du Groupe de travail du CCQM sur l'analyse organique et présenter le programme du BIPM dans le domaine de l'analyse organique ;
- au VNIIM, Saint-Petersbourg (Féd. de Russie), du 1<sup>er</sup> au 3 octobre 2003, pour participer au « CCQM Gas Analysis Meeting » et pour présenter l'utilisation de la méthode des moindres carrés généralisée dans les comparaisons d'étalons de référence mesurés d'ozone et l'état d'avancement de l'étude pilote CCQM-P28 ;
- à l'OMS, Genève (Suisse), les 6 et 7 octobre 2003, pour participer au groupe de travail de l'OMS sur « International reference preparations for testing diagnostic kits used for the detection of HBsAg and anti-HCV antibodies » ;
- au NIST, Gaithersburg (États-Unis), les 8 et 9 janvier 2004, pour le projet de Manuel Qualité du Groupe de travail 1 du JCTLM dans le cadre du « Quality and Implementation Group » ;
- à Sofia (Bulgarie), du 10 au 13 février 2004, pour assister à la réunion du « Metchem Plenary and Gas Analysis Working Group » de l'EUROMET et y présenter le programme du BIPM de chimie organique et d'analyse des gaz et les activités du JCTLM ;
- à l'AIEA (Vienne), le 17 février 2004, pour une réunion de la Division de chimie analytique et du Groupe de travail pour l'harmonisation de l'assurance de qualité de l'UICPA, et pour une présentation intitulée « Key Comparison, the MRA and CMCs: An International Measurement Infrastructure » ;
- à l'OMS, Genève (Suisse), les 26 et 27 février 2004, pour le « WSC High-level Workshop on International Standards for Medical Technologies » ;
- à Budapest (Hongrie), le 5 mars 2004, pour représenter le BIPM à l'International Agency Meeting (pour les organisations travaillant dans les domaines de l'analyse et des prélèvements dans l'alimentation) ;

- à Chicago (États-Unis), du 8 au 11 mars 2004, pour présenter l'Arrangement de reconnaissance mutuelle à PITTCON 2004 ;
- à Londres (Royaume-Uni), les 5 et 6 avril 2004, pour une réunion sur les matériaux de référence pour les substances organiques pures au LGC (Teddington), et pour une réunion à la Food Standards Agency sur les matériaux de référence utilisés pour les essais d'aptitude ;
- à l'OMS, Genève (Suisse), les 7 et 8 juin 2004, pour participer à une consultation de l'OMS sur les étalons de mesure internationaux et leur utilisation dans le domaine du diagnostic biologique *in vitro* ;
- à l'IRMM, Geel (Belgique), le 28 juin 2004, pour présenter « Towards an international measurement infrastructure for chemical metrology » à une réunion sur l'établissement de l'infrastructure de la métrologie dans les pays de l'Europe du Sud-Est ;
- à l'ICC, Genève (Suisse), le 30 juin 2004, pour représenter le BIPM à la 27<sup>e</sup> session de la commission du Codex Alimentarius.

## 7.8 Activités en liaison avec des organisations extérieures

R.I. 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 du comité de rédaction d'*Accreditation and Quality Assurance*.

## 7.9 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.

Un atelier intitulé « Comparability and Traceability in Food Analysis » a été organisé par le BIPM ; un résumé de cet atelier est publié dans *Accreditation and Quality Assurance* (2004, **9**, 521-522).

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

### 7.10 Activités liées au JCTLM

R.I. Wielgosz est secrétaire du Comité commun pour la traçabilité en médecine de laboratoire, le JCTLM, et membre de son équipe pour l'examen de la mise en œuvre des Systèmes Qualité.

La première réunion du Comité exécutif s'est tenue au BIPM, après la signature d'une déclaration de coopération entre le CIPM, l'IFCC et l'ILAC afin d'établir officiellement le comité commun et d'inviter les organisations ayant une compétence technique dans ce domaine à participer à ses activités.

La liste du JCTLM des procédures de mesure et des matériaux de rang hiérarchique supérieur a été publiée sur le site Web du BIPM. Cette première liste fait référence à des entités chimiques bien définies ou à des mesurands définis par des méthodes de référence reconnues au niveau international. Les matériaux de référence et les procédures de mesure compris dans cette liste sont ceux qui donnent des valeurs traçables aux unités SI, par exemple les électrolytes, les enzymes, les médicaments, les métabolites et les substrats, les hormones non peptidiques et certaines protéines.

### 7.11 Visiteurs de la section de chimie

- Mme P.M. Gomez et M. D.G. Madruga (ISCIH), du 8 au 12 septembre 2003.
- Mme M. Jansee van Rensburg (CSIR-NML), le 11 septembre 2003.
- M. F. Lagler (EC-JRC ERLAP), du 22 au 25 septembre 2003.
- Mme S. Goldthorp (Environment Canada), du 20 au 24 octobre 2003.
- MM. D.W. Zickert et D. Schwaler (METAS), du 17 au 21 novembre 2003.
- Mme S. Havrlantova (CMI), le 20 novembre 2003.
- M. J.C. Woo (KRISS), du 1<sup>er</sup> au 5 décembre 2003.
- M. W. Bremser (BAM), les 15 et 16 janvier 2004.
- Mme M.P. Sassi et M. E. Malgeri (IMGC-CNR), du 26 au 30 janvier 2004.
- Mme T. Macé et M. C. Sutour (BNM-LNE), du 2 au 6 février 2004.
- M. D.V. Rumyanstev (VNIIM), du 16 au 20 février 2004.
- M. J. Walden (FMI), du 1<sup>er</sup> au 5 mars 2004.
- M. C. Zellweger (WCC-EMPA), du 15 au 19 mars 2004.

- MM. H. Moody et K. Jaeger (NCSLI), le 23 mars 2004.
- Mme M. Froelich et M. A. Wolf (UBA Autriche), du 29 mars au 2 avril 2004.
- Mme S. Langer et M. B. Magnusson (SP), du 3 au 7 mai 2004.
- M. B. Sweeney (NPL), du 25 au 28 mai 2004.
- Mmes B. Frigy et I.G. Váraljai et M. D. Laszlo (IEM-DEP), du 7 au 11 juin 2004.
- M. V. Stummer (UBA Allemagne), du 21 au 25 juin 2004.
- M. C. Murthy (CMS-NML/ITRI), le 29 juin 2004.

#### **7.12 Chercheur invité**

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

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

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

L'annexe B de la base de données recouvre maintenant environ 570 comparaisons clés et supplémentaires réalisées sous les auspices du Comité international et des organisations régionales de métrologie. Les résultats de 141 d'entre elles étaient publiés par l'intermédiaire de la KCDB au 1<sup>er</sup> juin 2004. 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 49 comparaisons clés, parmi les 59 comparaisons clés en continu du BIPM d'activité de radionucléides mesurée dans le Système international de référence, le SIR, ont été approuvés et publiés.

Les résultats de 15 comparaisons clés régionales (7 organisées par l'APMP et 8 par l'EUROMET) sont reliés à ceux des comparaisons clés

correspondantes des Comités consultatifs ; les jeux complets des degrés d'équivalence sont publiés par l'intermédiaire de la KCDB. Le même type de liaison est aussi réalisé pour 8 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 contient quelque 15 000 aptitudes en matière de mesure et d'étalonnage, les CMCs, couvrant huit domaines de la métrologie (acoustique, ultrasons et vibrations ; chimie ; électricité et magnétisme ; longueurs ; masses et grandeurs apparentées ; photométrie et radiométrie ; rayonnements ionisants et thermométrie). Le domaine d'incertitude relatif à un CMC donné peut être décrit plus en détail par un tableau d'incertitude, dont les entêtes de colonnes et de lignes correspondent aux valeurs de deux grandeurs physiques (ou de paramètres) cités dans le CMC en question. L'information fournie est alors bien plus précise. Il s'ensuit que le nombre total de valeurs d'incertitudes effectivement publiées dans l'annexe C est supérieur à 30 000.

À l'heure actuelle, des centaines 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).

## 8.2 Progrès dans la mise en oeuvre du système KCDB (S. Maniguet et C. Thomas)

Aucune restructuration majeure du système n'a été nécessaire depuis le lancement sur Internet du nouveau site pour la KCDB le 4 mars 2003. Nous avons toutefois mis en place quelques améliorations afin de répondre à certains besoins spécifiques des utilisateurs.

- La date d'approbation de chacun des CMCs publiés après le 24 mai 2004 est indiquée.
- L'utilisation des tableaux d'incertitude (voir plus haut), mis en œuvre au début de l'année 2004, permet de mieux décrire les incertitudes déclarées.
- Les pages html retournées après qu'une sélection ait été effectuée parmi les choix proposés par les moteurs de recherche de l'annexe C ont une adresse URL absolue depuis le 7 juin 2004. L'utilisateur peut copier cette adresse directement dans un navigateur Internet et la sauvegarder,

ou encore la transférer à une autre personne par courrier électronique, afin que celle-ci obtienne directement le résultat de la recherche sans effectuer à nouveau la sélection.

Comme c'est le cas depuis plusieurs années, 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.

### **8.3 La KCDB et le Système Qualité du BIPM** (S. Maniguet et C. Thomas)

Dans le cadre du Système Qualité du BIPM, huit procédures ont été rédigées afin de décrire le travail effectué pour la KCDB. L'audit interne, visant à examiner le contenu, s'est déroulé avec succès le 23 mars 2004. Six de ces procédures décrivent les aspects techniques du travail lié à l'entrée des informations dans les bases de données qui composent la KCDB ; elles sont réservées à quelques membres du personnel du BIPM seulement et sont enregistrées sur des CDs rangés dans des bureaux individuels. Les deux autres traitent des autorisations formelles nécessaires à la publication des données sur Internet ; elles sont disponibles sur l'Intranet du BIPM et peuvent éventuellement être diffusées à l'extérieur.

### **8.4 Faire connaître la KCDB** (S. Maniguet et C. Thomas)

Suite à plusieurs demandes exprimées lors de réunions du 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 et présenté des posters dans certains congrès. Nous avons aussi fait des démonstrations de la KCDB, en direct sur Internet, installés sur le stand du NIST dressé lors de la conférence PITTCON'2004, conférence qui rassemble quelque 25 000 experts internationaux dans le domaine de la chimie. Quelque 300 exemplaires de la plaquette de la KCDB ont été distribués à cette occasion.

De plus, nous avons distribué le premier numéro du bulletin de nouvelles de la KCDB (« *KCDB Newsletter* ») à environ 1000 adresses de courrier électronique le 16 juin 2004. Il est aussi accessible à partir du site Web de la

KCDB. Nous avons l'intention de distribuer de tels bulletins de nouvelles deux fois par an, en juin et en décembre. Ils pourront fournir l'occasion de donner des informations sur des points particuliers liés à certains domaines de la métrologie dans le cadre de l'Arrangement de reconnaissance mutuelle.

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

C. Thomas s'est rendue à :

- l'Institut de France, Paris (France), les 22 septembre 2003, 24 novembre 2003, 26 janvier 2004, 7 avril 2004 et 14 juin 2004, pour des réunions du Groupe de travail de l'Académie des sciences « Unités de base et constantes fondamentales » ;
- Paris (France), les 2 et 3 octobre 2003, pour assister au « Colloque Pierre Jacquinot » qui s'est tenu au CNRS ;
- Chicago (Illinois, États-Unis), du 8 au 12 mars 2004, invitée par le NIST sur leur stand dressé lors de la conférence PITTCON'2004, afin de présenter la base de données du BIPM sur les comparaisons clés.

