

**Rapport du directeur sur l'activité et la gestion
du Bureau international des poids et mesures**
(1^{er} juillet 2006 – 30 juin 2007)

Bureau international des poids et mesures

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

(1^{er} juillet 2006 – 30 juin 2007)

Note sur l'utilisation du texte anglais (*voir* page 165)

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 92-822-2225-X

TABLE DES MATIÈRES

États membres 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^{er} juillet 2006 – 30 juin 2007) 19

- 1 Introduction **21**
 - 1.1 Introduction générale et résumé des travaux scientifiques **21**
 - 1.2 Le Système international d'unités (SI) **21**
 - 1.3 L'Arrangement de reconnaissance mutuelle du CIPM (MRA) **23**
 - 1.4 États membres et Associés **23**
 - 1.5 La réunion des directeurs des laboratoires nationaux de métrologie **23**
 - 1.6 Réunion du CIPM **24**
 - 1.7 La Conférence générale des poids et mesures **24**
 - 1.8 Comité mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM (JCRB) **25**
 - 1.9 Comité commun pour les guides en métrologie (JCGM) **26**
 - 1.10 Comité commun pour la traçabilité en médecine de laboratoire (JCTLM) **26**
 - 1.11 Liaisons avec des organisations intergouvernementales et des organismes internationaux **27**
 - 1.12 Journée mondiale de la métrologie **28**
 - 1.13 Commissions du personnel du BIPM **28**
 - 1.14 Travail scientifique du BIPM **29**
 - 1.15 Publications, conférences et voyages du directeur **38**
 - 1.15.1 Publications extérieures **38**
 - 1.15.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **39**
 - 1.16 Activités du directeur en liaison avec des organisations extérieures **40**
- 2 Masse **41**
 - 2.1 Étalonnages **41**
 - 2.1.1 Certificats **41**
 - 2.1.2 Système de gestion de la qualité **41**
 - 2.2 Balances servant aux programmes de recherche en cours de développement **42**

- 2.3 Sorption de vapeur d'eau sur des sphères en silicium **43**
 - 2.4 Projet de collaboration internationale sur la constante d'Avogadro **44**
 - 2.5 Générateur d'humidité **44**
 - 2.6 Artefacts de sorption de 1 kg en platine iridié **45**
 - 2.7 Boite à gants **46**
 - 2.8 Appareil de pesée hydrostatique **46**
 - 2.9 Pression **47**
 - 2.10 Autres activités **48**
 - 2.10.1 Collaboration avec l'Agence spatiale européenne sur le programme LISA **48**
 - 2.10.2 Balance de torsion pour la mesure de G **48**
 - 2.11 Publications, conférences et voyages : section des masses **49**
 - 2.11.1 Publications extérieures **49**
 - 2.11.2 Rapport BIPM **49**
 - 2.11.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites, formation) **49**
 - 2.12 Activités liées au travail des Comités consultatifs **50**
 - 2.13 Visiteurs de la section des masses **51**
 - 2.14 Étudiant à la section des masses **52**
- 3 Temps, fréquences et gravimétrie **52**
- 3.1 Temps atomique international (TAI) et Temps universel coordonné (UTC) **52**
 - 3.2 Algorithmes pour les échelles de temps **53**
 - 3.2.1 Stabilité de l'EAL **53**
 - 3.2.2 Exactitude du TAI **53**
 - 3.2.3 Échelles de temps atomique indépendantes **54**
 - 3.3 Étalons primaires de fréquence et représentations secondaires de la seconde **54**
 - 3.4 Liaisons horaires **55**
 - 3.4.1 Mesures utilisant le code du Global Positioning System (GPS) et du Global Navigation Satellite System (GLONASS) **56**
 - 3.4.2 Mesures de phase et de code des récepteurs géodésiques **56**
 - 3.4.3 Comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite **57**
 - 3.4.4 Incertitudes sur les liaisons horaires du TAI **57**
 - 3.4.5 Étalonnage des liaisons horaires du TAI **57**
 - 3.5 Comparaisons clés **58**
 - 3.6 Pulsars **58**

- 3.7 Références spatio-temporelles **58**
- 3.8 Travaux sur le peigne **59**
- 3.9 Comparaison clé BIPM.L-K11 **59**
- 3.10 Service d'étalonnage et de mesurage **60**
- 3.11 Cuves à iode **60**
- 3.12 Gravimètre FG5-108 **62**
- 3.13 Gravimétrie, recherches théoriques **62**
 - 3.13.1 Essais de troncature des résultats de mesure de g **62**
 - 3.13.2 Correction liée à la distorsion due aux effets de diffraction **63**
 - 3.13.3 Correction liée à la vitesse finie de la lumière **63**
- 3.14 La 7^e comparaison internationale de gravimètres absolus, ICAG-2005 **63**
- 3.15 Étude préliminaire du projet de balance du watt du BIPM du point de vue de la gravimétrie **64**
- 3.16 Publications, conférences et voyages : section du temps, des fréquences et de la gravimétrie **64**
 - 3.16.1 Publications extérieures **64**
 - 3.16.2 Publications du BIPM **65**
 - 3.16.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **65**
- 3.17 Activités en liaison avec des organisations extérieures **68**
- 3.18 Activités liées au travail des Comités consultatifs **69**
- 3.19 Visiteurs de la section du temps, des fréquences et de la gravimétrie **70**
- 3.20 Chercheurs invités **71**
- 4 Électricité **71**
 - 4.1 Potentiel électrique : effet Josephson **71**
 - 4.1.1 Mesures de réseaux de jonctions de Josephson **71**
 - 4.1.2 Mesures de diodes de Zener **72**
 - 4.2 Résistance électrique et impédance **73**
 - 4.2.1 Mesures de résistance en courant continu et effet Hall quantique **73**
 - 4.2.2 Conservation d'un étalon de référence de capacité **74**
 - 4.3 Analyse des séries temporelles de résultats de mesure **75**
 - 4.4 Thermométrie **76**
 - 4.5 Comparaisons clés continues du BIPM d'étalons électriques **76**
 - 4.6 Étalonnages **78**
 - 4.7 Publications, conférences et voyages : section d'électricité **78**
 - 4.7.1 Publications extérieures **78**
 - 4.7.2 Rapports BIPM **79**

- 4.7.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **80**
- 4.8 Activités en liaison avec des organisations extérieures **82**
- 4.9 Activités liées au travail des Comités consultatifs **82**
- 4.10 Visiteurs de la section d'électricité **83**
- 5 Rayonnements ionisants **84**
 - 5.1 Rayons x et γ **84**
 - 5.1.1 Étalons et équipements pour la dosimétrie **84**
 - 5.1.2 Comparaisons de dosimétrie **87**
 - 5.1.3 Étalonnage d'étalons nationaux pour la dosimétrie **87**
 - 5.2 Radionucléides **88**
 - 5.2.1 Comparaison de mesures d'activité d'une solution de ^{55}Fe **88**
 - 5.2.2 Système international de référence (SIR) pour la mesure d'activité de radionucléides émetteurs de rayonnement gamma **89**
 - 5.2.3 Spectrométrie gamma **91**
 - 5.3 Publications, conférences et voyages : section des rayonnements ionisants **91**
 - 5.3.1 Publications extérieures **91**
 - 5.3.2 Rapports BIPM **92**
 - 5.3.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **92**
 - 5.4 Activités en liaison avec des organisations extérieures **95**
 - 5.5 Activités liées au travail des Comités consultatifs **95**
 - 5.6 Visiteurs de la section des rayonnements ionisants **96**
 - 5.7 Chercheurs invités et stagiaires **96**
- 6 Chimie **97**
 - 6.1 Programme sur la métrologie des gaz **97**
 - 6.1.1 Programme de comparaisons de photomètres mesurant l'ozone **97**
 - 6.1.2 Équipement pour les étalons primaires de dioxyde d'azote **99**
 - 6.1.3 Équipement pour les comparaisons d'étalons de monoxyde d'azote **100**
 - 6.2 Programme d'analyse organique **100**
 - 6.2.1 Mise au point des méthodes **101**
 - 6.2.2 Coordination de l'étude pilote CCQM-P20 et mise au point de la comparaison clé CCQM-K55 **102**
 - 6.3 Activités liées au JCTLM **103**
 - 6.4 Activités liées au travail des Comités consultatifs **103**

- 6.5 Comparaisons du CCQM coordonnées par le BIPM **104**
- 6.6 Activités en liaison avec des organisations extérieures **104**
- 6.7 Publications, conférences et voyages : section de chimie **105**
 - 6.7.1 Publications extérieures **105**
 - 6.7.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **105**
- 6.8 Visiteurs de la section de chimie **108**
- 6.9 Chercheurs invités **108**
- 7 Projets spéciaux **108**
 - 7.1 Condensateur calculable **108**
 - 7.2 Balance du watt **109**
 - 7.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) : projets spéciaux **112**
 - 7.3.1 Publications extérieures **112**
 - 7.3.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **112**
 - 7.4 Visiteurs pour les projets spéciaux **113**
 - 7.5 Étudiant : projets spéciaux **114**
- 8 La base de données du BIPM sur les comparaisons clés, KCDB **114**
 - 8.1 Visites au site de la KCDB **114**
 - 8.2 Nouvelle conception du site de la KCDB **115**
 - 8.3 Un nouveau moteur de recherche pour la KCDB **116**
 - 8.4 Informations enregistrées dans la base de données **118**
 - 8.4.1 Comparaisons clés et supplémentaires **118**
 - 8.4.2 Aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages – CMCs **119**
 - 8.5 Publicité et *KCDB Newsletters* **119**
 - 8.6 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) : KCDB **120**
 - 8.7 Activités en liaison avec des organisations extérieures **120**
 - 8.8 Activités liées au travail des Comités consultatifs **121**
 - 8.9 Visiteurs pour la KCDB **122**
- 9 Le Comité mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM, JCRB **122**
 - 9.1 Meilleure aptitude de mesure et aptitude en matière de mesures et d'étalonnages **122**
 - 9.2 Critères pour le choix des pairs habilités à faire l'audit des laboratoires nationaux de métrologie **123**
 - 9.3 Suivi des modifications à apporter aux CMCs après que les résultats des comparaisons sont disponibles **124**
 - 9.4 JCDCMAS **124**

- 9.5 Publications, conférences et voyages : JCRB **125**
 - 9.5.1 Nouveaux documents de l'Arrangement du CIPM **125**
 - 9.5.2 Révision des documents sur l'Arrangement du CIPM **125**
 - 9.5.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **125**
- 9.6 Activités liées au travail des Comités consultatifs **127**
- 9.7 Visiteurs pour le JCRB **127**

- 10 Système Qualité et relations avec l'ISO et l'ILAC, VIM **128**
 - 10.1 Le Système Qualité du BIPM **128**
 - 10.2 Relations avec l'ISO et l'ILAC **128**
 - 10.3 Groupe de travail 2 du JCGM : le VIM **128**
 - 10.4 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **129**