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

Le 1<sup>er</sup> septembre 2003, C. Thomas a été nommée « Chargée de mission auprès de Monsieur le Secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences de Paris ». Dans ce cadre, elle remplit les fonctions de Secrétaire scientifique du Groupe de travail de l'Académie des sciences « Unités de base et constantes fondamentales ».

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

C. Thomas est secrétaire exécutive du CCU.

C. Thomas a assisté :

- à la réunion du Groupe de travail du CCL sur la métrologie dimensionnelle, les 8 et 9 septembre 2003 ;
- à la 11<sup>e</sup> session du CCL, les 10 au 11 septembre 2003 ;
- à la réunion du Groupe de travail des organisations régionales de métrologie dans le domaine des rayonnements ionisants, les 25 et 26 septembre 2003 ;

- aux réunions des Groupes de travail du CCEM, du 3 au 7 novembre 2003 ;
- à la 16<sup>e</sup> session du CCTF, les 1<sup>er</sup> et 2 avril 2004 ;
- à la 10<sup>e</sup> session du CCQM, les 22 et 23 avril 2004 ;
- à la 16<sup>e</sup> session du CCU, les 13 et 14 mai 2004.

C. Thomas a rempli les fonctions de secrétaire scientifique de l'école d'été de métrologie qui s'est tenue au BIPM du 21 juillet au 1<sup>er</sup> août 2003.

## **9 LE COMITÉ MIXTE DES ORGANISATIONS RÉGIONALES DE MÉTROLOGIE ET DU BIPM, JCRB (I. CASTELAZO)**

### **9.1 Fin de la période de transition**

Le paragraphe 11.3 de l'Arrangement de reconnaissance mutuelle du CIPM définit une période de transition comprise entre la date de signature du MRA en octobre 1999 et le moment où sera achevée la première série de comparaisons clés ainsi que les Systèmes Qualité, mentionnés au paragraphe 7.3, mis en place. Le JCRB considère que cette période s'est achevée le 31 décembre 2003 et a demandé aux organisations régionales de métrologie de présenter un rapport sur l'état d'avancement des Systèmes Qualité dans les laboratoires nationaux de métrologie avant le 5 avril 2004. Lors de sa 12<sup>e</sup> réunion, qui s'est tenue à Querétaro (Mexique) en mai 2004, le JCRB a examiné les rapports soumis par les organisations régionales de métrologie et a considéré que la plupart des laboratoires nationaux de métrologie avaient mis en place avec succès un Système Qualité qui renforce la confiance dans leurs CMCs publiés dans l'annexe C. Cependant, certaines organisations régionales de métrologie ont indiqué qu'elles avaient encore besoin de terminer l'examen final de certains Systèmes Qualité, et quelques laboratoires nationaux de métrologie ont demandé un délai supplémentaire. Le JCRB a fixé la date limite du 31 décembre 2004 à tous les laboratoires nationaux de métrologie pour la mise en place complète du Système Qualité étayant les CMCs qu'ils ont publié et a demandé aux organisations régionales de métrologie d'envoyer un rapport au BIPM avant le 31 mars 2005. Les

CMCs qui ne seront pas étayés par un Système Qualité approuvé après cette date seront supprimés de l'annexe C.

Le JCRB a aussi pris acte du fait que les Comités consultatifs ont défini des cycles de renouvellement adaptés à toutes les comparaisons clés, et que le grand nombre de comparaisons clés dont les résultats sont déjà publiés dans la KCDB donne suffisamment confiance pour que l'on puisse déclarer la fin de la période de transition. Un document à ce sujet a été approuvé par le JCRB lors de sa 12<sup>e</sup> réunion, précisant la procédure à suivre et les responsabilités respectives pour contrôler l'impact des résultats des comparaisons clés et supplémentaires sur les déclarations de CMCs.

## **9.2 Interprétation et révision du MRA du CIPM – documents connexes**

Lors de sa 92<sup>e</sup> session en octobre 2003, le CIPM a approuvé les propositions du JCRB de modifier le Supplément technique du MRA du CIPM. Ces changements concernent le paragraphe T.7, stipulant que les écarts non résolus observés dans les résultats des comparaisons supplémentaires seront considérés dans l'annexe C, et le paragraphe T.10 qui explique que les comparaisons supplémentaires sont uniquement effectuées par les organisations régionales de métrologie.

Lors de cette même session, le CIPM a approuvé une modification du paragraphe 12 des *Directives pour les comparaisons clés du CIPM*, notant que les comparaisons supplémentaires doivent respecter des protocoles « inspirés » de ceux spécifiés dans ces Directives, mais qu'elles ne doivent pas nécessairement suivre exactement les mêmes procédures. Par exemple, le calcul d'une valeur de référence n'est pas exigé dans le cas des comparaisons supplémentaires. Enfin, une note a été ajoutée au paragraphe 11 pour tenir compte de la publication des résultats des comparaisons sous forme électronique.

## **9.3 Procédures d'examen inter-régional**

Les procédures du JCRB ont été révisées afin d'améliorer l'efficacité des examens inter-régionaux et de s'assurer que les déclarations de CMCs soient uniformes et correctes du point de vue technique. Une date limite a été incluse dans la procédure pour l'approbation des CMCs proposés au vote, date après laquelle ils seront publiés dans l'annexe C s'ils ne font l'objet

d'aucune objection et si au moins une organisation régionale de métrologie fait part de son consentement.

Un document a été approuvé lors de la 11<sup>e</sup> réunion du JCRB qui précise la chaîne de responsabilités afin de s'assurer que les déclarations de CMCs faites par un laboratoire national de métrologie sont en accord avec les résultats obtenus dans les comparaisons clés et supplémentaires. Les instructions pour établir les fichiers Excel de CMCs comprennent maintenant une procédure pour préciser le domaine de mesure et l'incertitude des CMCs et empêcher toute forme de déclaration ambiguë.

#### **9.4 Nouveau secrétaire exécutif**

Mme Angela Samuel a achevé le 31 octobre 2003 la période de deux ans pendant laquelle a assumé la charge de secrétaire exécutive du JCRB ; elle est retournée dans son organisation d'origine, le NML-CSIRO, à Sydney (Australie). M. Ismael Castelazo a pris ses fonctions de secrétaire exécutif désigné le 22 septembre 2003 et a bénéficié d'une période de six semaines de recouvrement avec Mme Samuel.

#### **9.5 Publications, conférences et voyages : JCRB**

##### **9.5.1 Révisions de documents approuvés par le CIPM**

1. Supplément technique du MRA du CIPM.
2. Directives pour les comparaisons clés du CIPM.

##### **9.5.2 Nouveaux documents du JCRB**

Disponibles sur le site Internet du BIPM à l'adresse :

[www.bipm.org/en/committees/jc/jcrb/documents.html](http://www.bipm.org/en/committees/jc/jcrb/documents.html)

1. Activities of the JCRB: 1999-2003.
2. Primer for TC/WG chairpersons on the CMC review process, *JCRB-11/6(3)*.
3. Monitoring the impact of key and supplementary comparison results on CMC claims, *JCRB-11/7(a)*.
4. CMC specification procedure, *JCRB-12/06(2)*, incluse dans les "Instructions for drawing up CMC excel files", *JCRB-6/6*.
5. Supplementary comparisons – definition, *JCRB-11/8(5)\_rev*.

### 9.5.3 Documents du JCRB révisés

Disponibles sur le site Internet du BIPM à l'adresse :

[www.bipm.org/en/committees/jc/jcrb/documents.html](http://www.bipm.org/en/committees/jc/jcrb/documents.html)

1. Terms of reference for CC Working Groups on CMCs, *JCRB-11/6(2)*.
2. End of transition period of the CIPM MRA – Review of published CMCs, *JCRB-11/7*.
3. Flowchart of the CMC review process, *JCRB-12/06a\_rev*.
4. Flowchart of the key comparison process, *JCRB-11/2(a)*.
5. Flowchart of the supplementary comparison process, *JCRB-8/19(c)\_rev*.

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

I. Castelazo s'est rendu :

- à Vienne (Autriche), du 2 au 5 décembre 2003, à l'assemblée générale de l'UNIDO et au groupe d'experts sur les arrangements de reconnaissance mutuelle. Le document du JCDCMAS intitulé « Building trade capacity and technical infrastructure in developing countries » a été distribué à la session « Round Table 3 » sur « Making trade work for the poor – Stimulating the real economy's response » ;
- au BIPM, le 3 mars 2004, pour la réunion commune au BIPM, à l'ILAC et à l'OIML, et le 4 mars pour la réunion BIPM/ILAC ;
- à Genève (Suisse), le 26 mars 2004, pour la réunion du JCDCMAS ;
- à Querétaro (Mexique), du 3 au 7 mai 2004, pour la 12<sup>e</sup> réunion du JCRB, ainsi que pour les réunions du « Quality System Task Force » et des « Technical and Professional Development Committees » du SIM.

## 9.6 Activités en liaison avec des organisations extérieures

Le secrétaire exécutif du JCRB était aussi secrétaire exécutif du 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 (JCDCMAS) jusqu'en mars 2004. Cette fonction a été assurée par Angela Samuel jusqu'en octobre 2003, puis par Ismael Castelazo jusqu'en mars 2004. Les deux secrétaires exécutifs ont collaboré à la préparation de la documentation sur la métrologie, l'accréditation et la normalisation, présentée par le JCDCMAS à l'assemblée générale de

l'UNIDO à Vienne, en décembre 2003. Lors de la dernière réunion du JCDCMAS à Genève, en mars 2004, il a été décidé que l'organisation hébergeant chaque réunion annuelle assurerait le secrétariat exécutif pour l'année. Actuellement, cette fonction est assurée par la Commission électrotechnique internationale (CEI).

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

A. Samuel et I. Castelazo ont assisté à la 11<sup>e</sup> réunion du JCRB, les 6 et 7 octobre 2003.

I. Castelazo a assisté :

- à la réunion du Groupe de travail des organisations régionales de métrologie sur les CMCs dans le domaine des rayonnements ionisants, les 25 et 26 septembre 2003 ;
- à la 4<sup>e</sup> réunion des présidents des comités techniques (ou groupes de travail) des organisations régionales de métrologie dans les domaines de l'électricité et du magnétisme, le 3 novembre 2003 ;
- au Groupe de travail du CCQM sur les CMCs, les 19 et 20 avril 2004.

### **9.8 Visiteurs pour le JCRB**

- M. A. Bigot (Ministère de l'Éducation, des Sciences et de la Technologie, Argentine), le 10 décembre 2003.
- M. S. Kajane (Botswana Bureau of Standards), le 22 mars 2004.
- M. C. Sánchez Morales (SIC), le 1<sup>er</sup> juin 2004.
- MM. A. Valqui (PTB) et U. Hillner (BMZ), le 8 juin 2004.

## **10 SYSTÈME QUALITÉ (R. KÖHLER)**

### **10.1 Liaison avec l'ISO et l'ILAC (R. Köhler)**

Le BIPM reconnaît l'importance d'une collaboration plus étroite et d'un échange ouvert d'informations avec l'ISO et l'ILAC, afin d'étayer le protocole d'accord entre le BIPM et l'ILAC.

Un groupe de travail commun au BIPM et à l'ILAC a été établi ; il s'est réuni en mars 2004 au BIPM. Les deux organisations prépareront un document commun sur certaines questions fondamentales et sur le rôle des laboratoires nationaux de métrologie et des organismes d'accréditation au niveau national et régional, au vu des nouvelles réalités économiques. Une collaboration étroite de ce type améliorera la cohérence entre les comparaisons effectuées par le laboratoire accrédité et celles effectuées par le laboratoire national de métrologie.

Le BIPM joue maintenant un rôle plus actif dans un certain nombre de groupes de travail de l'ISO, à savoir sur le vocabulaire, la qualité en métrologie et les questions d'accréditation. Le but est de faire valoir le point de vue du BIPM à l'ISO et d'alerter le BIPM sur les travaux de l'ISO qui pourraient avoir un impact sur le BIPM et son réseau d'influence.

### **10.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) : Système Qualité**

R. Köhler s'est rendu :

- à Turin (Italie), du 9 au 11 septembre 2003, pour participer à la conférence AMCTM ;
- à l'IPQ, Caparica (Portugal), les 27 et 28 janvier 2004, pour une réunion du Forum Systèmes Qualité de l'EUROMET ;
- à l'ISO, Genève (Suisse), le 6 avril 2004, pour des discussions avec le responsable de l'ISO CASCO, M. G. Drake ;
- à Kuala Lumpur (Malaisie), du 12 au 14 avril 2004, pour une réunion commune à l'APMP et au SIM sur les Systèmes Qualité ;
- à la PTB, Berlin (Allemagne), les 13 et 14 mai 2004, pour une réunion d'INTMET ;

- au NMIJ/AIST, Tsukuba (Japon), du 24 au 26 mai 2004, pour la préparation de l'atelier commun au BIPM et au NMIJ sur l'impact des techniques informatiques sur la métrologie et des discussions avec les responsables du Management de la Qualité au NMIJ/AIST ;
- ISO, Genève (Suisse), le 29 juin 2004, pour une réunion du groupe de travail 25 de l'ISO.

## 11 PROJETS SPÉCIAUX (M. STOCK)

### 11.1 Condensateur calculable (F. Delahaye, R. Goebel, J. Sanjaime, M. Stock, L. Vitouchkine et T.J. Witt)

Le BIPM a commencé un projet commun avec le NML-CSIRO (Australie) pour mettre au point une version plus élaborée du condensateur calculable. La nouvelle version est fondée sur des techniques de conception avancée et une technologie améliorée mise au point depuis l'invention du premier condensateur calculable et sa fabrication par le NML dans les années 1960. Le BIPM et le NML-CSIRO collaboreront à la conception et à la fabrication de deux condensateurs calculables, l'un pour le BIPM et l'autre pour le NML-CSIRO, ayant pour objectif une incertitude relative de  $1 \times 10^{-8}$ . La date d'achèvement est prévue au 31 octobre 2006.

La principale contribution du BIPM sera un interféromètre optimisé pour les mesures de longueur et la construction d'un certain nombre de pièces mécaniques.

Entre octobre 2003 et mars 2004 un bâti de mesure qui servira à vérifier la qualité des électrodes cylindriques a été fabriqué à l'atelier du BIPM. La rectitude des électrodes est cruciale pour le bon fonctionnement des instruments.

Un logiciel spécial est en cours de mise au point (en collaboration avec A. Lukin et V. Grikurov de Saint-Pétersbourg) pour le calcul des figures d'interférence d'un interféromètre à faisceaux multiples fonctionnant en transmission et en réflexion. Ce logiciel permettra de simuler les figures d'interférence pour les fronts d'ondes arbitraires du faisceau incident et pour différentes formes et coefficients de réflexion des miroirs. Il permettra aussi

de simuler les défauts d'alignement des composants optiques de l'interféromètre.

La mise au point d'un laser compact à Nd:YVO<sub>4</sub>/KTP à 532 nm, asservi sur l'iode, non modulé, destiné à un interféromètre laser pour les mesures de déplacement, progresse (en collaboration avec O.A. Orlov, VNIIM, Saint-Pétersbourg).

## 11.2 Balance du watt

(R.S. Davis, F. Delahaye, H. Fang, A. Picard, T.J. Quinn, D. Reymann, S. Solve, M. Stock, L. Vitouchkine et T.J. Witt)

Ces derniers mois, les activités ont été centrées sur la conception du circuit magnétique et de la bobine mobile. Nous avons aussi étudié les différentes techniques servant à effectuer les alignements nécessaires au système.

Le circuit magnétique sera fondé sur des aimants permanents produisant un champ radial. Des calculs par la méthode des éléments finis ont été effectués pour deux géométries différentes : un circuit ouvert, similaire au système du BNM-LNE, constitué d'un aimant annulaire et d'une culasse dont l'entrefer est facilement accessible, et un circuit symétrique fermé, avec les aimants et l'entrefer à l'intérieur du système. Le système symétrique semble préférable, parce que l'entrefer est protégé par une structure en fer des champs extérieurs et que l'uniformité du champ magnétique dans l'entrefer est meilleure. L'affaiblissement des champs extérieurs résultant du circuit fermé devrait permettre de générer la tension induite en mode déplacement en faisant bouger le circuit magnétique plutôt que la bobine. Le circuit fermé est aussi plus compact que le circuit ouvert. Nous avons entamé des discussions avec une compagnie d'engineering spécialisée en vue de la fabrication d'un tel système. Un premier dimensionnement de la bobine mobile a été effectué. Nous avons commencé la fabrication d'un prototype de la bobine pour déterminer ses propriétés thermiques et électriques.

Nous pensons qu'il est essentiel, pour le bon fonctionnement de la balance du watt, de comprendre et de contrôler totalement l'alignement de la bobine dans l'aimant et de l'aimant par rapport à la verticale. On a mis au point une stratégie d'alignement que l'on vérifiera à la température ambiante. Un solénoïde de précision servira de référence pour l'alignement horizontal de la bobine mobile. L'aimant sera ensuite centré sur la bobine et aligné horizontalement en mesurant la tension induite par de petites oscillations de

la bobine et en mesurant le couple lorsqu'un courant passe à travers la bobine.

Pour générer le déplacement, deux solutions ont été étudiées : l'une consiste à déplacer le circuit magnétique en utilisant des suspensions flexibles, et l'autre à mettre en mouvement la bobine et la masse au moyen d'un transducteur électrostatique placé dans la suspension de la bobine. Un prototype, correspondant à la seconde solution, sera construit et vérifié au cours de la seconde moitié de l'année.

Nous avons étudié les effets des courants de Foucault résultant du mouvement à l'intérieur de l'aimant de la bobine parcourue par le courant. Ce problème résulte de notre choix d'effectuer simultanément les expériences en modes pesée et déplacement. Les forces peuvent être relativement fortes aux températures cryogéniques (typiquement de l'ordre de  $1 \mu\text{N}$ , soit un changement de masse apparente de  $0,1 \text{ mg}$ ), mais doivent être symétriques par rapport à la direction du mouvement de la bobine et s'annuler sur le cycle complet de mesures.

La valeur relative du coefficient de température du champ rémanent a été mesurée pour un type spécial d'aimants SmCo (samarium-cobalt). La valeur obtenue, comprise entre  $-50 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  et  $+50 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ , correspond aux spécifications données par le fabricant. Ce résultat ouvre la perspective de construire un circuit magnétique à coefficient de température très faible. Cette mesure est intéressante à double titre ; en effet, des aimants faits du même matériau sont aussi utilisés pour asservir la balance FB-2 mise au point par la section des masses. Les détails sont donnés dans le *Rapport BIPM-2004/4*, disponible sur le site Internet du BIPM, à partir des pages « Publications récentes » de la section des masses.

### **11.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) : projets spéciaux**

R. Goebel s'est rendu au NML-CSIRO, Lindfield (Australie), du 27 au 30 novembre 2003, pour une visite et des discussions sur le condensateur calculable.

M. Stock s'est rendu :

- au BNM-LNE, Trappes (France), le 18 février 2004, pour des discussions sur la balance du watt et la visite des laboratoires, accompagné de R.S. Davis et A. Picard ;

- au CEDRAT, Grenoble (France), les 6 et 7 avril 2004, pour discuter d'un contrat futur pour la fabrication d'un circuit magnétique pour la balance du watt, accompagné de R.S. Davis et A. Picard;
- au NIST, Gaithersburg (États-Unis), du 10 au 14 mai 2004, pour voir la balance du watt du NIST, accompagné de A. Picard ;
- Londres (Royaume-Uni), du 26 juin au 2 juillet 2004, pour la CPEM et pour l'atelier du CCEM sur le contrôle de la stabilité du prototype international du kilogramme, accompagné de R.S. Davis et A. Picard.

M. Stock et S. Solve se sont rendus au BNM-LNE, Paris (France), du 30 juin au 1<sup>er</sup> juillet 2003, pour participer au « Watt Balances Technical Meeting ».

#### 11.4 Visiteurs pour les projets spéciaux

- M. F. Alves (SATIE, Cachan), le 15 décembre 2003, pour des discussions sur un circuit magnétique pour la balance du watt.
- M. L. Énard (BNM), le 24 février 2004, pour des discussions sur le projet de condensateur calculable.
- M. Y. Miki (NMIJ/AIST), le 16 mars 2004, pour des discussions sur la balance du watt du BIPM.

## 12 PUBLICATIONS ET INFORMATIQUE

(P.W. MARTIN\*, puis J. WILLIAMS\*\*)

### 12.1 Rapports du CIPM et de ses Comités consultatifs

(P.W. Martin\*, J.R. Miles, C. Thomas et J. Williams\*\* ; D. Le Coz)

Depuis juillet 2003 ont été publiés :

- *Rapport du directeur sur l'activité et la gestion du Bureau international des poids et mesures (2003)*, 2004, **4**, 239 p.

---

\* Jusqu'au 31 janvier 2004.

\*\* À dater du 1<sup>er</sup> février 2004.

- *Procès-verbaux du Comité international des poids et mesures*, 92<sup>e</sup> session (2003), 2004, **71**, 157 p.

Note : la liste des publications scientifiques de chaque section est donnée dans le chapitre correspondant de ce rapport.

Suite à la décision du Comité international des poids et mesures lors de sa 92<sup>e</sup> session en octobre 2003, les rapports des sessions des Comités consultatifs sont maintenant publiés uniquement sur le site Web du BIPM, dans leur langue originale. Les rapports bilingues imprimés français-anglais ne sont plus publiés.

## 12.2 ***Metrologia*** (P.W. Martin\*, J.R. Miles et J. Williams\*\* ; D. Saillard)

Depuis le début de 2003, *Metrologia* est produit en collaboration avec l'Institute of Physics Publishing (IOPP) Ltd., la maison d'édition de l'Institute of Physics. Selon ce nouvel arrangement, les manuscrits continuent à être soumis au rédacteur au BIPM, qui est responsable de trouver les referees appropriés et de décider des mérites relatifs d'un manuscrit d'après les rapports des referees. Lorsqu'un manuscrit a été accepté pour publication par le rédacteur, en général après révision par ses soins, il est envoyé à l'IOPP pour édition et impression. Les épreuves sont envoyées par l'IOPP à l'auteur, qui renvoie directement ses corrections à l'IOPP. Enfin, le journal imprimé est envoyé aux abonnés par l'IOPP. De plus, les articles acceptés pour publication dans le journal imprimé sont accessibles gratuitement pendant un mois sur les pages réservées à *Metrologia* du site de l'IOPP :

([www.iop.org/EJ/journal/Met](http://www.iop.org/EJ/journal/Met)).