- 11 Publications et informatique **129**
 - 11.1 Rapports du CIPM et de ses Comités consultatifs **129**
 - 11.2 *Metrologia* **130**
 - 11.3 Informatique **131**
 - 11.4 Le site Web du BIPM **132**
 - 11.5 Portail du BIPM sur la métrologie **133**
 - 11.6 Voyages (conférences et visites) : section publications et informatique **134**

- 12 Réunions et exposés au BIPM **134**
 - 12.1 Réunions **134**
 - 12.2 Séminaires externes **135**
 - 12.3 Exposés internes **136**

- 13 Certificats et Notes d'étude **136**
 - 13.1 Certificats **136**
 - 13.2 Notes d'étude **140**

- 14 Finance, administration et services généraux **140**
 - 14.1 Comptes **141**
 - 14.1.1 Compte I : fonds ordinaires **141**
 - 14.1.2 Compte II : caisse de retraite **143**
 - 14.1.3 Compte III : fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique **143**
 - 14.1.4 Compte IV : caisse de prêts sociaux **144**
 - 14.1.5 Compte V : réserve pour les bâtiments **144**
 - 14.1.6 Compte VI : *Metrologia* **145**
 - 14.1.7 Compte VII : fonds de réserve pour l'assurance maladie **145**

- 14.1.8 Bilan au 31 décembre 2006 **146**
- 14.2 Personnel **148**
 - 14.2.1 Engagements **148**
 - 14.2.2 Promotions et changements de grade **148**
 - 14.2.3 Départs **148**
- 14.3 Bâtiments **149**
 - 14.3.1 Grand Pavillon **149**
 - 14.3.2 Petit Pavillon **149**
 - 14.3.3 Observatoire **149**
 - 14.3.4 Bâtiment des rayonnements ionisants **150**
 - 14.3.5 Nouveau Pavillon **150**
 - 14.3.6 Pavillon du Mail **150**
 - 14.3.7 Extérieurs et parc **150**
- 14.4 Voyages : section finance, administration et services généraux **150**
- 15 Secrétariat **151**
- 16 Atelier de mécanique et entretien du site **152**

Liste des sigles utilisés dans le présent volume 153

**ÉTATS MEMBRES
ET ASSOCIÉS À LA CONFÉRENCE GÉNÉRALE**
au 30 juin 2007

États membres

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	Lettonie
CARICOM	Lituanie
Costa Rica	Macédoine (Ex Rép. Yougoslave de)
Croatie	Malte
Cuba	Moldova
Équateur	Panama
Estonie	Philippines
Hong Kong, Chine	Slovénie
Jamaïque	Taipei chinois
Kazakhstan	Ukraine
Kenya	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 m²) du Pavillon de Breteuil (Parc de Saint-Cloud) mis à sa disposition par le Gouvernement français ; son entretien est assuré à frais communs par les États membres.

Le Bureau international a pour mission d'assurer l'unification mondiale des mesures ; 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 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 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 (CEEM), nouveau nom donné en 1997 au Comité consultatif d'électricité (CCE) créé en 1927.
2. Le Comité consultatif de photométrie et radiométrie (CCPR), nouveau nom donné en 1971 au Comité consultatif de photométrie (CCP) créé en 1933 (de 1930 à 1933 le CCE s'est occupé des questions de photométrie).
3. Le Comité consultatif de thermométrie (CCT), créé en 1937.
4. Le Comité consultatif des longueurs (CCL), nouveau nom donné en 1997 au Comité consultatif pour la définition du mètre (CCDM) créé en 1952.
5. Le Comité consultatif du temps et des fréquences (CCTF), nouveau nom donné en 1997 au Comité consultatif pour la définition de la seconde (CCDS) créé en 1956.
6. Le Comité consultatif des rayonnements ionisants (CCRI), nouveau nom donné en 1997 au Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CEMRI) créé en 1958 (en 1969, ce Comité consultatif a institué quatre sections : Section I (Rayons x et γ , électrons), Section II (Mesure des radionucléides), Section III (Mesures neutroniques), Section IV (Étalons d'énergie α) ; cette dernière section a été dissoute en 1975, son domaine d'activité étant confié à la Section II).
7. Le Comité consultatif des unités (CCU), créé en 1964 (ce Comité consultatif a remplacé la « Commission du système d'unités » instituée par le 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 30 juin 2007

Directeur : M. A.J. Wallard

Masse : M. R.S. Davis

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

Temps, fréquences et gravimétrie : Mme E.F. Arias

MM. R. Felder, Z. Jiang, Mme H. Konaté, MM. J. Labot, W. Lewandowski,
G. Petit, L. Robertsson, G. Thibaudeau, L. Tisserand, L.F. Vitushkin

Électricité : M. T.J. Witt

M. M. Stock¹

MM. R. Chayramy, N. Fletcher, R. Goebel, A. Jaouen, 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

Mme A. Daireaux, MM. E. Flores Jardines, R. Josephs, P. Moussay,
Mme J. Viallon, M. S. Westwood

Publications et informatique : M. J. Williams

M. L. Le Mée, Mme J.R. Miles

Base de données du BIPM sur les comparaisons clés : Mme C. Thomas²

Mme S. Maniguet

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

Secrétariat : Mme F. Joly

Mmes C. Fellag-Ariouet, D. Le Coz², G. Négadi, J. Varenne

Finances, administration et services généraux : Mme B. Perent

MM. F. Ausset, R. Cèbe, Mmes D. Etter, M.-J. Martin, D. Saillard²

Gardiens : M. et Mme Dominguez³, M. et Mme Neves³

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

Jardiniers : MM. C. Dias-Nunes, A. Zongo³

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

Atelier : MM. F. Boyer, M. de Carvalho, S. Segura, B. Vincent

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

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

1 Responsable des projets spéciaux.

2 Également aux publications.

3 Également à l'entretien du site.

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

(1^{er} juillet 2006 – 30 juin 2007)

1 INTRODUCTION

1.1 Introduction générale et résumé des travaux scientifiques

Cette année a été riche en événements pour le Bureau international des poids et mesures (BIPM). Des progrès significatifs ont été réalisés dans un certain nombre de projets scientifiques, afin d'améliorer et d'accroître nos équipements de référence internationaux ainsi que certains services offerts, tels que le Temps atomique international (TAI). En même temps, nous avons organisé un grand nombre de réunions de Comités consultatifs, de groupes de travail et d'ateliers. Nous avons maintenu nos relations avec des organisations intergouvernementales et des organismes internationaux et nous avons consolidé un certain nombre d'activités communes, notamment afin de mieux faire connaître et valoriser le Système international d'unités (SI) et les concepts associés de traçabilité et d'incertitude de mesure. Ceci établit une base solide pour le travail et la collaboration futurs et devrait ouvrir des opportunités aux laboratoires nationaux de métrologie d'entreprendre en retour des activités similaires au niveau national.

Ce rapport annuel résume un certain nombre des activités principales menées au BIPM et décrit ensuite plus en détail le travail scientifique.

1.2 Le Système international d'unités (SI)

Au cours de ces derniers mois, plusieurs travaux de recherche scientifique et réunions ont eu lieu au sujet de redéfinitions éventuelles pour certaines unités de base du Système international d'unités (SI), stimulés par les progrès d'un certain nombre d'expériences pouvant mener à une redéfinition du kilogramme. De nouveaux résultats des expériences sur la balance du watt et les progrès encourageants du projet de Coordination internationale Avogadro semblent maintenant susceptibles de fournir une opportunité à la Conférence générale des poids et mesures (CGPM) de prendre des décisions sur une redéfinition du kilogramme en 2011.

Stimulé par, et directement lié à la redéfinition du kilogramme, il est aussi probable que les unités de base pour le courant électrique et la quantité de matière soient redéfinies simultanément. Une redéfinition du kelvin, fondée sur une valeur fixée de la constante de Boltzmann k , est aussi probable. Le Comité international des poids et mesures (CIPM) a encouragé les Comités consultatifs à examiner les effets de ces redéfinitions et un certain nombre

d'entre eux ont établi des groupes de travail spécifiques afin de discuter de ces questions et d'élaborer une stratégie pour leur mise en œuvre. Comme les redéfinitions fondent davantage d'unités de base du SI sur des valeurs fixées de constantes de la physique, il sera nécessaire d'établir des directives pour savoir comment les réaliser de manière pratique. L'exemple suivi est celui de la redéfinition du mètre en 1983, fondée sur une valeur fixée de la vitesse de la lumière dans le vide. On avait alors créé une mise en pratique, c'est-à-dire une série d'instructions et de recommandations pour réaliser la définition de manière pratique et universelle. La mise en pratique de la définition du mètre a passé l'épreuve du temps et a été modifiée pour tenir compte des nouvelles mesures, notamment celles effectuées au moyen d'étalons de mesure fondés sur des lasers. Les différents Comités consultatifs suivent cette approche et préparent des projets qui seront finalisés dans les prochaines années.

Le Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées (CCM) a tenu une réunion spéciale avec des représentants de la communauté électrique en février 2007. Cette réunion a permis d'effectuer des progrès considérables vers une position commune, qui permettrait de redéfinir le kilogramme de manière telle (en fixant la valeur de la constante de Planck, h) que les représentations actuelles du volt et de l'ohm deviennent de véritables réalisations du SI, fermement fondées sur des constantes fondamentales, plutôt que sur des valeurs conventionnelles.

Plusieurs communautés ont assisté à la session de juin 2007 du Comité consultatif des unités (CCU) et elles sont parvenues à la conclusion qu'il était préférable de redéfinir le kilogramme en se fondant sur la constante de Planck plutôt que sur la constante d'Avogadro, N_A . Le CCU est d'accord avec le Comité consultatif d'électricité et magnétisme (CCEM) pour fonder la définition de l'ampère sur une valeur fixée de la charge élémentaire, e . La communauté de la thermométrie attend de nouveaux résultats pour la mesure de la constante de Boltzmann d'ici les prochaines années, qui pourraient permettre de redéfinir le kelvin en 2011.

Il est très peu probable que ces redéfinitions influencent la grande majorité des mesures faites à des buts industriels ou scientifiques ; elles amélioreront le SI et offriront des avantages aux métrologistes et à la communauté concernée par les constantes fondamentales grâce, en général, à une réduction des incertitudes associées aux valeurs de la CODATA. Le CIPM et ses Comités consultatifs pensent toutefois qu'il faudra faire une campagne de sensibilisation auprès des communautés scientifiques et industrielles afin de les informer de ces changements et de leurs implications. Une grande partie

de cet effort incombera aux laboratoires nationaux de métrologie au niveau national.

1.3 L'Arrangement de reconnaissance mutuelle du CIPM (MRA)

L'Arrangement de reconnaissance mutuelle du CIPM continue à prendre de la vigueur au fur et à mesure que des aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages (CMCs), nouvelles et révisées, sont entrées dans la base de données du BIPM sur les comparaisons clés (KCDB). La KCDB proprement dite a été améliorée afin de faciliter la recherche de données, au moyen d'un moteur de recherche sémantique, qui interprète les requêtes entrées en texte libre. Cet outil permettra aux auditeurs des laboratoires accrédités de vérifier plus facilement les détails relatifs à leur traçabilité aux réalisations nationales du SI et d'accéder aux graphiques d'équivalence. Le BIPM saisit chaque opportunité qui lui est offerte de promouvoir ce nouvel outil par des présentations, des démonstrations et par la *KCDB Newsletter*.

1.4 États membres et Associés

Le nombre d'États membres signataires de la Convention du Mètre est toujours de 51. Nous comptons maintenant 22 États et entités économiques associés à la Conférence générale, avec l'accession de l'ex-République yougoslave de Macédoine et de la Moldova au cours de l'année. Le BIPM est en relation avec un certain nombre d'autres États qui ont déclaré leur intention de devenir Associés et avec certains des Associés actuels qui envisagent de devenir États membres.

1.5 La réunion des directeurs des laboratoires nationaux de métrologie

Plus de 70 directeurs des laboratoires nationaux de métrologie des États membres et des États et entités économiques associés à la Conférence générale se sont réunis au BIPM en octobre 2006. Le premier jour de la réunion a été consacré à la préparation de la Conférence générale de 2007. On y a donné un certain nombre de présentations, exposant les principaux thèmes du rapport du CIPM sur *l'Évolution des besoins dans le domaine de la métrologie* (le rapport « Kaarls ») ainsi que le programme de travail du BIPM. Cette réunion s'est achevée par un résumé sur l'état des redéfinitions éventuelles d'un certain nombre d'unités du SI.

1.6 Réunion du CIPM

La 95^e session du CIPM s'est tenue en octobre 2006. Le Comité s'est consacré principalement à la préparation de la Conférence générale de 2007, à la finalisation du Programme de travail et budget pour les années 2009 à 2012, de la Convocation et des Résolutions à présenter à la Conférence générale. De plus, les présidents des Comités consultatifs ont présenté leur rapport. Le CIPM a pris acte, avec satisfaction, de la publication de la 8^e édition de la Brochure sur le SI à l'occasion de la Journée mondiale de la métrologie 2006. Pour la première fois, la Brochure est complétée de deux résumés destinés à une vaste diffusion. Ces trois documents peuvent être téléchargés sur le site Web du BIPM.

Conformément aux recommandations du Comité mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM (JCRB), le CIPM a aussi approuvé l'utilisation d'un logo, destiné à être utilisé par les laboratoires nationaux de métrologie et les laboratoires désignés signataires de l'Arrangement du CIPM. Le but est d'utiliser ce logo afin d'aider à la reconnaissance des certificats émis dans le cadre de l'Arrangement du CIPM, qui sont, de ce fait, acceptés par tous ses signataires.

Le CIPM a adopté des Recommandations sur les représentations secondaires de la seconde et sur la coordination de la mise en œuvre des techniques avancées de comparaisons de temps et de fréquences.

1.7 La Conférence générale des poids et mesures

Un projet de programme de travail du BIPM pour les années 2009 à 2012 sera présenté à la 23^e Conférence générale en novembre 2007. Ce programme est rédigé dans un style différent des précédents programmes de travail, avec une approche structurée mettant en évidence la justification et l'impact du programme, et une déclaration explicite de la nécessité d'entreprendre de nouvelles activités et projets. Le programme de travail a été présenté aux directeurs des laboratoires nationaux de métrologie lors de leur réunion d'octobre 2006 et il a ensuite été discuté par le CIPM en octobre 2006. Le CIPM a approuvé un programme de travail correspondant à une augmentation de 15 % de la dotation du BIPM au 1^{er} janvier 2009. Les éléments clés du programme de travail du BIPM sont la poursuite de son programme de travail actuel, et la mise en œuvre de progrès plus rapides sur sa balance du watt ainsi que sur d'autres travaux en relation avec la réalisation de la redéfinition proposée du kilogramme. Le programme de travail reflète aussi l'importance accrue des horloges optiques pour le TAI et

propose des activités pour étayer les comparaisons clés en métrologie en chimie. Le CIPM a aussi discuté de la proposition du Comité consultatif des rayonnements ionisants (CCRI) qui soutient vigoureusement (et l'a confirmé en mai 2007) un nouveau projet au BIPM, fondé sur les photons aux hautes énergies générés par des accélérateurs linéaires, afin de répondre aux besoins de la communauté de la dosimétrie. Le CIPM a toutefois considéré qu'il fallait demander à la Conférence générale de soutenir un travail préparatoire à ce projet pendant les années 2009 à 2012, et de repousser sa mise en œuvre à la période suivante.

La Convocation de la Conférence générale contient douze projets de résolutions qui concernent les tendances globales en métrologie, le travail en relation avec les changements proposés des définitions de certaines unités du SI et un certain nombre de questions politiques liées à l'application de la Convention du Mètre. La Convocation a été envoyée aux États membres en janvier 2007.

1.8 Comité mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM (JCRB)

Le Comité mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM (JCRB) s'est réuni en octobre 2006 et en mai 2007. Comme toujours, le JCRB s'intéresse tout particulièrement aux moyens d'améliorer la rapidité et l'efficacité de l'examen des aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages (les CMCs) au sein et entre les organisations régionales de métrologie, et d'accroître la confiance internationale dans l'examen des Systèmes Qualité par les organisations régionales de métrologie. La réunion d'octobre 2006 du JCRB a finalisé l'étude sur l'utilisation d'un logo apposé sur les certificats d'étalonnage émis par les laboratoires nationaux de métrologie dans le cadre de l'Arrangement du CIPM et a recommandé au CIPM d'approuver ce logo. Le JCRB a aussi approuvé les recommandations positives du rapport du comité d'experts réunis spécialement pour étudier le Système Qualité de l'Agence internationale de l'énergie atomique, signataire de l'Arrangement du CIPM. En mai 2007, les principaux sujets à l'ordre du jour étaient l'évolution d'une définition commune du terme CMC, ainsi que des notes d'accompagnement, permettant son acceptation et son application élargie à la communauté de l'accréditation. Le JCRB a aussi approuvé de présenter une recommandation au CIPM sur les critères à utiliser pour le choix des pairs chargés de l'examen des Systèmes Qualité dans les laboratoires nationaux de métrologie.

1.9 Comité commun pour les guides en métrologie (JCGM)

Une des réalisations majeures de cette année a été la finalisation de la 3^e édition du *Vocabulaire international de métrologie – Concepts fondamentaux et généraux et termes associés* (le VIM). Cette édition change le traitement de l'incertitude de mesure : considérée auparavant sous l'approche « erreur » (parfois appelée « approche traditionnelle » ou « approche de la valeur vraie ») elle est maintenant considérée suivant l'« approche incertitude » approuvée internationalement, ce qui implique de réexaminer certains concepts liés figurant dans la 2^e édition du VIM (1993). Cette nouvelle édition a aussi été l'opportunité d'inclure davantage de termes utiles à la communauté des chimistes. Le « VIM 3 » a été approuvé par les huit organismes partenaires. Le BIPM adoptera le texte approuvé et le placera sur son site Web pour en offrir l'accès à la communauté de la métrologie. Le Groupe de travail sur l'expression de l'incertitude de mesure (le GUM) a aussi finalisé son travail sur un supplément au GUM traitant des méthodes de Monte Carlo. Ce document a été approuvé par tous les organismes partenaires et sera aussi adopté par le BIPM et placé sur son site Web en accès libre.

La réunion du JCGM proprement dit en décembre 2006 a examiné la « Charte » du JCGM et identifié un certain nombre de priorités pour ses groupes de travail, notamment une étude sur l'incertitude pour l'évaluation de la conformité.

1.10 Comité commun pour la traçabilité en médecine de laboratoire (JCTLM)

Le Comité exécutif du Comité commun pour la traçabilité en médecine de laboratoire (JCTLM) s'est réuni en décembre 2006 et a approuvé le calendrier des prochaines séries de propositions de matériaux de référence de rang hiérarchique supérieur et de procédures de mesure de référence, ainsi que des propositions de services de mesure de référence de laboratoires. La première liste de services de mesure de référence fournis par les laboratoires a été publiée sur le site Web du JCTLM en juin 2007.

Le travail du comité aide à identifier les priorités pour les comparaisons à effectuer dans le cadre des attributions générales du Comité consultatif pour la quantité de matière (CCQM) et du JCTLM. Il est de plus en plus considéré comme un modèle qui pourrait être utilisé dans les collaborations étroites que le BIPM continue à développer avec les autres organisations inter-gouvernementales et les organismes internationaux.

1.11 Liaisons avec des organisations intergouvernementales et des organismes internationaux

Le travail de liaison du BIPM constitue une part majeure de notre activité. L'année passée nous avons progressé sur un certain nombre de fronts :

- Les discussions se poursuivent avec l'Organisation météorologique mondiale (OMM) au sujet de leur intention de devenir signataire de l'Arrangement du CIPM. À la différence de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), l'OMM ne possède pas ses propres laboratoires et il faut approuver de nouveaux arrangements pour que l'OMM puisse participer pleinement. L'OMM a aussi accepté de collaborer avec le BIPM afin d'organiser une conférence internationale et un atelier sur le rôle de la métrologie dans l'étude et l'observation du changement climatique. La réunion aura probablement lieu début 2009.
- La représentation du BIPM à la Commission du Codex Alimentarius.
- Une collaboration plus étroite avec l'Organisation mondiale de la santé (OMS) dans le cadre des activités du CCQM et du JCTLM.
- La signature d'un accord entre le CIPM et la Commission internationale de l'éclairage (CIE) qui reconnaît les responsabilités et les rôles des deux organismes et établit les mécanismes de coordination officiels. Ceux-ci font référence, en particulier, à la nécessité d'assurer la traçabilité au SI des résultats des travaux de la CIE sur les mesures de lumière, de rayonnement optique, de couleur, des propriétés optiques des matériaux, des grandeurs photobiologiques et photochimiques.
- La poursuite de la collaboration avec l'Organisation internationale de normalisation (ISO) et la représentation assurée grâce au statut d'organisme de liaison du BIPM à l'ISO CASCO et à l'ISO REMCO ainsi que la participation au 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).
- En conséquence du communiqué et de la déclaration communs au BIPM, à l'Organisation internationale de métrologie légale (OIML) et à l'International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) sur l'intérêt des divers accords internationaux sur la métrologie pour le commerce, la législation et la normalisation, la collaboration avec l'ILAC a été renforcée dans plusieurs domaines. En particulier, le Groupe de travail commun au BIPM et à l'ILAC a bien progressé sur une définition commune du terme aptitude en matière de mesures et d'étalonnages (CMC) et sur les moyens d'augmenter la confiance dans les déclarations

d'incertitude et de traçabilité des laboratoires accrédités en utilisant la base de données du BIPM sur les comparaisons clés. Le BIPM était représenté à l'assemblée générale de l'ILAC ainsi qu'à l'Accreditation Issues Committee qui s'est réuni pour discuter, et recommander, la définition commune du terme CMC. Reconnaisant qu'une grande partie du travail du BIPM et de l'ILAC au niveau international doit être renforcée au niveau régional, la deuxième réunion des organisations régionales de métrologie et des organismes d'accréditation au niveau national s'est tenue en mars 2007. C'est le seul forum dans lequel ces deux types d'organismes se rencontrent régulièrement et qui aide à renforcer les collaborations régionales.