Les détails techniques de la production de *Metrologia* par le BIPM et l'IOPP fonctionnent très bien. Le journal paraît dans les délais et nous bénéficions du vaste réseau de promotion de l'IOPP pour nous aider à maintenir le niveau d'abonnement au journal, à une époque où le nombre d'abonnements a tendance à chuter pour la plupart des journaux scientifiques techniques. Les numéros spéciaux de *Metrologia* sont toujours organisés avec l'aide d'un rédacteur spécialiste invité, en coopération avec le rédacteur au BIPM. Le volume **40** de *Metrologia* a été publié en 2003. L'année passée, deux numéros spéciaux de *Metrologia* ont été publiés : l'un sur la masse et l'autre sur la masse volumique.

### 12.3 Informatique (L. Le Mée, J.R. Miles ; G. Petitgand)

Le principal événement de la section publications au cours de l'année passée a été le lancement du nouveau site Web du BIPM. Il a été ouvert au public juste avant la Conférence générale en octobre 2003 et constitue le premier site Web conçu de manière professionnelle pour le BIPM, avec un système de gestion de contenu entièrement intégré. Le nouveau site Web est hébergé sur deux serveurs qui permettent de répartir la charge. Il y a eu environ 23 000 visiteurs pendant le mois d'octobre 2003. Depuis son lancement, le nombre de visiteurs n'a cessé d'augmenter et nous recevons actuellement un peu plus de 2000 visiteurs par jour. Depuis l'ouverture du nouveau site, environ un tiers des visiteurs viennent des États-Unis et environ un quart d'Europe de l'Ouest.

Les visiteurs du nouveau site Web ([www.bipm.org](http://www.bipm.org)) y trouvent plus de 3000 pages d'informations, y compris toutes les Résolutions de la Conférence générale (qui sont consultées près de 6000 fois par mois) et le texte de la brochure sur le SI. Il est intéressant de noter que la version .pdf de la brochure sur le SI est actuellement téléchargée plus de 2000 fois par mois ; ce taux de téléchargement est à peu près égal pour les versions française et anglaise. Cet intérêt pour la brochure sur le SI signifie qu'environ 10 % de ceux qui visitent le site Web du BIPM souhaitent consulter les pages concernant le SI.

Le nouveau site Web est équipé d'un moteur de recherche. L'étude de son utilisation sur une période de huit mois montre que les vingt thèmes de recherche les plus consultés (à l'exception des noms de membres du personnel, qui figurent dans les vingt premiers) sont : un certain nombre d'unités de base du SI, « l'école d'été », le terme « incertitude », le *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure* (GUM), le terme « conversion », les CMCs, l'UTC, la masse volumique de l'air et les unités SI. Parmi les hyper-liens proposés, les plus utilisés sont les « liens utiles » et la base de données d'articles publiés dans *Metrologia*. Un autre outil très utilisé est la recherche dans les sites Web des laboratoires participant au MRA.

Le site Web sert aussi de moyen de communication pour les membres des Comités consultatifs ; les documents des réunions sont placés à l'emplacement approprié du site Web et les membres y accèdent au moyen d'un mot de passe. De cette manière, nous pouvons économiser de grandes quantités de papier pour les envois aux membres qui peuvent consulter les documents sur écran. L'accès aux documents de travail sur le site Web du

BIPM fonctionne bien ; actuellement 1200 documents de travail relatifs aux Comités consultatifs et environ 700 documents de travail relatifs aux groupes de travail sont disponibles.

Notre site Internet est maintenant notre outil le plus sophistiqué et le plus consulté pour promouvoir nos activités et il se substitue aux publications imprimées. Le site Web (conçu de manière professionnelle, bien géré et bien mis à jour) évolue continuellement et augmente en taille et en complexité ; c'est devenu le moyen de nous faire connaître du monde extérieur. C'est à travers notre site Web que nous améliorons les services que nous offrons à nos utilisateurs.

Le service informatique du BIPM a procédé cette année au remplacement du serveur central de notre système informatique acquis en 1998 par un modèle plus récent disposant d'un espace de stockage plus important tout en offrant de meilleures performances. Ce serveur héberge de nombreux logiciels, dont une part importante issue de la communauté Open Source.

Nous avons constaté cette année un accroissement sans précédent d'e-mails non sollicités (SPAM) reçus par le BIPM. Ils représentent environ 75 %, en moyenne, des 1200 e-mails qui arrivent quotidiennement au BIPM. Afin de lutter efficacement contre cette avalanche, le service informatique a renforcé son système déjà sophistiqué de parefeu et a aussi installé un système centralisé pour rechercher et éliminer les messages contenant des virus informatiques.

De plus, le groupe informatique a élaboré et mis en place un certain nombre d'applications Intranet et Internet, présentant de nouvelles idées et opportunités pour améliorer le service offert au personnel du BIPM, aux membres des Comités consultatifs, aux visiteurs de l'extérieur et à ceux qui cherchent à en savoir plus sur la métrologie et les activités du BIPM. Le groupe informatique a participé au remplacement de plusieurs liaisons par fibre optique qui servent au transport rapide des données à l'intérieur du BIPM.

Enfin, le service informatique a participé à l'achat, l'installation, l'administration et la maintenance d'environ 170 ordinateurs de bureau et de laboratoire et d'une douzaine d'imprimantes en réseau.

## 12.4 Voyages (conférences et visites) : section publications et informatique

P.W. Martin s'est rendu à l'IOPP, Bristol (Royaume-Uni), le 17 septembre 2003.

J.R. Miles s'est rendue à :

- Londres (Royaume-Uni), le 28 octobre 2003, pour la réunion des utilisateurs d'ESPERE ;
- Londres (Royaume-Uni), les 3 et 4 décembre 2003, pour la conférence « Online ».

J.R. Miles et J. Williams se sont rendus à l'IOPP Partners Meeting, Londres (Royaume-Uni), le 12 mars 2004.

L. Le Mée et J.R. Miles se sont rendus à Puteaux (France), au « Séminaire VERITY ULTRASEEK: Moteur de recherche Intranet/Internet », le 6 avril 2004.

J. Williams s'est rendu à la CPEM 2004, Londres (Royaume-Uni), du 28 juin au 2 juillet 2004.

## 13 RÉUNIONS ET EXPOSÉS AU BIPM

### 13.1 Réunions

Les réunions suivantes ont eu lieu au BIPM :

- Le Groupe de travail du CCEM sur l'utilisation de mesures électriques pour contrôler la stabilité du prototype international du kilogramme s'est réuni le 2 juillet 2003.
- Le Groupe de travail du CCM sur la constante d'Avogadro s'est réuni le 3 juillet 2003.
- L'école d'été du BIPM s'est réunie du 21 juillet au 1<sup>er</sup> août 2003.
- Le CCL s'est réuni les 11 et 12 septembre 2003, précédé des réunions de ses groupes de travail du 8 au 10 septembre.

- Les groupes de travail du CCRI « VERMI », sur les incertitudes et des organisations régionales de métrologie sur les CMCs dans le domaine des rayonnements ionisants se sont réunis du 23 au 26 septembre 2003.
- Le 11<sup>e</sup> JCRB s'est réuni les 6 et 7 octobre 2003.
- Les groupes de travail du CCEM se sont réunis du 3 au 7 novembre 2003.
- Le CODEX Alimentarius s'est réuni les 18 et 19 novembre 2003.
- Le Groupe de travail 1 (GUM) du Comité commun pour les guides en métrologie (JCGM) s'est réuni du 24 au 26 novembre 2003 et du 15 au 17 mars 2004; le Groupe de travail 2 (VIM) s'est réuni du 17 au 21 novembre 2003 et du 8 au 12 mars 2004, ainsi que ses groupes de travail sur les incertitudes et les comparaisons clés.
- Le JCTLM s'est réuni le 1<sup>er</sup> mars 2004.
- Le Groupe de travail commun au CIPM, à l'ILAC et à l'OIML s'est réuni les 3 et 4 mars 2004 au BIPM.
- Le CCTF s'est réuni les 1<sup>er</sup> et 2 avril 2004, précédé d'une réunion du Groupe de travail commun au CCL et au CCTF le 30 mars et d'une réunion des laboratoires contribuant au Temps atomique international (TAI) le 31 mars.
- Le CCQM s'est réuni les 22 et 23 avril 2004, précédé de ses groupes de travail du 15 au 21 avril.
- Le CCU s'est réuni les 13 et 14 mai 2004.
- Une réunion commune au Groupe d'étude sur les comparaisons de gravimètres absolus et du Groupe de travail du CCM sur la gravimétrie s'est tenue les 26 et 27 mai 2004.

### 13.2 Exposés

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

- A. Lambrecht (ENS, Laboratoire Kastler Brossel, France) : L'effet Casimir, théorie et expériences, le 13 novembre 2003.
- P. Juncar (BNM-INM/CNAM, France) : Mesure de vitesse et de déplacement par interférométrie laser hétérodyne – ou « Comment diviser la vitesse de la lumière ? », le 17 décembre 2003.

- W. Bremser (BAM, Allemagne) : General least squares analysis, principles, advantages, implementation, and applications, le 15 janvier 2004.
- Jun Luo (HUST, Chine) : Experimental tests of the photon rest mass, le 28 janvier 2004.

### **13.3 Exposés internes**

- R. Köhler : The ISO/IEC 17025 Quality System and its realization at the BIPM, le 3 février 2004.
- T.J. Witt : Spectrum analysis in dc electrical metrology, voltage measurements with polarity reversals, le 12 février 2004.
- D. Reymann : Comparaison de systèmes Josephson à l'aide de réseaux de type SINIS, le 27 avril 2004.
- M. Esler : Some gas metrology underpinning the ozone project (and a brief digression on the kilogram), le 11 mai 2004.
- F. Arias : Mieux connaître notre planète (ou pourquoi on a eu le prix Descartes), le 8 juin 2004.

## 14 CERTIFICATS ET NOTES D'ÉTUDE

Du 1<sup>er</sup> juillet 2003 au 30 juin 2004, 72 Certificats et 8 Notes d'étude ont été délivrés.

### 14.1 Certificats

#### 2003

N <sup>os</sup>		
50.	10 000 $\Omega$ resistance standard, No. K 201 09 93 30104* .....	Czech Metrology Institute (CMI), Prague, Czech Republic.
51.	10 000 $\Omega$ resistance standard, No. J 203 07 91 30104* .....	Danish Institute of Fundamental Metrology (DFM), Lyngby, Denmark.
52.	Prototype de masse n° 83 .....	Singapour.
53.	Prototype de masse n° 84 .....	République de Corée.
54.	Zener diode voltage standard, No. 648 5005* .....	Czech Metrology Institute (CMI), Brno, Czech Republic.
55.	100 pF capacitance standard, No. 01059 .....	National Research Council of Canada (NRC-INMS), Ottawa, Canada.
56.	Prototype de masse n° 65* .....	Slovaquie.
57.	Prototype de masse n° 53* .....	Pays-Bas.
58.	Ionization chamber in <sup>60</sup> Co gamma-ray, HS 01-102* .....	International Atomic Energy Agency (IAEA).
59.	Ionization chamber in <sup>60</sup> Co gamma-ray, LS 01-115* .....	Id.

---

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

60.	Ionization chamber in gamma-rays, NE 2575-467*.....	Centro Regional de Referencia para la Dosimetría (CRRD), Buenos Aires, Argentina.
61.	Helium-neon laser at 633 nm, PLO3.....	Czech Metrology Institute (CMI), Prague, Czech Republic.
62.	Helium-neon laser at 633 nm, WEO.....	Standards, Productivity and Innovation Board (SPRING), Singapore.
63.	Helium-neon laser at 633 nm, NRC INMS 2 (A 103).....	National Research Council of Canada (NRC-INMS), Ottawa, Canada.
64.	Helium-neon laser at 633 nm, UME-L3.....	Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME), Gebze-Kocaeli, Turkey.
65.	Helium-neon laser at 633 nm, WEO-144.....	Centro Nacional de Metrología (CENAM), Querétaro, Mexique.
66.	Prototype de masse n° 38*.....	Suisse.
67.	Ionization chamber in gamma ray, Exradin A3-22482.....	Hellenic Ionizing Radiation Calibration Laboratory (HIRCL), Athens, Greece.
68.	Helium-neon laser at 633 nm, GUM 1.....	Central Office of Measures (GUM), Warsaw, Poland.
69.	Helium-neon laser at 633nm, INM 125.....	Institut national de métrologie (INM), Paris, France.
70.	Prototype de masse n° 85.....	États-Unis d'Amérique.
71.	Ionization chamber in <sup>60</sup> Co gamma-ray, NE 2561-082* .....	Korea Food and Drug Administration (KFDA), Seoul, Korea.
72.	Susceptibilité magnétique volumique, LNE 03.....	Bureau national de métrologie, Laboratoire national d'essais (BNM- LNE), Paris, France.

73.	Zener diode voltage standard, No. 6 945 016.....	National Centre of Metrology (NCM), Sofia, Bulgaria.
74.	1 kg mass standard in stainless steel, No. T 4.....	National Metrology Institute of Japan (NMIJ/AIST), Tsukuba, Japan.
75.	1 $\Omega$ resistance standard, No. 1711458*.....	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), Rio de Janeiro, Brazil.
76.	1 $\Omega$ resistance standard, No. 1883427*.....	Id.
77.	10 000 $\Omega$ resistance standard, No. 43007*.....	Id.
78.	1 kg mass standard in stainless steel, No. M001.....	National Metrology Laboratory (NML-SIRIM), Shah Alam, Malaysia.
79.	Ionization chamber in $^{60}\text{Co}$ gamma-ray, NE 2571-3108*.....	Hellenic Ionizing Radiation Calibration Laboratory (HIRCL), Athens, Greece.

**2004**

N <sup>os</sup>		
1.	1 $\Omega$ resistance standard, No. 1749269*.....	Federal Bureau of Measures and Precious Metals (SZMDM), Belgrade, Serbia and Montenegro.
2.	1 $\Omega$ resistance standard, No. 1755134*.....	Id.
3.	1 $\Omega$ resistance standard, No. 1758735*.....	Id.

4.	1 $\Omega$ resistance standard, No. 1758737*.....	Federal Bureau of Measures and Precious Metals (SZMDM), Belgrade, Serbia and Montenegro.
5.	10 000 $\Omega$ resistance standard, No. 270356.....	Id.
6.	Étalon de résistance de 1 $\Omega$ , n° S-64174*.....	Service de la métrologie (SMD), Bruxelles, Belgique.
7.	Étalon de résistance de 1 $\Omega$ , n° 1870791*.....	Id.
8.	Étalon de résistance de 10 000 $\Omega$ , n° 43021*.....	Id.
9.	Étalon de résistance de 10 000 $\Omega$ , n° 43024*.....	Id.
10.	Étalon de résistance de 100 $\Omega$ , n° A2020199SR102.....	Id.
11.	Étalon de tension à diode de Zener, n° 5740201*.....	Id.
12.	Zener diode voltage standard, No. 3885037.....	Federal Bureau of Measures and Precious Metals (SZMDM), Belgrade, Serbia and Montenegro.
13.	Ionization chamber in low-energy x-rays, PTW 23344-620*.....	Säteilyturvakeskus (STUK), Helsinki, Finland.
14.	Ionization chamber in low-energy x-rays, NE 2536/3-R17827.....	Id.
15.	Ionization chamber in medium-energy x-rays, NE 2561-097*.....	Id.
16.	Ionization chamber in $^{60}\text{Co}$ gamma-ray, NE 2561-097*.....	Id.

17.	Étalon de capacité de 10 pF, n° 01150* .....	Service de la métrologie (SMD), Bruxelles, Belgique.
18.	Étalon de capacité de 100 pF, n° 01061* .....	Id.
19.	Étalon de capacité de 100 pF, n° 01075* .....	Id.
20.	Prototype de masse n° 82.....	National Physical Laboratory (NPL), Teddington, Royaume-Uni.
21.	Volume magnetic susceptibility, NIM-Alac.....	National Institute of Metrology (NIM), Beijing, China.
22.	Volume magnetic susceptibility, NIM-Ti.....	Id.
23.	Ionization chamber in <sup>60</sup> Co gamma-ray, Shonka-346* .....	Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), Madrid, Spain.
24.	Ionization chamber in <sup>137</sup> Cs gamma-ray, Shonka-413* .....	Id.
25.	Ionization chamber in <sup>60</sup> Co gamma-ray, Shonka-416* .....	Id.
26.	Ionization chamber in medium-energy x-rays NE 2571-3125.....	Id.
27.	Ionization chamber in <sup>60</sup> Co gamma-ray, NE 2571-3125.....	Id.
28.	Étalon de résistance de 100 Ω, n° 226750* .....	Service de la métrologie (SMD), Bruxelles, Belgique.
29.	Étalon de capacité de 100 pF, n° 01045* .....	Bureau national de métrologie, Laboratoire national d'essais, (BNM-LNE), Paris, France.

30.	Étalon de capacité de 100 pF, n° 01361.....	Bureau national de métrologie, Laboratoire national d'essais, (BNM-LNE), Paris, France.
31.	Ionization chamber in low-energy x-rays, RC6M-9065.....	Norwegian Radiation Protection Authority (NRPA), Østerås, Norway.
32.	Ionization chamber in low-energy x-rays, NE 2536/3-17786*.....	Id.
33.	Ionization chamber in medium-energy x-rays, PR-06G-8429*.....	Id.
34.	Ionization chamber in <sup>60</sup> Co gamma-ray, PR-06G-8429*.....	Id.
35.	Ionization chamber in <sup>60</sup> Co gamma-ray, NE 2561-099*.....	Id.
36.	Ionization chamber in gamma-ray, Exradin A3-229.....	Id.
37.	Zener diode voltage standard, No. 612 0008.....	National Metrology Laboratory (NML-SIRIM), Shah Alam, Malaysia.
38.	Helium-neon laser at 633 nm, MR13.....	Mittatekniikan Keskus/Centre for Metrology and Accreditation (MIKES), Helsinki, Finland.
39.	Zener diode voltage standard, No. 8140006.....	National Institute for Standards (NIS), Cairo, Egypt.
40.	100 pF capacitance standard, No. 01192.....	Mittatekniikan Keskus/Centre for Metrology and Accreditation (MIKES), Helsinki, Finland.

- |     |  |   |
|-----|--|---|
| 41. | Volume magnetic susceptibility,<br>NML-Alac..... | National Measurement<br>Laboratory (NML),<br>West Lindfield, Australia. |
| 42. | Volume magnetic susceptibility,<br>NML-Ti.....   | Id.   |

## 14.2 Notes d'étude

### 2003

- N<sup>OS</sup>
- |    |  |  |
|----|--|--|
| 4. | 10 pF capacitance standard,<br>No. 01060.....                      | National Research<br>Council of Canada (NRC-<br>INMS), Ottawa, Canada.   |
| 5. | Ionization chamber<br>in medium-energy x-rays,<br>NE 2577-239..... | Bureau national de<br>métrologie, Laboratoire<br>national Henri Becquerel<br>(BNM-LNHB), Gif-sur-<br>Yvette, France. |

### 2004

- |    |  |  |
|----|--|--|
| 1. | Étalon de capacité de 10 pF,<br>n° 01149.....  | Service de la métrologie<br>(SMD), Bruxelles,<br>Belgique.   |
| 2. | 10 pF capacitance standard,<br>No. 01194.....  | Mittatekniikan<br>Keskus/Centre for<br>Metrology and<br>Accreditation (MIKES),<br>Helsinki, Finland. |
| 3. | 10 pF capacitance standard,<br>No. 01195.....  | Id.  |
| 4. | 100 pF capacitance standard,<br>No. 01193..... | Id.  |
| 5. | 10 pF capacitance standard,<br>No. 3896.....   | National Physical<br>Laboratory of Israel<br>(INPL), Jerusalem, Israel.                              |
| 6. | 100 pF capacitance standard,<br>No. 3974.....  | Id.  |

## **15 FINANCES, ADMINISTRATION ET SERVICES GÉNÉRAUX (B. PERENT)**

La petite équipe efficace de l'administration est responsable des finances et de l'administration centrale. La section s'occupe non seulement des activités fondamentales liées aux finances et à l'administration, mais aussi du personnel, des relations avec les États membres et avec l'administration française, de diverses questions légales, ainsi que d'une multitude d'activités demandant une réponse rapide, telles que les arrangements pour le passage en douane en France et à l'étranger, en douceur et en toute sécurité, des équipements pour les étalonnages et les comparaisons.

Avec l'atelier, la section s'occupe du site et de son entretien d'un point de vue général, et avec le secrétariat elle contribue à l'organisation d'un nombre croissant de réunions, y compris la Conférence générale et l'école d'été du BIPM.

Pendant la période couverte par ce rapport, le BIPM a acheté pour environ 3 millions d'euros de biens, équipements et services et son service d'achat a été capable de négocier des économies budgétaires importantes. Ces économies sont supérieures aux frais correspondants de gestion. Cette année la section a mis en place un nouveau logiciel qui a accéléré nos services en ligne d'achat et de validation et a réduit les tâches administratives des sections scientifiques.

## 15.1 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 2003.

### 15.1.1 Compte I : fonds ordinaires\*

Actif au 1 <sup>er</sup> janvier 2003			<b>6 796 242,47</b>
<b>Recettes</b>			
Recettes budgétaires			9 577 708,90
Taxes sur les achats remboursées			442 814,83
Total des recettes			<b>10 020 523,73</b>
<b>Dépenses</b>			
Dépenses budgétaires			9 412 016,08
Dépenses pour l'installation des laboratoires de métrologie en chimie**			161 471,02
Achat de platine iridié			85 236,19
Différences de change			6 128,93
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 2003			185 002,63
Taxes sur les achats remboursables			250 733,87
Total des dépenses			<b>10 100 588,72</b>
Actif au 31 décembre 2003			<b>6 716 177,48</b>
<b>Détail des recettes budgétaires</b>			
Versement de contributions :			
Au titre de l'exercice 2003	7 814 774,33	} 8 923 879,26	} 9 011 758,68
Au titre de l'exercice 2002	782 670,20		
Au titre de l'exercice 2001	95 357,73		
Au titre de l'exercice 2000 et antérieurs	147 308,93		
Au titre de l'exercice 2004	83 768,07		
Prélèvement sur le compte « Remboursement aux États »		87 879,42	
Versement de souscriptions :			
Au titre de l'exercice 2003		117 790,65	} 124 239,58
Au titre de l'exercice 2002		1 901,93	
Au titre de l'exercice 2004		4 547,00	
Intérêts des fonds			284 275,60
Abonnements à <i>Metrologia</i>			60 820,75
Recettes diverses			} 96 614,29
• cession de prototypes (kg)		71 469,29	
• divers		25 145,00	
Total des recettes			<b>9 577 708,90</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, en 2001 à 297 754,46 euros et en 2002 à 475 575,05 euros.