- La collaboration avec l'OIML s'accroît. Nous avons finalisé un document commun sur l'importance de la métrologie et des arrangements concernant un portail Web commun sur la métrologie, qui présentera une description générale de ce que les deux organismes font, avec des liens aux pages Web de chaque organisation.

1.12 Journée mondiale de la métrologie

Le message du directeur du BIPM le 20 mai, jour anniversaire de la signature de la Convention du Mètre en 1875, s'est avéré avoir plus de succès que jamais. Le thème « Mesures de notre environnement » a très fortement attiré l'attention des laboratoires nationaux de métrologie et d'autres organismes internationaux. Quatre-vingt-cinq événements nationaux ont marqué la Journée mondiale de la métrologie dans 63 États membres et États Associés ainsi que dans des États qui n'ont pas, pour le moment, de liens officiels avec le BIPM. En partenariat avec la PTB et le NMISA pour la version de base, et en collaboration avec d'autres laboratoires nationaux de métrologie, 32 versions, dans 18 langues, d'un poster pour la Journée mondiale de la métrologie ont été produites.

1.13 Commissions du personnel du BIPM

Le statut du BIPM mentionne quatre commissions ; deux autres commissions conseillent aussi le directeur sur la Caisse de prêts sociaux et sur la gestion de l'assurance maladie.

La commission de l'information et de la sécurité est chargée de conseiller le directeur sur un certain nombre de questions ; elle est responsable d'organiser la réunion annuelle du personnel et les élections des membres de

toutes les commissions. Toutefois, avec l'établissement d'un comité officiel chargé de la santé et de la sécurité au BIPM, le rôle de la commission de l'information et de la sécurité a été réduit. Pendant l'année, le directeur a aussi organisé un examen des commissions statutaires afin d'améliorer leur efficacité et leur efficacité. Les recommandations faisant suite à cette étude comprennent la fusion des deux commissions chargées du statut et des salaires et des missions restant à la charge de la commission de la sécurité et de l'information.

Comme ceci a été mentionné dans le rapport du directeur 2005-2006, le BIPM a commencé un examen et une mise à jour du statut du personnel. Ce travail a largement fait appel aux conseils de la commission du statut. L'examen se poursuit ; c'est un exercice majeur qui sera finalement présenté au CIPM pour approbation.

La commission des salaires poursuit son examen de routine sur l'évolution des salaires du personnel du BIPM par rapport à ceux des organisations coordonnées basées à Paris et de la fonction publique française. Elle a été consultée sur les moyens d'améliorer l'efficacité et la signification des procédures annuelles d'appréciation du personnel.

La dernière commission statutaire est chargée des affaires sociales. Elle continue à organiser un programme actif d'événements ayant pour but d'améliorer les relations entre les membres du personnel, par des visites culturelles et des week-ends d'excursion.

Les deux autres commissions se sont réunies en cas de besoin.

1.14 Travail scientifique du BIPM

Masses : Des progrès significatifs ont été accomplis pour soutenir le projet de Coordination internationale Avogadro (IAC). Notre nouvelle balance Sartorius CCL 1007 a été soumise à des essais et est en fonctionnement quasiment en permanence. Cette balance, qui incorpore la technologie du BIPM sous licence fonctionne dans le vide, dans l'air, ou dans d'autres gaz non réactifs. En fin de compte, elle sera utilisée pour étalonner une sphère en silicium de 1 kg dans le vide par rapport à un prototype de 1 kg conservé dans l'air ambiant. Ce transfert est effectué au moyen d'une série spéciale d'artefacts conçus et fabriqués au BIPM. Le BIPM a déjà fourni une série supplémentaire de ces artefacts à un laboratoire national de métrologie et répondra aux commandes de trois autres laboratoires nationaux de métrologie dans un proche avenir.

Les demandes en métrologie des masses dans le cadre de l'IAC sont similaires sur de nombreux points à celles des expériences pour la balance du watt. Aussi reconnaissons-nous la nécessité de coordonner ces activités au BIPM, et dans le monde. C'est pourquoi nous suggérons que le CCM crée deux sous-groupes au sein du Groupe de travail du CCM sur les étalons de masse. Un de ces sous-groupes coordonnera le travail sur le transfert de l'unité de masse de l'air au vide, ainsi que la conservation des étalons de masse dans le vide ou dans des atmosphères bien définies. Le second sous-groupe aidera le BIPM à réexaminer la chaîne d'incertitude jusqu'au prototype international du kilogramme. Nous considérons les deux sous-groupes comme des étapes préparatoires fondamentales aux redéfinitions proposées du kilogramme et le CCM a mis en œuvre nos suggestions lors de sa dernière session, en mars 2007.

Nous poursuivons notre activité de base, c'est-à-dire l'étalonnage des prototypes nationaux pour les États membres et l'étalonnage des étalons de 1 kg en acier inoxydable pour les laboratoires nationaux de métrologie des États membres. Cette année, la demande pour ces services est inférieure à la moyenne, mais pas inhabituelle. Le service d'étalonnage a passé avec succès l'examen externe par les pairs, comme l'exige notre système de gestion de la qualité. Dans le cadre de cet examen, les aptitudes de mesure suivantes ont fait l'objet d'un audit : les pesées de comparaison, la détermination du volume, la détermination des propriétés magnétiques et la localisation du centre de gravité des étalons de masse. Ces services fournissent aussi une infrastructure essentielle pour les projets relatifs à l'IAC et à la balance du watt. Citons deux exemples d'aide : l'étalonnage du volume des artefacts spéciaux mentionnés dans le premier paragraphe, qui est fondamental pour leur utilisation, et les étalonnages internes de sous-multiples du kilogramme, utilisés pour déterminer la linéarité de la balance Sartorius.

Enfin, nous avons maintenu notre contact avec l'équipe LISA de l'Agence spatiale européenne (ESA). Cette année, le BIPM a déterminé la susceptibilité magnétique de trois masses d'essai dont les caractéristiques sont déterminées pour la série d'essai LISA.

Temps, fréquences et gravimétrie : Les échelles de temps internationales TAI (le Temps atomique international) et UTC (le Temps universel coordonné) sont calculées régulièrement et les résultats sont publiés chaque mois dans la *Circulaire T* et dans les mises à jour mensuelles des résultats de la comparaison clé CCTF-K001.UTC (auparavant dénommée CCTF-K2001.UTC). La stabilité du Temps atomique international, exprimée sous forme de l'écart-type d'Allan relatif, est estimée à environ $0,4 \times 10^{-15}$ pour

des durées moyennes de un mois. Pendant la période couverte par ce rapport, onze étalons primaires de fréquence ont contribué à l'amélioration de l'exactitude du TAI ; ces étalons comprennent sept fontaines à césium (IT CSF1, LNE-SYRTE FO1, LNE-SYRTE FO2, LNE-SYRTE FOM, NIST F1, NMIJ F1 et PTB CSF1). Une correction totale de fréquence de $-2,4 \times 10^{-15}$ a été appliquée pendant l'année à $[f(\text{EAL}) - f(\text{TAI})]$. Depuis juillet 2005, l'unité d'échelle du TAI correspond, selon nos estimations, à la seconde du SI à environ 1×10^{-15} près. La section travaille étroitement avec le Groupe de travail du CCTF sur les étalons primaires de fréquence afin d'améliorer l'exactitude du TAI. Dans le cadre des activités de ce groupe de travail, un atelier a eu lieu en juin, auquel ont participé des laboratoires impliqués dans l'élaboration et la mise en œuvre d'étalons primaires de fréquence et des membres du personnel du BIPM.

Le calcul des liaisons horaires utilisant les vues simultanées des satellites du GPS a été remplacé par la méthode globale « GPS all in view » pour le calcul régulier des échelles de temps. Les comparaisons d'horloges fondées sur les observations de la phase et du code du GPS ont été étudiées pour des applications futures au calcul du TAI. Différentes techniques et méthodes de comparaisons d'horloges sont comparées régulièrement de manière approfondie et les résultats sont publiés sur l'Internet. Des programmes d'étalonnage de récepteurs du GPS ont été organisés et réalisés par la section. La section a fourni son aide au Groupe de travail commun au CCL et au CCTF sur les étalons de fréquence (l'ancien Groupe de travail commun au CCL et au CCTF sur les représentations secondaires de la seconde), au sein duquel certains membres du personnel exercent des responsabilités.

Un travail de recherche est aussi dédié aux systèmes de référence spatio-temporels. La collaboration avec l'USNO (États-Unis) pour le « Conventions Product Centre » du Service international de la rotation terrestre et des systèmes de référence (IERS) se poursuit. Un atelier sur les Conventions de l'IERS sera organisé en septembre 2007 au BIPM.

À la fin de 2006, le BIPM a été pour la dernière fois le laboratoire pilote de la comparaison clé BIPM.L-K11. Le personnel de la section a contribué au transfert de cette comparaison clé aux laboratoires nationaux de métrologie. Un nouveau protocole a été élaboré et la comparaison clé, sous le nom de CCL-K11, sera à l'avenir sous la responsabilité du BEV (Autriche), qui agira comme laboratoire pilote. La section a aussi fourni un service de mesure et d'étalonnages de lasers pour des utilisateurs internes et externes.

Un grand nombre de demandes de cuves à iode ont été satisfaites au cours de l'année correspondant à ce rapport, beaucoup d'entre elles de conception spéciale. Des études sur la réalisation de cuves en fibre ont débuté.

Les améliorations au gravimètre FG5-108 ont progressé en collaboration avec le VNIIM (Fédération de Russie). Des recherches théoriques ont été conduites pour améliorer les corrections de la position de la masse en chute libre dans le gravimètre.

La collaboration entre la section et les projets spéciaux au BIPM se poursuit. Des études préliminaires ont été faites pour mesurer avec exactitude la pesanteur pour la balance du watt du BIPM. Un membre de la section aide à l'enroulement des bobines pour la balance du watt. De plus, la section est impliquée dans la construction de l'interféromètre pour les mesures de longueur pour le condensateur calculable.

Électricité : Cette année a été cruciale pour la section parce que trois scientifiques expérimentés ont pris leur retraite et ont été remplacés par les membres du personnel transférés de la section de photométrie et radiométrie en 2003 et par un nouveau membre du personnel recruté en mai 2006. La formation des nouveaux personnels de la section a été la priorité de ces dernières années, afin d'assurer la continuité et la qualité de nos services.

Pendant l'année passée les trois services d'étalonnage (de tension, de résistance et de capacité) ont fait l'objet d'un audit par des experts externes. Une attention particulière a été portée au transfert de connaissances des membres du personnel expérimentés aux nouveaux membres. Tous les auditeurs ont exprimé leur satisfaction quant au niveau de compétence du nouveau personnel. De plus, une première comparaison sur site d'étalons de Josephson a été effectuée avec succès par le plus jeune membre du personnel. Au total, trois comparaisons sur site d'étalons de tension de Josephson ont été effectuées avec succès : avec l'INMETRO, le NMIA et le NMi VSL. L'accord entre le BIPM, le NMIA et le NMi VSL est de l'ordre de 1×10^{-10} en valeur relative, ce qui est un excellent résultat. Dans le cas de l'INMETRO, un niveau de bruit plus élevé est responsable d'une incertitude dix fois plus élevée. Une comparaison de tension au moyen d'étalons de tension de Zener servant d'étalons de transfert a été effectuée avec le NML (Irlande). Une nouvelle comparaison d'étalons de résistance, au niveau de 1Ω , avec le NIST, destinée à lier une comparaison clé du SIM aux résultats déjà publiés dans la base de données du BIPM sur les comparaisons clés (KCDB), est en préparation. Les préparatifs ont aussi débuté pour une comparaison de capacité de 10 pF avec le NIST, afin de valider le bilan

d'incertitude du BIPM et ainsi de préparer la détermination de la constante de von Klitzing au BIPM.

Le renouvellement de l'équipement de Josephson se poursuit avec la mise au point d'un support de sonde compact et transportable et de nouveaux filtres électroniques. Nous avons aussi testé une source micro-onde programmable compacte qui remplacera, à l'avenir, le système actuel beaucoup plus complexe fondé sur une diode Gunn. Le nouveau système automatique pour un étalonnage plus efficace des diodes de Zener a été testé ; il nécessite quelques améliorations.

Dans le domaine des mesures d'impédance, une nouvelle source de courant double pour le comparateur de courant cryogénique assemblé l'an passé a été construite, ce qui démontre que la section d'électricité maîtrise toujours ces technologies importantes. Certains des composants cruciaux reliant la résistance de Hall quantifiée aux résistances classiques ont été vérifiés au niveau de quelques 10^{-9} en valeur relative en comparant des paires d'échantillons à résistance de Hall quantifiée connectés en parallèle et en série avec un seul échantillon.

La séquence de mesures résistance-capacité, au moyen d'un pont à quadrature, a été optimisée. Ceci est important pour la mesure prévue de la constante de von Klitzing avec le condensateur calculable et pour la métrologie des capacités en général. D'autres améliorations sont prévues en traitant la dépendance en fréquence des résistances dans le pont.

Nous avons débuté un programme de rénovation des laboratoires de mesure d'impédance. Ceci nous a permis de déplacer le laboratoire de capacité près du laboratoire de mesure de la résistance de Hall quantifiée. Un câble entre les deux laboratoires nous permet de connecter directement notre appareil à résistance de Hall quantifiée, sans déplacer d'étalons.

Notre travail sur l'analyse des séries temporelles a pris fin avec le traitement du problème du calcul de la variance de la moyenne d'une série temporelle de mesures corrélées stochastiquement dans un processus faiblement stationnaire. La variance de la moyenne du bruit blanc mesuré à travers un filtre passe-bas a été déterminée de quatre manières différentes, dont l'accord s'est avéré bon. Les résultats peuvent être appliqués directement à certaines des mesures de la section d'électricité, mais le domaine d'applications est plus large.

Condensateur calculable : L'atelier du BIPM continue à fabriquer des composants pour les deux condensateurs calculables élaborés en collaboration avec le NMIA. Deux membres de la section d'électricité ont

passé trois semaines au NMIA pour étudier le projet et optimiser la forme des électrodes de garde. Un membre de la section du temps, des fréquences et de la gravimétrie s'est rendu au NMIA pour discuter de questions liées à l'interféromètre nécessaire pour mesurer la position relative des électrodes de garde. On s'est entendu sur l'approche générale. L'optique de couplage de mode sera mise au point au BIPM cette année et nous avons commencé à construire un banc d'essai interférométrique afin d'étudier la contribution de l'interféromètre à l'incertitude totale du système. La chaîne liant la résistance de Hall quantifiée aux étalons de capacité a été améliorée. Une première électrode a été fabriquée au NMIA avec une géométrie cylindrique, selon les spécifications. Il est prévu que notre instrument arrivera au BIPM en 2008.

Balance du watt : Un projet de collaboration a débuté avec l'université technique d'Aix-la-Chapelle (Allemagne), ayant pour objectif de fabriquer et d'assembler le circuit magnétique pour la balance du watt. C'est particulièrement difficile parce la tolérance mécanique requise pour les pièces des pôles est très faible. La conception de la suspension de la balance a été revue afin qu'elle soit plus rigide et aussi pour corriger d'autres imperfections mécaniques. Un système d'amortissement électrostatique a été ajouté pour stabiliser les rotations de la bobine le long de l'axe vertical, ceci devrait réduire le bruit qui affecte la mesure de la vitesse pendant le mouvement vertical de la bobine. L'interféromètre est intégré au système de manière à ce que, dans le futur, il soit possible d'obtenir directement les lectures de vitesse à partir de l'interféromètre. Une technique indépendante pour vérifier les lectures de vitesse obtenues à partir de l'interféromètre, fondée sur la mesure du décalage Doppler, a été élaborée. Une première version de la bobine mobile a été fabriquée et insérée dans l'aimant de test. Nous avons élaboré une technique pour synchroniser précisément les mesures de la tension induite par le voltmètre numérique et celle de la vitesse par l'interféromètre, afin que les composantes de bruit communes aux deux signaux soient éliminées du rapport entre la tension et la vitesse. Les propriétés élastomécaniques du sol ont été déterminées afin de concevoir une base antivibrations pour y placer la balance à l'avenir.

Rayonnements ionisants : Nous avons présenté au CCRI le nouvel étalon primaire à cavité en graphite du BIPM pour la détermination du kerma dans l'air dans des faisceaux de rayonnement gamma, fondé sur des mesures différentielles du volume et sur des calculs de Monte Carlo. La nouvelle valeur du taux de kerma dans l'air du BIPM, qui est en fait supérieure à la valeur précédente, résulte principalement de la valeur plus élevée du facteur de correction pour la non-uniformité axiale du faisceau, qui a été déterminé

avec une meilleure précision au moyen de calculs de Monte Carlo. La nouvelle valeur a été approuvée par le CCRI en mai, sous réserve d'une publication scientifique décrivant les résultats, et sera ensuite annoncée et mise en application à une date fixée. Le calorimètre prototype en graphite pour la dose absorbée dans l'eau est en construction et il est prêt à être soumis aux premiers essais. Le concept est fondé sur la valeur prédéterminée de la capacité calorifique spécifique du noyau en graphite, qui est en cours de mesure. La chambre étalon primaire à parois d'air pour la dosimétrie en mammographie a été conçue et construite et est actuellement comparée à l'étalon à parois d'air aux basses énergies.

Sept nouvelles comparaisons de dosimétrie et des mesures supplémentaires pour une comparaison plus ancienne ont été effectuées. Aucun progrès n'a été réalisé en ce qui concerne la comparaison de curiethérapie prévue, du fait d'un manque de ressources. Trois rapports de comparaisons ont été publiés et les autres sont à l'état de projet, à différents stades. Vingt et un étalons secondaires nationaux ont été étalonnés et le Système Qualité pour les étalonnages a subi avec succès son deuxième examen par les pairs. Un effort continu a été consacré à se conformer aux réglementations françaises sur l'environnement en ce qui concerne les sources de ^{60}Co d'activité élevée, avec une série de séminaires internes sur la radioprotection.

Nous avons terminé l'analyse de la comparaison de ^{55}Fe qui s'est tenue en 2006 ; les résultats peuvent étayer la mesure de 23 autres radionucléides grâce au système de groupement établi par la Section II du CCRI. Parmi les dix-neuf laboratoires qui ont participé à cette comparaison, deux avaient des résultats différant de manière significative de la valeur de référence de la comparaison clé, ce qui fait l'objet d'une étude. Suite aux retards importants dans la réception des échantillons, subis par certains laboratoires nationaux de métrologie, retards occasionnés par les difficultés dans le transport transfrontalier de matériaux radioactifs, un séminaire a été présenté à l'AIEA en marge de leur conférence générale, et l'AIEA a fait part de son soutien à tout effort international dans ce domaine.

Treize laboratoires ont soumis des ampoules pour dix-sept comparaisons d'activité du BIPM en cours au moyen du Système international de référence (SIR). Des études sur les mesures du ^{237}Np , ^{241}Am et ^{85}Kr ont été effectuées pour étayer des comparaisons internationales et le $^{99\text{m}}\text{Tc}$ a été mesuré avec succès dans le SIR et dans l'instrument de transfert du SIR afin de fournir le lien nécessaire pour étendre ces comparaisons, spécifiquement aux mesures de radionucléides à courte durée de vie sur le site d'un laboratoire national de métrologie. Le nouveau système de mesure du SIR continue à produire des

résultats cohérents et il devrait être adopté à la fin de 2007. Les niveaux d'activité des impuretés de sept radionucléides soumis pour comparaison ont été mesurés au moyen du spectromètre gamma Ge(Li) du BIPM. En raison d'un manque de ressources, aucun progrès n'a été fait pour l'étalonnage du spectromètre HPGe. Le Système Qualité du BIPM a été étendu au SIR, qui a subi avec succès un examen par les pairs à la fin de 2006.

La section a reçu un soutien fort du Comité consultatif de l'acoustique, des ultrasons et des vibrations et du Comité consultatif des rayonnements ionisants ; les réunions associées à ces deux comités se sont tenues pendant un total de 23 jours au cours des douze derniers mois.

Chimie : En octobre 2006, le protocole d'une nouvelle comparaison clé coordonnée par le BIPM (BIPM.QM-K1, ozone au niveau ambiant) a été distribué aux participants potentiels. Le premier participant du cycle 2007-2008 est le NIST en janvier 2007 ; six autres participants sont prévus en 2007. Un audit externe du Système Qualité établi pour les activités directement liées aux comparaisons de photomètres mesureurs d'ozone s'est déroulé avec succès.