*Versement des contributions.* — Les versements de contributions effectués au cours de l'année 2003 s'élèvent à 8 923 879,26 euros, dont 7 814 774,33 euros au titre de l'exercice 2003, 83 768,07 euros au titre de l'exercice 2004 et 1 025 336,86 euros au titre des exercices antérieurs.

*Dépenses du Compte I.* — Les dépenses budgétaires en 2003 se sont élevées à 9 412 016,08 euros pour un budget voté s'élevant à 9 836 700 euros.

### Détail des dépenses budgétaires

Chapitres	Dépenses de l'exercice	Budget voté	Économies	Dépassements
<i>A. Dépenses de personnel :</i>				
1. Traitements	4 237 038,19	4 297 000	59 961,81	—
2. Allocations familiales et sociales	963 269,30	5 661 750,88	—	94 369,30
3. Charges sociales (a)	461 443,39	467 600	6 156,61	—
<i>B. Contribution à la Caisse de retraite (b) :</i>				
	1 438 000,00	1 438 000	—	—
<i>C. Services généraux :</i>				
1. Chauffage, eau, électricité	162 836,90	159 200	—	3 636,90
2. Assurances	34 235,19	31 000	—	3 235,19
3. Publications	40 227,57	108 000	67 772,43	—
4. Frais de bureau	120 159,82	150 000	29 840,18	—
5. Frais de réunions	169 850,96	1 022 816,02	1 194 200	12 149,04
6. Voyages et transports de matériel	319 090,82	349 000	29 909,18	—
7. Bibliothèque	144 331,84	177 000	32 668,16	—
8. Bureau du Comité	32 082,92	38 000	5 917,08	—
<i>D. Dépenses de laboratoires :</i>				
	987 454,06	1 211 000	223 545,94	—
<i>E. Dépenses de bâtiments (c) :</i>				
(travaux d'entretien et de rénovation) :	229 173,68	300 000	70 826,32	—
<i>F. Frais divers et imprévus (d) :</i>				
	72 821,44	60 000	—	12 821,44
<b>Totaux</b>	<b>9 412 016,08</b>	<b>9 836 700</b>	<b>538 746,75</b>	<b>114 062,83</b>

(a) Comprenant un virement de 63 198,82 euros au Compte II (Caisse de retraite).

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

(c) Comprenant un virement de 1 584,00 euros au Compte IV (Caisse de prêts sociaux).

## 15.1.2 Compte II : caisse de retraite

---

Actif au 1 <sup>er</sup> janvier 2003	10 895 038,83
<b>Recettes</b>	
Retenues sur les traitements	378 863,92
Virement du Compte I*	1 532 976,29
Intérêts des fonds	495 648,48
Total des recettes	<b>2 407 488,69</b>
<b>Dépenses</b>	
Pensions servies	1 721 069,08
Remboursement de cotisations	31 527,07
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 2003	309 564,93
Total des dépenses	<b>2 062 161,08</b>
Actif au 31 décembre 2003	<b>11 240 366,44</b>

---

\* Comprenant un virement de 63 198,82 euros provenant des économies réalisées sur l'assurance maladie (*BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 1994, **62**, 19).

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

Ce compte n'a enregistré aucun mouvement en 2003.

## 15.1.4 Compte IV : caisse de prêts sociaux

Actif au 1 <sup>er</sup> janvier 2003 hors créances	<b>83 904,65</b>
<b>Recettes</b>	
Amortissements partiels des prêts	
Capital	51 778,24
Intérêts	1 942,58
Virement du Compte I	1 584,00
Intérêts des fonds	3 670,69
Total des recettes	<b>58 975,51</b>
<b>Dépenses</b>	
Prêts consentis en cours d'année	51 300,00
Total des dépenses	<b>51 300,00</b>
Actif au 31 décembre 2003 hors créances	<b>91 580,16</b>
<b>Créances de la caisse de prêts sociaux</b>	
Créances au 1 <sup>er</sup> janvier 2003	118 522,68
Créances nouvelles en cours d'année	51 300,00
Amortissements partiels des prêts (capital)	– 51 778,24
Créances au 31 décembre 2003	<b>118 044,44</b>
Actif au 31 décembre 2003 créances incluses	<b>209 624,60</b>

## 15.1.5 Compte V : réserve pour les bâtiments

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

15.1.6 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.

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

---

Actif au 1 <sup>er</sup> janvier 2003	<b>630 883,82</b>
<b>Recettes</b>	
Intérêts des fonds	26 211,87
Total des recettes	<b>26 211,87</b>
<b>Dépenses</b>	
Subvention des cotisations des retraités	31 254,27
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 2003	16 771,93
Total des dépenses	<b>48 026,20</b>
Actif au 31 décembre 2003	<b>609 069,49</b>

---

## 15.1.8 Bilan au 31 décembre 2003

Compte I « Fonds ordinaires »	6 716 177,48
Compte II « Caisse de retraite »	11 240 366,44
Compte III « Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique »	0,00
Compte IV « Caisse de prêts sociaux »	209 624,60
Compte V « Réserve pour les bâtiments »	0,00
Compte VI « <i>Metrologia</i> »	0,00
Compte VII « Fonds de réserve pour l'assurance maladie »	609 069,49
<b>Actif net</b>	<b>18 775 238,01</b>
Cet actif net se décompose comme suit :	
a. Fonds déposés en banque :	
1° En euros	12 865 935,89
2° En dollars américains (1,263 USD = 1 EUR)	1 989 974,92
3° En francs suisses (1,557 9 CHF = 1 EUR)	129,91
4° En livres sterling (0,704 8 GBP = 1 EUR)	1 119 549,69
5° En dollars canadiens (1,623 4 CAD = 1 EUR)	695 376,99
6° En couronnes suédoises (9,08 SEK = 1 EUR)	136 604,78
7° En couronnes norvégiennes (8,414 1 NOK = 1 EUR)	136 082,50
8° En couronnes danoises (7,445 DKK = 1 EUR)	1 891 262,86
<b>Total des fonds déposés en banque</b>	<b>18 834 917,54</b>
b. Espèces en caisse :	
1° En euros	8 000,63
2° En dollars américains (1,263 USD = 1 EUR)	671,01
3° En francs suisses (1,557 9 CHF = 1 EUR)	85,50
4° En livres sterling (0,704 8 GBP = 1 EUR)	92,22
5° En yens (135,05 JPY = 1 EUR)	209,18
6° En dollars canadiens (1,623 4 CAD = 1 EUR)	571,44
7° En dollars australiens (1,680 2 AUD = 1 EUR)	119,03
8° En couronnes norvégiennes (8,414 1 NOK = 1 EUR)	89,61
9° En couronnes danoises (7,445 NOK = 1 EUR)	13,43
10° En dollars de Singapour (2,145 SGD = 1 EUR)	71,79
11° En couronnes slovaques (41,17 SKK = 1 EUR)	1,21
<b>Total des espèces en caisse</b>	<b>9 925,05</b>
<b>Actif brut (a + b)</b>	<b>18 844 842,59</b>
c. Créances de la Caisse de prêts sociaux	118 044,44
d. Provision pour remboursement aux États à déduire (1)	-187 649,02
<b>Actif net</b>	<b>18 775 238,01</b>

(1) Compte « Remboursement aux États »	
Situation au 1 <sup>er</sup> janvier 2003	206 683,05
Versements	
Versement par l'Argentine du solde de sa contribution de 1999	59 087,28
Versement par le Pakistan du solde de sa contribution de 2000	9 758,11
Total des versements	<b>68 845,39</b>
Remboursements aux États	
Compensation du remboursement d'avances faites pour l'Argentine	87 879,42
Total des remboursements	<b>87 879,42</b>
Situation au 31 décembre 2003	<b>187 649,02</b>

## 15.2 Personnel

### 15.2.1 Engagements

- M. Sammy Courte, né le 6 juin 1979 à Rennes (France), de nationalité française, précédemment technicien dans une société privée française, a été engagé au grade de *technicien* dans la section des rayonnements ionisants à dater du 12 novembre 2003.
- M. Jeffrey H. Williams, né le 13 avril 1956 à Swansea (Royaume-Uni), de nationalité britannique, précédemment responsable de la communication chez Leverhulme Trust à Londres (Royaume-Uni), a été engagé le 1<sup>er</sup> décembre 2003 au grade de *physicien principal*, comme rédacteur de *Metrologia* et responsable de la section des publications du BIPM.
- Mme Maria J. Fernandes, née le 28 mars 1951 à Bogas de Baixo (Portugal), de nationalité portugaise, précédemment femme au foyer, a été engagée comme *agent d'entretien* contractuelle à dater du 2 février 2004.
- Mme Pauline Barat, née le 13 avril 1983 à Maisons-Alfort (France), de nationalité française, diplômée de l'Institut universitaire de technologie d'Orsay (France), a été engagée au grade de *technicien* dans la section des masses à dater du 19 avril 2004.
- Mme Cecilia Kessler, née le 24 mars 1969 à Pergamino (Argentine), de nationalité argentine, précédemment *chercheur associé* dans la section des rayonnements ionisants, a été engagée au grade de *physicien* à dater du 22 avril 2004.
- Mme Arminda Da Ponte, née le 25 septembre 1963 à Santiago de Litem Pombal (Portugal), de nationalité portugaise, précédemment femme au foyer, a été engagée comme *agent d'entretien* contractuelle à dater du 14 juin 2004.
- Mme Stéphanie Maniguet, née le 9 octobre 1972 à Saint-Julien-en-Genevois (France), de nationalité française, précédemment *chercheur associé*, a été engagée au grade de *chimiste* à dater du 17 juin 2004, pour travailler au développement et à la maintenance de la base de données du BIPM sur les comparaisons clés.

### 15.2.2 Promotions et changements de grade

- M. Andrew J. Wallard, *directeur désigné*, a pris le poste de *directeur* du BIPM à dater du 1<sup>er</sup> janvier 2004, conformément à la décision prise par le CIPM lors de sa 89<sup>e</sup> session en octobre 2000.
- M. Leonid Vitouchkine\*, *physicien principal* dans la section des longueurs, a été promu au grade de *physicien chercheur principal* à dater du 1<sup>er</sup> janvier 2004.
- M. Roland Goebel\*, *physicien* dans la section d'électricité, a été promu au grade de *physicien principal* à dater du 1<sup>er</sup> janvier 2004.
- M. Alain Picard\*, *physicien* dans la section des masses, a été promu au grade de *physicien principal* à dater du 1<sup>er</sup> janvier 2004.
- Mme Daniela Spelzini Etter, *secrétaire comptable* dans la section finance et administration, a été promue au grade de *comptable principal* à dater du 1<sup>er</sup> janvier 2004.
- M. Philippe Roger, *technicien* dans la section des rayonnements ionisants, a été promu au grade de *technicien principal* à dater du 1<sup>er</sup> janvier 2004.
- M. Manuel Nonis, *technicien* dans la section des rayonnements ionisants, a été promu au grade de *technicien principal* à dater du 1<sup>er</sup> janvier 2004.