Une étude des écarts systématiques et des incertitudes de mesure des photomètres de référence étalons du NIST a été publiée dans *Metrologia* en octobre 2006 ; elle a permis au NIST d'établir un « kit de mise à niveau des photomètres de référence étalons du NIST » afin de minimiser les deux principaux écarts révélés par l'étude. Le photomètre étalon BIPM-SRP32 a été mis à niveau et une procédure d'installation a été mise au point. Le BIPM peut maintenant installer des kits de mise à niveau pour les participants à la comparaison clé BIPM.QM-K1 qui maintiennent un photomètre de référence étalon du NIST. La méthode de régression linéaire généralisée par moindres carrés telle qu'implantée dans le logiciel destiné à la comparaison de mesures d'ozone est décrite dans un article écrit en collaboration avec M. W. Bremser (BAM) et soumis à *Metrologia* en mai 2007.

Le programme pour développer un photomètre primaire mesureur d'ozone utilisant un laser à fréquence doublée comme source lumineuse se poursuit. La chaîne de détection a été modifiée afin d'utiliser des photodiodes dans l'ultraviolet et le système de refroidissement du laser a été amélioré. Des filtres optiques supplémentaires ont été placés dans le faisceau laser afin de rejeter la part résiduelle à la longueur d'onde fondamentale du faisceau à fréquence doublée. Les mesures initiales de concentration en ozone réalisées avec la première version du photomètre étalon de référence fondé sur un laser ont permis de mesurer les fractions molaires d'ozone dans l'air sec à

quelques pourcent près des valeurs déterminées par un photomètre étalon de référence fondé sur une lampe à mercure.

Toutes les mesures liées à l'étude coordonnée par le BIPM, CCQM-P73 (comparaison d'étalons de monoxyde d'azote) sont terminées. Des étalons de monoxyde d'azote préparés par gravimétrie dans le domaine compris entre 30 $\mu\text{mol/mol}$ et 70 $\mu\text{mol/mol}$, appartenant à onze laboratoires nationaux de métrologie, ont été analysés au moyen de deux méthodes indépendantes ainsi que par la méthode de spectroscopie infrarouge par transformée de Fourier (FTIR) pour les analyses d'impuretés. Une valeur de référence de la comparaison a été calculée à partir de l'ensemble d'étalons de gaz dont les résultats sont les plus cohérents, et l'on peut montrer que dans tous les cas sauf un les problèmes de mesure d'impuretés sont à l'origine des désaccords entre les valeurs certifiées et la valeur de référence. Le projet B de rapport de la comparaison a circulé en juin 2007.

L'équipement dynamique étalon de dioxyde d'azote du BIPM a été mis à niveau afin d'inclure un générateur d'azote et un nouveau logiciel de contrôle et d'acquisition des données pour le spectromètre FTIR. Les études de cohérence des concentrations en dioxyde d'azote calculées à partir des taux de perméation et de celles mesurées au moyen de divers analyseurs sont en cours, et des comparaisons avec les valeurs certifiées des cylindres de gaz, fondées sur la gravimétrie statique, sont prévues. À la demande du groupe de travail du CCQM sur l'analyse de gaz, une comparaison déjà prévue d'étalons de dioxyde d'azote sera étendue afin d'inclure des méthodes spectroscopiques pour la détermination de la concentration en gaz.

Un équipement de vérification de la pureté a été mis au point dans le cadre du programme d'analyse organique et des comparaisons des équipements des laboratoires nationaux de métrologie pour la détermination des caractéristiques des calibrateurs primaires ont été organisées, en commençant par les substances à analyser intéressant la communauté de la médecine de laboratoire. La rénovation d'un laboratoire servant au transfert par gravimétrie de matériaux et la préparation soignée de solutions d'étalonnage s'est achevée en 2007. Le BIPM coordonne les comparaisons suivantes d'analyse de pureté de substances organiques de la série CCQM-P20 : CCQM-P20.e pour la théophylline et CCQM-P20.f pour la digoxine. Pour l'étude pilote CCQM-P20.e, le point clé est l'identification et la quantification de la théophylline et des composés liés du groupe xanthine. Pour l'étude pilote CCQM-P20.f, des méthodes pour la détermination de glucosides stéroïdes tels que la digoxine et la digitoxine, et de divers

glucosides cardiaques qui leur sont liés ainsi que les aglycones correspondants ont été élaborées.

La cinquième réunion du Comité exécutif du JCTLM s'est tenue au BIPM en décembre 2006, et le calendrier pour l'approbation des propositions pour le Cycle III de matériaux de référence d'ordre hiérarchique supérieur et de procédures de mesure de référence, ainsi que des propositions de services de mesure de laboratoires de référence proposées pour le Cycle I ont été approuvées. L'élaboration d'une base de données interrogeable sur l'internet pour les matériaux de référence d'ordre hiérarchique supérieur et les méthodes et procédures de mesure approuvées par le JCTLM est terminée et le nouveau site Web de la base de données du JCTLM a été lancé en décembre 2006. De décembre 2006 à juin 2007, le nombre de connexions externes à la base de données du JCTLM était, en moyenne, de 750 par mois. La première liste de services de mesure de référence offerts par les laboratoires a été publiée sur le site Web du JCTLM en juin 2007. Les applications Web du JCTLM seront étendues aux services de mesure de référence des laboratoires avec une fonctionnalité de recherche dans la base de données ; ce service sera disponible vers la fin de 2007.

1.15 Publications, conférences et voyages du directeur

1.15.1 Publications extérieures

1. Wallard A.J., News from the BIPM – 2006, *Metrologia*, 2007, **44**, 97-103.
2. Wallard A.J., Amélioration de la traçabilité des mesures au niveau international : un point sur la collaboration entre le BIPM et l'ILAC, *Revue française de métrologie*, 2006, No. 8 (Vol. **2006-4**), 53-58.
3. Wallard A.J., Guest Views, *ISO Focus*, octobre 2006, 4-7.
4. Wallard A.J., Measurement Principles and Structures, *Springer Handbook of Materials Measurement Methods*, Springer, 2006, 3-16 (ISBN 3-540-20785-6).
5. Wallard A.J., Metrology and Society, *Proc. International School of Physics "Enrico Fermi", Course CLXVI, Metrology and Fundamental Constants*, Societa Italiana di Fisica, 2007, 1-9.
6. Wallard A.J., The evolution of metrology: Past times to the present day, *Proc. International School of Physics "Enrico Fermi", Course CLXVI, Metrology and Fundamental Constants*, Societa Italiana di Fisica, 2007, 11-19.

7. Wallard A.J., The organization of metrology, *Proc. International School of Physics "Enrico Fermi", Course CLXVI, Metrology and Fundamental Constants*, Societa Italiana di Fisica, 2007, 21-33.

1.15.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

A.J. Wallard s'est rendu à :

- Londres (Royaume-Uni), les 3 et 4 juillet 2006, pour une réunion du Quantum Metrology Working Group (Groupe de travail sur la métrologie quantique) du DTI ;
- Turin (Italie), les 7 et 8 juillet 2006, pour une réunion du bureau du CIPM et pour la CPEM ;
- Varenne (Italie), du 18 au 28 juillet 2006, pour l'International School of Physics « Enrico Fermi » on Metrology and Fundamental Constants ;
- Nashville (États-Unis), du 5 au 11 août 2006, pour la conférence NCSLI et son bureau d'organisation ;
- Hanovre (Allemagne), le 28 septembre 2006, pour une réunion avec la PTB ;
- Geel (Belgique), le 29 septembre 2006, pour un atelier à l'IRMM ;
- au Cap (Afrique du Sud), du 17 au 20 octobre 2006, pour la 41^e réunion du CIML et pour une présentation ;
- Lima (Pérou), du 21 au 23 octobre 2006, pour un atelier du JCDCMAS et pour une présentation ;
- Mexico (Mexique), du 25 au 28 octobre 2006, au CENAM et pour une présentation au symposium sur la métrologie ; du 13 au 15 novembre 2006, pour l'assemblée générale de l'ILAC ;
- Bruxelles (Belgique), le 30 novembre 2006, pour une réunion de DG Enterprise ;
- Tokyo et Tsukuba (Japon), du 10 au 14 décembre 2006, pour des réunions et une présentation au NMIJ et pour des discussions avec le MITI ;
- New Delhi (Inde), les 15 et 16 décembre 2006, pour une réunion de l'APMP ;
- Berlin (Allemagne), le 11 janvier 2007, à la PTB et pour une réunion pour le lancement du projet iMERA de l'EUROMET ;
- Los Angeles (États-Unis), du 24 au 26 janvier 2007, pour un discours à la Measurement Science Conference ;

- Morro Bay (États-Unis), du 27 au 30 janvier 2007, pour la réunion du bureau de NCSLI ;
- Washington DC (États-Unis), le 31 janvier et le 1^{er} février 2007, au NIST et au Département d'État américain ;
- Braunschweig (Allemagne), le 11 janvier 2007, à la PTB ;
- Vienne (Autriche), les 12 et 13 mars 2007, pour une réunion du JCDCMAS ;
- Ottawa (Canada), du 23 au 26 avril 2007, pour une réunion du conseil de l'IENM du NRC ;
- Pretoria (Afrique du Sud), du 1^{er} au 5 mai 2007, pour la 18^e réunion du JCRB et pour un atelier ;
- Vienne (Autriche), le 10 mai 2007, pour la 5^e réunion de l'Accreditation Committee de l'assemblée générale de l'ILAC ;
- Londres (Royaume-Uni), le 30 mai 2007, pour une réunion de l'EUROMET.

1.16 Activités du directeur en liaison avec des organisations extérieures

Le directeur est membre du conseil scientifique de l'INRIM, Turin ; il est 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 » (SUNAMCO) de l'Union internationale de physique pure et appliquée. Il est professeur associé de l'Institute of Mathematics and Physical Sciences de l'université du Pays de Galles à Aberystwyth. Il est membre du bureau de la National Conference of Standards Laboratories International (NCSLI) ; membre de l'Académie scientifique de Turin ; membre de l'UK's Pathfinder Programme Working Group et du National Measurement System Board of the Department for Universities, Innovation and Skills ; membre du conseil de l'Institut des étalons nationaux de mesure du NRC (Canada), et président du JCRB et du JCGM.

2 MASSE (R.S. DAVIS)

2.1 Étalonnages

2.1.1 Certificats (P. Barat et R.S. Davis)

Pendant l'année passée, nous avons émis des certificats pour les prototypes de 1 kg en platine iridié suivants : n° 48 (Danemark) et n° 72 (Rép. de Corée). L'étalonnage des prototypes nationaux de Singapour et de la Hongrie est en cours.

Des certificats pour des étalons de 1 kg en acier inoxydable ont été émis pour : le SIRIM (Malaisie) (deux) et le DMDM (l'ancien ZMDM, Serbie) (un). Des étalonnages pour des étalons de 1 kg en acier inoxydable sont en cours pour le LATU (Uruguay) et le SPRING (Singapour).

Nous avons aussi effectué des étalonnages internes d'étalons de masse utilisés pour notre balance de pression (voir section 2.9) ainsi que d'un étalon auxiliaire de 100 g utilisé pour des étalonnages de masse.

Des étalonnages de susceptibilité magnétique de deux blocs en métal utilisés avec un susceptomètre magnétique de type BIPM ont été effectués pour l'EIM (Grèce).

2.1.2 Système de gestion de la qualité (P. Barat, R.S. Davis et C. Goyon-Taillade)

Conformément au système de gestion de la qualité du BIPM, le service d'étalonnage de masse a subi avec succès un audit externe. Ce deuxième examen par les pairs depuis l'introduction du système de gestion de la qualité, a été effectué par M. Ph. Richard (METAS), président du Groupe de travail du CCM sur les étalons de masse. Une série d'aptitudes de mesures a fait l'objet d'un audit parce que, selon la demande, un certificat d'étalonnage peut inclure des résultats pour la masse, la masse volumique (ou le volume), les propriétés magnétiques (la susceptibilité et l'aimantation permanente) et la position du centre de gravité.

2.2 Balances servant aux programmes de recherche en cours de développement (P. Barat, H. Fang et A. Picard)

Comme nous l'avions mentionné l'an passé, la salle 105 a été entièrement rénovée afin d'accueillir le nouveau comparateur de masse Sartorius CCL 1007. Le comparateur a été soumis à des essais. Les dispositifs et les sondes utilisées pour mesurer les paramètres utiles à la détermination de la masse volumique de l'air à l'intérieur de l'enceinte étanche ont été installés et soumis à des essais. Des programmes informatiques en LabView ont été écrits ou adaptés afin d'acquérir les données du comparateur de masse ainsi que des instruments utilisés pour mesurer les paramètres de l'air (température thermodynamique de l'air T , humidité relative h , température du point de rosée t_r , pression barométrique p et fraction molaire du dioxyde de carbone dans l'air x_{CO_2}). De plus, le programme utilisé pour calculer les résultats des pesées et de la masse volumique de l'air, précédemment écrit pour la balance FB2 du BIPM, a été adapté pour le comparateur Sartorius. Un système à pompe à vide sans huile a été connecté à l'enceinte. Après un jour de pompage, la pression résiduelle se stabilise autour de 0,004 Pa, valeur suffisamment basse pour nos besoins.

Pendant les essais du comparateur, nous avons observé que l'échelle de la balance n'était pas linéaire sur toute l'étendue du domaine mesurable allant jusqu'à 2 g. Des ingénieurs de la société Sartorius sont venus mettre à jour les paramètres de linéarité du logiciel Sartorius. Des recherches ont aussi été entreprises au BIPM afin de déterminer les caractéristiques du comportement de la balance. Les erreurs de pesée dues à la position sur le carrousel ont été estimées en comparant les différences de masse entre deux masses placées successivement en différents endroits. Jusqu'à maintenant, les erreurs aux huit positions du carrousel se situent dans des limites de 2,0 μg dans l'air et 0,3 μg dans le vide. Des recherches supplémentaires devront être effectuées dans l'air afin de réduire ces erreurs.

Des comparaisons entre deux masses de 1 kg en platine iridié et une sphère en silicium de 1 kg par rapport à un cylindre de 1 kg en platine iridié ont été effectuées pendant quatre mois, alternativement dans l'air et dans le vide. Pour les comparaisons entre les masses et le cylindre en platine iridié, nous avons obtenu une reproductibilité de la différence de masse, corrigée pour la dérive, de 1,2 μg dans l'air et de 0,4 μg dans le vide. La reproductibilité était de 4,0 μg dans l'air et de 1,1 μg dans le vide pour la comparaison entre la sphère en silicium et le cylindre en platine iridié. L'écart-type de plusieurs séries de mesures, réalisées dans l'air et dans le vide sous la condition que l'enceinte de la balance reste fermée, était de 1,0 μg dans l'air et de 0,3 μg

dans le vide pour la comparaison entre les masses et le cylindre en platine iridié. Nous avons obtenu un écart-type de 4,7 μg dans l'air et de 0,6 μg dans le vide pour la comparaison entre la sphère en silicium et le cylindre en platine iridié. La répétabilité des mesures pendant une série de pesées était de 0,8 μg dans l'air et de 0,2 μg dans le vide pour les deux masses en platine iridié. Elle était de 4,0 μg dans l'air et de 0,3 μg dans le vide pour la comparaison entre la sphère de silicium et le cylindre en platine iridié. Les valeurs présentées pour la reproductibilité et la répétabilité dans l'air incluent l'incertitude provenant de la correction pour la poussée de l'air. Une meilleure estimation de la performance intrinsèque du comparateur est donnée par la répétabilité et la reproductibilité évaluées dans le vide, mais même dans ce cas, il subsiste une contribution provenant de l'instabilité des artefacts de masse.

La balance Sartorius est presque toujours en fonctionnement, principalement pour le projet Avogadro. En raison d'un manque de personnel, la balance FB2 n'est plus utilisée.

2.3 Sorption de vapeur d'eau sur des sphères en silicium (P. Barat, H. Fang et A. Picard)

Dans le cadre du projet Avogadro, un vaste programme de travail a été initié cette année afin de mieux évaluer la sorption d'eau physique et chimique à la surface de sphères en silicium. Il est nécessaire de connaître la masse du cœur de la sphère afin de déterminer la constante d'Avogadro ; c'est-à-dire sans trace d'eau, de contamination ni de couche d'oxyde à la surface. La contamination est facilement éliminée en utilisant un protocole de lavage bien défini proposé par le NMIA, dont l'efficacité a déjà été démontrée. La masse de la couche d'oxyde à la surface est évaluée par d'autres laboratoires pour correction ultérieure. Donc, le but de ce travail est d'étudier les effets de la sorption de l'eau, d'abord sur une couche d'oxyde naturel, puis sur une couche d'oxyde thermique (de 9 nm) bien contrôlée, comme prévu dans le projet Avogadro. Deux sphères en silicium, dénommées S1 et S2, commandées l'an dernier à une compagnie japonaise ont été livrées cette année. La première sphère servira toujours de référence dans l'air, tandis que la sphère S2 sera pesée dans l'air et dans le vide. De plus, le NMIJ/AIST a généreusement prêté une sphère en silicium dénommée NMIJ-CZ, sur laquelle nous envisageons d'effectuer un traitement afin d'apposer une couche d'oxyde thermique après étude des effets de sorption sur la couche d'oxyde naturel. Jusqu'à présent, nous avons étudié la sorption physique

(effet réversible) sur les sphères S2 et NMIJ-CZ. La différence de masse pesée dans l'air et dans le vide nous permet de déduire un changement de sorption physique entre le vide et l'air à 50 % d'humidité relative. Nous avons obtenu une variation de la sorption d'environ 32 ng/cm² pour la sphère NMIJ-CZ, ce qui correspond approximativement à une monocouche d'eau. Ce résultat confirme ce qui a été observé dans l'étude précédente effectuée au BIPM il y a deux ans sur de petits artefacts de sorption en silicium. Les pesées de la sphère S2 donnent un coefficient pouvant atteindre 115 ng/cm², ce qui doit être éclairci. La sphère NMIJ-CZ sera ensuite envoyée en Allemagne pour y être recouverte d'un dépôt d'oxyde thermique, puis nous répéterons l'étude précédente.

2.4 Projet de collaboration internationale sur la constante d'Avogadro (A. Picard)

Le BIPM continue à participer activement au Groupe de travail du CCM sur la constante d'Avogadro et, dans le cadre du projet de collaboration internationale sur la constante d'Avogadro (IAC), il coordonne la détermination des masses des sphères en silicium. Le BIPM était le laboratoire pilote de la comparaison internationale de masse de la sphère AV0#3, maintenant terminée. La principale innovation de cette comparaison repose sur le fait que c'était la première comparaison internationale de masse dans le vide et qu'elle a été effectuée au plus haut niveau d'exactitude jamais atteint. Parmi les cinq laboratoires participant à cette comparaison, un seul ne disposait pas de l'équipement nécessaire pour les pesées dans le vide. Une vérification globale de la cohérence des résultats obtenus a été réalisée et un laboratoire a été identifié comme ayant obtenu des résultats en désaccord par rapport aux autres, à la fois dans l'air et dans le vide. Des valeurs de référence ont été déterminées ainsi que les écarts-types associés de 6 µg et 3 µg dans l'air et dans le vide, respectivement. Cependant, une différence de masse d'environ 20 µg a été observée entre les mesures dans l'air et dans le vide ; celle-ci se situe dans les limites des incertitudes. Enfin, la cible fixée par l'IAC, c'est-à-dire obtenir une incertitude relative de 4×10^{-9} dans le vide, a été atteinte pour cette comparaison de masse particulière.

2.5 Générateur d'humidité (H. Fang)

Nous vous rappelons que le BIPM a mis au point un générateur d'humidité dans le domaine compris entre 5 °C et 15 °C pour des étalonnages internes, de haute exactitude, de dispositifs de mesure du point de rosée et de capteurs

d'humidité. Une excellente répétabilité et reproductibilité des mesures a été obtenue. Cependant, il est nécessaire d'effectuer des recherches supplémentaires sur le gradient thermique à l'intérieur du saturateur principal. Malheureusement, ce travail a été interrompu depuis le début de 2005 en raison d'un manque de personnel. Afin de vérifier les performances du nouvel instrument de mesure de température du point de rosée Michell utilisé pour le comparateur de masse CCL Sartorius, des mesures ont été faites à la fin de l'année passée aux points de rosée de 5 °C, 10 °C et 15 °C. Deux capteurs d'humidité relative et notre appareil de mesure du point de rosée principal ont aussi été étudiés. Ce dernier a été envoyé au LNE-CETIAT pour étalonnage quatre mois plus tard. Nos valeurs sont en accord à 0,01 °C près avec celles données par le LNE-CETIAT pour les points à 10 °C et 15 °C. Pour le point à 5 °C, une différence de 0,1 °C a été observée. Ces résultats sont très encourageants après près de deux ans sans utilisation du générateur. On espère que le travail sera repris à la fin de cette année dans le but d'établir un service d'étalonnage de l'humidité dans le cadre du système de gestion de la qualité du BIPM.