### 15.2.3 Changements et transferts de postes

Suite à la décision prise par le CIPM de fermer la section de photométrie et radiométrie, M. Michael Stock, *physicien principal*, M. Roland Goebel, *physicien principal* et M. Stéphane Solve, *assistant*, ont été transférés à la section d'électricité à dater du 1<sup>er</sup> janvier 2004.

- M. Michael Stock, *physicien principal*, précédemment responsable de la section de photométrie et radiométrie, a été nommé responsable des projets spéciaux à dater du 1<sup>er</sup> janvier 2004.
- M. Rainer Köhler, précédemment responsable de la section Informatique et Système Qualité, a été chargé des liaisons avec l'ISO et l'ILAC en plus de ses responsabilités de responsable Qualité à dater du 1<sup>er</sup> janvier 2004.

---

\* Ces promotions résultent d'un vote au CIPM lors de sa 92<sup>e</sup> session en octobre 2003.

- M. Jeffrey H. Williams, responsable des publications du BIPM, a aussi été nommé responsable du groupe informatique à dater du 1<sup>er</sup> janvier 2004.
- M. Laurent Le Mée, précédemment *assistant* dans la section Informatique et Système Qualité, a été transféré à la section Publications et informatique à dater du 1<sup>er</sup> janvier 2004, avec le titre d'*ingénieur informaticien*.
- M. Gerald Petitgand, *technicien* dans la section Informatique et Système Qualité, a été transféré à la section Publications et informatique à dater du 1<sup>er</sup> janvier 2004.

#### 15.2.4 Changements de titres

De nouveaux titres ont été ajoutés au Statut du personnel du BIPM à dater du 1<sup>er</sup> janvier 2004 pour tenir compte de la qualification actuelle de :

- M. François Auset, précédemment *assistant* à la section Finance et administration, qui porte le titre d'*acheteur* depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2004.
- M. Pascal Lemartrier, précédemment *maçon* à la section Atelier et entretien des bâtiments, qui porte le titre de *peintre* depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2004.

#### 15.2.5 Chercheurs associés

- M. Harold V. Parks, chercheur associé à la section des masses depuis le 16 août 2001, a quitté le BIPM le 31 décembre 2003 à la fin de son contrat pour prendre un poste de post-doctorant au Joint Institute for Laboratory Astrophysics of Colorado, Boulder (États-Unis).

#### 15.2.6 Départs

- Mme Rosario Vara, *femme de ménage* contractuelle, a pris sa retraite le 31 août 2003 après 31 ans de service.
- M. Jacques Azoubib, *physicien principal* dans la section du temps, a pris sa retraite le 30 septembre 2003 après 30 ans de service.
- M. Jean Hostache, *technicien métrologiste* dans la section des masses, a pris sa retraite le 30 septembre 2003 après presque 38 ans de service.

- M. Christian Veyradier, *technicien principal* dans la section des rayonnements ionisants, a pris sa retraite le 30 septembre 2003 après 40 ans de service.
- Mme Michèle Thomas, *technicien principal* dans la section du temps, a pris sa retraite le 30 septembre 2003 après presque 37 ans de service.
- M. Christian Colas, *technicien métrologue* dans la section des rayonnements ionisants, a pris sa retraite le 31 décembre 2003 après 41 ans de service.
- M. Daniel Avrons, *technicien principal* dans la section d'électricité, a pris sa retraite le 31 décembre 2003 après 32 ans de service.
- M. Peter W. Martin, *physicien principal*, rédacteur de *Metrologia* et responsable des publications du BIPM depuis le 1<sup>er</sup> juin 1998, a pris sa retraite le 31 janvier 2004 après presque 6 ans de service.

À l'occasion de leur départ à la retraite, le directeur les a remerciés pour leur travail efficace et leur dévouement pendant toutes ces années au BIPM.

- M. Sokhona Youssouf, *agent d'entretien* contractuel depuis le 1<sup>er</sup> juin 2003, a quitté le BIPM le 15 décembre 2003.
- M. Terence J. Quinn, *directeur* du BIPM depuis le 1<sup>er</sup> août 1988, a pris sa retraite le 31 décembre 2003 après 26 ans de service marqués par des progrès émérites dans les activités du BIPM.

Lors de la 92<sup>e</sup> session du CIPM, les membres du Comité lui ont exprimé leur gratitude pour ses activités au poste de directeur du BIPM.

### 15.3 Bâtiments

Le site du BIPM à Sèvres comprend plusieurs bâtiments historiques et un terrain étendu. Certains bâtiments servent de logements et bureaux, d'autres de laboratoires. Le coût d'entretien de ces bâtiments historiques et celui des bâtiments plus modernes augmente. L'équipe chargée du site participe à son entretien et aux travaux de remise en état selon les moyens disponibles. La dernière Conférence générale a reconnu que la part du budget allouée à l'entretien des bâtiments et aux équipements de laboratoire appropriés a diminué ces dernières années et a soutenu la proposition de revenir à la situation antérieure. Le BIPM fait appel dès que possible à des services sous contrat, par exemple pour le nettoyage et le conditionnement d'air, mais un service sur place est indispensable, car il assure l'aide immédiate pour les

travaux urgents et une équipe dévouée de personnes qui accordent la priorité aux soins de l'environnement du BIPM et de son personnel.

15.3.1 Grand Pavillon

- Rénovation de l'appartement du directeur.
- Réfection de la peinture du couloir.

15.3.2 Petit Pavillon

- Peinture du premier étage de l'appartement du gardien.

15.3.3 Observatoire

- Réfection de la salle 12.
- Réfection de la peinture d'un bureau au 1<sup>er</sup> étage.

15.3.4 Bâtiment des rayonnements ionisants

- Réfection des salles R21 et R22.
- Réfection des peintures des salles R13, R19 et R20.

15.3.5 Nouveau Pavillon

- Réfection de la décoration du bureau du directeur.

15.3.6 Tous les bâtiments

- Remplacement des disjoncteurs différentiels dans le local du transformateur pour assurer la protection de tous les bâtiments.

#### **15.4 Voyages (conférences et visites) : section finance, administration et services généraux**

B. Perent s'est rendue à :

- Bruxelles (Belgique), les 27 et 28 avril 2004, pour assister au 3<sup>e</sup> atelier sur les retraites dans les organisations internationales organisé par la section commune d'administration des pensions des organisations coordonnées et à la caisse de retraite du personnel des Nations unies, dans les locaux d'Eurocontrol : exposé sur l'historique et le mode de fonctionnement actuel de la caisse de retraite du BIPM ;
- Washington DC (États-Unis), les 27 et 28 mai 2004, pour assister à une réunion sur les privilèges et immunités dans les organisations internationales organisée par l'Institut international des sciences administratives, dans les locaux de la Banque mondiale.

#### **16 SECRÉTARIAT (F. JOLY)**

Le secrétariat du BIPM est composé d'un petit groupe de quatre personnes, dont la responsable de la section, qui est aussi l'assistante personnelle du directeur du BIPM, et la bibliothécaire du BIPM, qui participe également à la production des publications du BIPM et à leur traduction en français.

La charge de travail du secrétariat continue à s'accroître en raison de l'augmentation du nombre des réunions au BIPM (environ 30 % de plus que l'an passé) . Cette année se sont tenus entre autres l'École d'été du BIPM sur la métrologie, un certain nombre de réunions des Comités consultatifs et de leurs groupes de travail et la Conférence générale des poids et mesures. Pour faire face à l'organisation de ces réunions et à l'évolution des tâches administratives, le secrétariat continue à se former aux outils informatiques. Les documents principaux des Comités consultatifs et ceux assurant la communication avec les États membres et avec les directeurs des laboratoires nationaux de métrologie sont accessibles par l'intermédiaire du site Web du BIPM.

## 17 ATELIER DE MÉCANIQUE ET ENTRETIEN DU SITE (J. SANJAIME)

L'atelier du BIPM offre une contribution fondamentale et très appréciée à notre programme de travail. Un grand nombre d'activités sont mentionnées dans les rapports des sections, mais sa mission essentielle est d'étayer le programme technique par la construction d'équipements spécialisés et, si nécessaire, d'apporter son aide lorsque les laboratoires nationaux de métrologie ou autres apportent des objets à étalonner. Dans ce dernier cas, le BIPM a souvent besoin d'équipements annexes très rapidement pour régler des problèmes ou pour des réparations si un équipement est endommagé lors du transport, afin que l'étalonnage se passe bien. Il est indispensable d'agir rapidement pour être efficace dans les services rendus aux membres du personnel des laboratoires nationaux de métrologie qui viennent au BIPM pour des périodes courtes.

L'atelier effectue des travaux mécaniques de haute précision pour les sections scientifiques du BIPM. Parmi les projets récents nous mentionnerons en particulier :

- le banc optique pour le photomètre de référence étalon de la section de chimie, en juillet 2003 ;
- le condensateur calculable, en collaboration avec le NML-CSIRO (Australie), en avril 2004 : étude, conception et fabrication d'un appareil de contrôle pour les barres de haute précision.

De plus, l'atelier est le seul au monde à fabriquer des prototypes du kilogramme en platine iridié, en exclusivité pour les membres de la Convention du Mètre ; il utilise pour cela l'équipement spécialisé et l'expertise unique du personnel de l'atelier.

Pendant la période couverte par ce rapport, l'atelier a fabriqué les prototypes de masse suivants :

- six prototypes du kilogramme (n<sup>os</sup> 86, 87, 88, 89, 90 et 91) (les prototypes n<sup>os</sup> 86 et 87 ont été remis en juillet 2003 ; les prototypes n<sup>os</sup> 88 et 89 en août 2003, et les prototypes n<sup>os</sup> 90 et 91 en décembre 2003) ;
- un prototype du kilogramme pour le BIPM (remis en juillet 2004) ;
- deux prototypes de 500 g (remis en avril 2004).



## LISTE DES SIGLES UTILISÉS DANS LE PRÉSENT VOLUME

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

AGAL**	Australian Government Analytical Laboratories, <i>voir</i> NMIA
AIEA	Agence internationale de l'énergie atomique
AIG	Association internationale de géodésie
AIST*	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, <i>voir</i> NMIJ/AIST
AMCTM	Advanced Mathematical and Computational Tools in Metrology Conference
ANSTO	Australian Nuclear Science and Technology Organization, Menai (Australie)
AOS	Astrogeodynamical Observatory, Borowiec (Pologne)
APL	Applied Physics Laboratory, John Hopkins University, Laurel (États-Unis)
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)
BEV	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Vienne (Autriche)
BIML	Bureau international de métrologie légale
BMZ	Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, Bonn et Berlin (Allemagne)
BNM	Bureau national de métrologie, Paris (France)
BNM-INM	Bureau national de métrologie, Institut national de métrologie, Paris (France)
BNM-LNE	Bureau national de métrologie, Laboratoire national d'essais, Paris (France)

---

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

\*\* Depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2004, ce laboratoire fait partie du National Measurement Institute, Australie, NMIA.

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 : métrologie en chimie
CCRI	Comité consultatif des rayonnements ionisants
CCT	Comité consultatif de thermométrie
CCTF	Comité consultatif du temps et des fréquences
CCU	Comité consultatif des unités
CEI	Commission électrotechnique internationale
CENAM	Centro Nacional de Metrología, Querétaro (Mexique)
CENAMET	Centro Nacional de Metrología de Panamá (Panamá)
CGGTTS	Groupe de travail du CCTF sur la normalisation des comparaisons d'horloges utilisant le GPS et le GLONASS/CCTF Working Group on GPS and GLONASS Time Transfer Standards
CGPM	Conférence générale des poids et mesures
CIATEC	Centro de Investigación y Asesoría Tecnológica A.C., Guanarato (Mexique)
CIEMAT	Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Madrid (Espagne)
CIPM	Comité international des poids et mesures
CLEO	Conference on Lasers and Electro Optics
CMI	Český Metrologický Institut/Czech Metrological Institute, Prague et Brno (Rép. tchèque)
CMS-ITRI	Centre for Measurement Standards of the Industrial Technology Research Institute (Taipei chinois)
CNAM	Conservatoire national des arts et métiers, Paris (France)
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)
CONICET	Argentine Council of Research
COPUOS	Committee on the Peaceful Uses of Outer Space of the United Nations
CPC	Conventions Product Centre de l'IERS, <i>voir</i> IERS
CPEM	Conference on Precision Electromagnetic Measurements
CRRD	Centro Regional de Referencia para la Dosimetría, Buenos Aires (Argentine)
CRL*	Communications Research Laboratory, <i>voir</i> NICT
CSIR-NML	Council for Scientific and Industrial Research, National Metrology Laboratory, Pretoria (Afrique du Sud)
CSIRO**	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, <i>voir</i> NML-CSIRO
DFM	Danish Institute of Fundamental Metrology, Lyngby (Danemark)
EC-JRC	Communauté européenne, Joint Research Centre, Bruxelles (Belgique)
ECNU	East China Normal University, Shanghai (Chine)
EFTF	European Frequency and Time Forum
EIM	Hellenic Institute of Metrology, Athènes (Grèce)
EMPA	Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research, Saint-Gall (Suisse)
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)
ERLAP	European Reference Laboratory for Air Pollution, Ispra (Italie)
EUROMET	European Collaboration in Measurement Standards
FCS	Frequency Control Symposium
FMI	Finnish Meteorological Institute, Helsinki (Finlande)
GREX	Groupe de recherche du CNRS : Gravitation et expériences (France)
GT-RF	Groupe de travail du CCEM pour les grandeurs aux radiofréquences
HIRCL	Hellenic Ionizing Radiation Calibration Laboratory, Athènes (Grèce)

HUST	Huazhong University of Science and Technology (Chine)
IAC	International Avogadro Coordination Committee
ICAG	International Conference of Absolute Gravimeters
ICC	International Chamber of Commerce, Genève (Suisse)
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)
IEM DEP	Instituto de Engenharia Mecânica da EFEI, Itajubá-MG (Brésil)
IEN	Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin (Italie)
IERS	Service de la rotation terrestre international/International Earth Rotation Service
IFCC	Fédération internationale de chimie clinique et médecine de laboratoire/International Federation of Clinical Chemistry and Laboratory Medicine
IFIN	Institutul de Fizica si Inginerie Nucleara, Bucarest (Roumanie)
IGLOS-PP	International GLONASS Service Pilot Project
IGN	Institut géographique national, Saint-Mandé (France)
IGS	International GPS Service for Geodynamics
ILAC	International Laboratory Accreditation Cooperation
IMGC	Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin (Italie)
IMGC-CNR	Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Turin (Italie)
INM*	Institut national de métrologie, <i>voir</i> BNM-INM
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, Rio de Janeiro (Brésil)
INMS*	Institute of National Measurement Standards, <i>voir</i> NRC
INPL	National Physical Laboratory of Israel, Jérusalem (Israël)
INTI	Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Buenos Aires (Argentine)
INTMET	EUROMET Interdisciplinary Metrology Group
ION	Institute of Navigation, Alexandria, VA (États-Unis)
IOP	Institute of Physics, Londres (Royaume-Uni)
IOPP	Institute of Physics Publishing, Londres (Royaume-Uni)

IPE RAS	Center of Geophysical Data Studies and Telematics Applications, Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Moscou (Féd. de Russie)
IPQ	Instituto Português da Qualidade, Lisbonne (Portugal)
IRA	Institut de radiophysique appliquée, Lausanne (Suisse)
IRMM	Institut des matériaux et mesures de référence, Commission européenne/Institute for Reference Materials and Measurements, European Commission
ISCIII	Instituto de Salud Carlos III, Madrid (Espagne)
ISO	Organisation internationale de normalisation
ISO CASCO	Organisation internationale de normalisation, Comité pour l'évaluation de la conformité
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)
KFDA	Korea Food and Drug Administration, Séoul (Rép. de Corée)
KRISS	Korea Research Institute of Standards and Science, Daejeon (Rép. de Corée)
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, <i>voir</i> BNM-LNHB
LNMRI	Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes, Rio de Janeiro (Brésil)
MAC	UK Department of Trade and Industry Measurement Advisory Committee
METAS	Office fédéral de métrologie et d'accréditation, Bern et Wabern (Suisse)
MIKES	Mittatekniikan Keskus/Centre for Metrology and Accreditation, Helsinki (Finlande)
MRA	Arrangement de reconnaissance mutuelle/ Mutual Recognition Arrangement
NARL**	National Analytical Reference Laboratory, Canberra and Pymble (Australie), <i>voir</i> NMIA
NCM	National Centre of Metrology, Sofia (Bulgarie)
NCSLI	National Conference of Standards Laboratories, Boulder, CO (États-Unis)
NEL	National Engineering Laboratory, Glasgow (Royaume-Uni)
NICT	National Institute of Information and Communications Technology, Tokyo (Japon)
NIM	National Institute of Metrology, Beijing (Chine)
NIMT	National Institute of Metrology, Bangkok (Thaïlande)
NIS	National Institute of 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)
NMIA	National Measurement Institute, Australia, Lindfield (Australie)
NMIJ/AIST	National Metrology Institute of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Tsukuba (Japon)
NML	National Measurement Laboratory, West Lindfield (Australie)
NML	National Metrology Laboratory, Dublin (Irlande)
NML CSIRO**	National Measurement Laboratory, CSIRO, Pretoria (Australie), <i>voir</i> NMIA

NPL	National Physical Laboratory, Teddington (Royaume-Uni)
NPLI	National Physical Laboratory of India, New Delhi (Inde)
NRC	Conseil national de recherches du Canada, Ottawa (Canada)
NRPA	Norwegian Radiation Protection Authority, Østerås (Norvège)
NTSC	National Time Service Centre, Lintong (Chine)
OCA	Observatoire de la Côte d'Azur, Grasse (France)
OIML	Organisation internationale de métrologie légale
OMC	Organisation mondiale du commerce
OMH	Országos Mérésügyi Hivatal/National Office of Measures, Budapest (Hongrie)
OMM	Organisation météorologique mondiale
OMP	Observatoire Midi-Pyrénées, Toulouse (France)
OMS	Organisation mondiale de la santé
OP	Observatoire de Paris (France)
ORB	Observatoire royal de Belgique, Bruxelles (Belgique)
PITTCON	Pittsburgh Conference
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig et Berlin (Allemagne)
PTTI	Precise Time and Time Interval Applications and Planning Meeting
RC	Radioisotope Centre, Otwock (Pologne)
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 in Celestial Mechanics, Astrometry and Metrology
SCAG	Study Group on Comparisons of Absolute Gravimeters
SCSLI	National Conference of Standards Laboratories International
SIC	Superintendencia de Industria y Comercio, Bogotá (Colombie)
SIM	Système interaméricain de métrologie/ Sistema Interamericano de Metrología
SIRIM	National Metrology Laboratory (NML-SIRIM), Shah Alam (Malaisie)
SMD	Service de la métrologie, Bruxelles, Belgique
SP	SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut/Swedish National Testing and Research Institute, Borås (Suède)

SPRING	Standards, Productivity and Innovation Board, Singapour (Singapour)
SRC	Space Research Centre of the Polish Academy of Sciences, Varsovie (Pologne)
SSDL	Laboratoires secondaires de dosimétrie de l'AIEA/ Secondary Standards Dosimetry Laboratories of the IAEA, <i>voir</i> AIEA
STUK	Säteilyturvakeskus, Helsinki (Finlande)
SURAMET	Coopération métrologique sud-américaine (Argentine, Brésil, Chili, Paraguay et Uruguay)
SYRTE*	Systèmes de référence temps espace, <i>voir</i> BNM
SZMDM	Bureau fédéral des mesures et métaux précieux, Belgrade (Serbie-et-Montenegro)
TempMeko	International Symposium on Temperature and Thermal Measurements in Industry and Science
TL	Telecommunication Laboratories, Chung-Li (Taipei chinois)
UAI	Union astronomique internationale
UBA	Umweltbundesamt, Berlin (Allemagne)
UICPA	Union internationale de chimie pure et appliquée
UIT	Union internationale des télécommunications
UME	Ulusal Metroloji Enstitüsü/National Metrology Institute, Marmara Research Centre, Gebze-Kocaeli (Turquie)
UN	Nations unies/United Nations
UNIDO	United Nations Industrial Development Organization
USNO	U.S. Naval Observatory, Washington DC (États-Unis)
USNRL	U.S. Naval Research Observatory, Washington DC (États-Unis)
UWA	University of Western Australia, Crawley WA (Australie)
VERMI	Virtual European Radionuclide Metrology Institute
VNIIFTRI	All-Russian Research Institute for Physical, Technical and Radiophysical Measurements, Gosstandart de Russie, Moscou (Féd. de Russie)
VNIIM	Institut de métrologie D.I. Mendéléev, Gosstandart de Russie, Saint-Pétersbourg (Féd. de Russie)
VSL*	Van Swinden Laboratorium, <i>voir</i> NMI VSL
WGLF	Groupe de travail du CCEM pour les grandeurs aux basses fréquences/CCEM Working Group on Low-frequency Quantities

## 2 Sigles des termes scientifiques

ACES	Atomic Clock Ensemble in Space
CMC	Aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages/ Calibration and Measurement Capabilities
COSSH	Contrôle de produits toxiques pour la santé/Control of Substances Hazardous to Health
DEA	Diplôme d'études approfondies
EAL	Échelle atomique libre
FTIR	Spectrométrie infrarouge par transformée de Fourier/ Fourier Transform Infrared Technique
GLONASS	Global Navigation Satellite System
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GPT	Titration en phase gazeuse/Gas-phase Titration
GUM	Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure/ Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement
HTML	Hypertext Mark-up Language
ICRF	International Celestial Reference Frame
IT	Informatique/Information Technology
IUT	Institut universitaire de technologie
IVS	International VLBI Service
KCDB	Base de données du BIPM sur les comparaisons clés/ BIPM key comparison database
KTP	Potassium Titanyle Phosphate
SI	Système international d'unités
SINIS	Supraconducteur-isolant métal-normal-isolant- supraconducteur
SIR	Système international de référence pour les mesures d'activité d'émetteurs de rayonnement gamma
SIS	Supraconducteur-isolant-supraconducteur
SME	Extension du modèle standard/Standard Model Extension
SRP	Photomètre étalon de référence/Standard Reference Photometer
TA	Temps atomique
TAI	Temps atomique international
TT	Temps terrestre

TWSTFT	Comparaison de temps et de fréquence 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