2.6 Artefacts de sorption de 1 kg en platine iridié (A. Picard)

Afin d'aider les équipes travaillant sur la balance du watt et sur le projet Avogadro, le BIPM a fabriqué quatre séries de deux artefacts de sorption de 1 kg en platine iridié. Ces artefacts sont utilisés pour effectuer le lien entre les prototypes nationaux, qui sont maintenus dans l'air, et les masses d'essai utilisées pour les expériences sur la balance du watt ou les sphères en silicium utilisées pour le projet Avogadro, toutes pesées dans le vide. Chaque série d'artefacts de sorption est composée d'un prototype classique (de forme cylindrique, dont le diamètre et la hauteur sont égaux à 39 mm) et un artefact constitué d'une pile de huit disques séparés à chaque niveau par trois tiges courbées en platine iridié. La différence de surface entre le cylindre de 1 kg et la pile de 1 kg est d'environ 186 cm². La différence de volume est très faible. La fabrication de ces artefacts, en particulier des piles, est fastidieuse et longue. Jusqu'à présent, deux séries ont été livrées et deux autres seront terminées avant la fin de l'année. Des mesures préliminaires effectuées avec la série du BIPM donnent une différence de sorption physique de vapeur d'eau d'environ 45 ng/cm² entre l'air, d'humidité relative d'environ 50 %, et le vide, à l'intérieur de la balance. Ce coefficient est cohérent avec le résultat obtenu dans l'étude précédente entreprise au BIPM.

2.7 Boîte à gants (A. Picard)

Lors de sa réunion en mars 2007, le CCM a identifié un certain nombre d'étapes préliminaires à une redéfinition du kilogramme en termes de valeurs fixées de constantes fondamentales ou atomiques. En particulier, certains aspects des mises en pratique de ces définitions sont maintenant plus clairs et le CCM recommande de les traiter immédiatement. Parmi ceux-ci, nous mentionnerons la nécessité de transférer les artefacts de masse conservés dans le vide ou un gaz inerte dans des comparateurs de masse, la nécessité d'organiser des comparaisons internationales avec des artefacts conservés dans le vide ou des gaz inertes et le souhait que le BIPM coordonne ces comparaisons. Afin d'anticiper ces recommandations, au début de l'année nous avons commencé à étudier un dispositif qui permettra le transfert, sans contact avec l'air ambiant, d'une masse placée dans le vide ou un gaz inerte à partir de n'importe quel conteneur transportable vers le comparateur Sartorius CCL 1007. La coopération avec la compagnie Sartorius est en cours afin d'adapter un système de transfert dans le vide à notre comparateur Sartorius de la meilleure manière possible. Ce système sera couplé à la balance et pourra être alternativement mis sous vide ou rempli d'azote pur. On a aussi besoin d'une boîte à gants standard du commerce, à gaz inerte, qui ne doit pas nécessairement être placée près de la balance. La boîte à gants peut fonctionner à une pression légèrement plus faible que la pression atmosphérique, mais pas dans le vide. La pureté du gaz inerte sec maintenu dans une unité telle que celle-ci est telle que la teneur maximale en impuretés de l'eau et de l'oxygène sera inférieure à 1 $\mu\text{mol/mol}$. La masse enfermée dans le conteneur de voyage sera transférée manuellement dans un conteneur à chargement automatique séparé à l'intérieur de la boîte à gants. Ce conteneur à chargement automatique sera conçu pour recevoir des cylindres de 1 kg en platine iridié ou en acier inoxydable et des sphères en silicium de 1 kg. Il sera connecté au système de transfert dans le vide pour placer la masse dans la balance. Un des besoins spécifiques au projet Avogadro est le couplage d'une étuve à vide à la boîte à gants afin de chauffer la sphère. Ceci permet d'éliminer l'eau qui a été absorbée chimiquement et physiquement à la surface. Nous espérons recevoir l'ensemble du banc de transfert au début de l'année prochaine.

2.8 Appareil de pesée hydrostatique (R.S. Davis et C. Goyon-Taillade)

Nous vous rappelons que cet appareil est utilisé pour déterminer la masse volumique et le volume des étalons de masse, y compris les nouveaux

prototypes de 1 kg fabriqués par le BIPM. Cette année, nous avons déterminé la masse volumique d'une paire d'étalons de masse en platine iridié, à savoir un cylindre et une pile de huit disques, séparés à chaque niveau par trois tiges de 2 mm de diamètre. La pile est un objet très difficile à peser dans un appareil hydrostatique. La paire d'artefacts sera utilisée dans la section Masse afin de corriger les effets de sorption entre l'air et le vide, comme décrit dans la section 2.6.

Ces déterminations ont été faites avec de l'eau doublement distillée comme étalon. La masse volumique de l'eau est calculée au moyen de la formule du CIPM de 2001, en appliquant les corrections appropriées pour l'abondance isotopique, l'air dissous et la pression. Le travail pour remplacer l'eau par les deux cylindres de 500 g en monocristal de silicium reçu en juin 2006 progresse. Ces cylindres ont été obtenus avec l'aide de nos collègues du NMIJ/AIST, qui ont aussi déterminé leur masse volumique. Un nouveau logiciel a été écrit pour l'acquisition et l'analyse des données. Des essais préliminaires ont été effectués avec des cylindres en silicium dans l'eau, comme étape préliminaire en vue d'utiliser un liquide de transfert autre que l'eau. L'accord entre la valeur de la masse volumique de l'eau, calculée au moyen de la formule, et celle de la masse volumique, calculée à partir des artefacts en silicium, est remarquablement bon ; il est cohérent avec l'incertitude des artefacts eux-mêmes.

L'algorithme de mesure a été amélioré : la sensibilité de la balance est déterminée pendant chaque série de pesées dans l'air. Précédemment, la sensibilité était déterminée séparément, juste avant de peser les étalons de masse. Nous envisageons d'utiliser un algorithme similaire pour les pesées dans le liquide de transfert.

2.9 Pression (P. Barat, R.S. Davis et C. Goyon-Taillade, M. Rami*)

Des étalonnages des manomètres du BIPM par rapport à la balance de pression conservée à la section Masse sont effectués tous les trois mois.

L'étape finale des essais de notre manomètre a consisté en une comparaison bilatérale dont le LNE (France) était le laboratoire pilote. Officiellement c'est une comparaison supplémentaire (EUROMET.M.P-S3). Le LNE a préparé le projet A de rapport et nos commentaires, de nature éditoriale, ont été envoyés au LNE en octobre 2006.

* Étudiant à l'IUT de Saint-Denis (France).

Plusieurs manomètres de la section Masse sont mesurés sur place dans les laboratoires où ils ont été utilisés, au moyen de tubes étanches sous vide reliés à la balance de pression. Nous avons étudié l'influence de différents paramètres sur ces mesures de pression et nous avons découvert que la longueur du tube, bien qu'importante, n'influence pas les résultats. Nous avons cependant appris que le manomètre utilisé dans l'étude est sensible à la convection due au système de conditionnement d'air. Nous avons aussi étudié l'effet de la température ambiante, en en faisant varier la valeur, sur les résultats obtenus avec les manomètres. Certains résultats inattendus ont été obtenus mais nous n'avons pas complètement terminé l'analyse des résultats.

2.10 Autres activités

2.10.1 Collaboration avec l'Agence spatiale européenne sur le programme LISA (R.S. Davis)

L'année dernière nous avons présenté des mesures spéciales de susceptibilité magnétique d'une masse d'essai cubique de 2 kg constituée d'un alliage d'or et de platine. Ces mesures ont été demandées par l'équipe LISA-Pathfinder et ont fait l'objet d'un communiqué de presse en octobre 2006 par l'Agence spatiale européenne. Nous avons construit cette année un susceptomètre modifié spécifiquement conçu pour ces mesures. Des mesures de susceptibilité de cette masse d'essai, ainsi que de deux autres masses d'essai, ont été terminées récemment.

2.10.2 Balance de torsion pour la mesure de G (R.S. Davis, T.J. Quinn* et C.C. Speake)**

Un problème apparu pour l'un des trois modes de l'expérience a retardé le rapport final des résultats. Si le problème ne peut pas être résolu avant septembre 2007, nous mettrons fin à l'expérience et présenterons les résultats.

* Directeur honoraire du BIPM.

** Université de Birmingham (Royaume-Uni).

2.11 Publications, conférences et voyages : section des masses

2.11.1 Publications extérieures

1. Becerra L.O., Berry J., Chang C.S., Chapman G.D., Chung J.W., Davis R.S., Field I., Fuchs P., Jacobsson U., Lee S.M., Loayza V.M., Madec T., Matilla C., Ooiwa A., Scholz F., Sutton C., van Andel I., Magnetic properties comparison of mass standards among seventeen national metrology institutes, *Metrologia*, 2006, **43**(5), 426-434.
2. Davis R.S., Practical approach to minimizing magnetic errors in weighing, *Measure*, 2006, **1**(3), 70-72.
3. Davis R.S., Mass metrology: Underlying assumptions, present best practice, new frontiers, *Proc. International School of Physics "Enrico Fermi", Course CLXVI, Metrology and Fundamental Constants*, Societa Italiana di Fisica, 2007, 473-498.
4. Davis R., Coarasa J., Errors due to magnetic effects in 1 kg primary mass comparators, *Measurement*, 2007, **40**, 769-773.

2.11.2 Rapport BIPM

5. Davis R.S., Calculation of the effective area of DHI piston-cylinder No. 517, working in the absolute mode at a nominal pressure of 1000 hPa, *Rapport BIPM-2006/10*, 12 p.

2.11.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites, formation)

R.S. Davis s'est rendu :

- au Politecnico di Torino, Turin (Italie), le 8 juillet 2006, pour assister à une réunion du Groupe de travail du CCEM sur l'utilisation de mesures électriques pour contrôler la stabilité du prototype international du kilogramme ;
- à la CPEM, Turin (Italie), du 10 au 14 juillet 2006 ;
- à l'International School of Physics "Enrico Fermi" à Varenne (Italie), du 18 au 22 juillet 2006, pour des présentations sur la métrologie des masses ;
- à l'atelier APGRADE, à l'institut Laue-Langevin, Grenoble (France), du 26 au 28 octobre 2006, pour présenter une conférence invitée sur la manière d'utiliser la balance du watt pour relier le kilogramme à la constante de Planck ;

- à la réunion de 2006 du Combined Regional Measurement Assurance Programme, du 30 octobre au 2 novembre 2006, à Boulder (États-Unis), invité par la Weights and Measures Division du NIST à présenter les éventuels changements au SI et à participer aux séances consacrées à la métrologie internationale ;
- au DFM (Danemark), le 6 novembre 2006, pour participer à une visite de contrôle des activités sur les masses ;
- à l'atelier sur les pressions et le vide d'ADMET-06, à la réunion du Comité technique sur les masses de l'APMP, à New Delhi (Inde), du 11 au 14 décembre 2006, pour une présentation invitée d'ADMET-06 : Metrology before and after the CIPM MRA ;
- au Comité technique sur les masses de l'EUROMET, du 28 février au 2 mars 2007, à Teddington (Royaume-Uni), pour représenter le BIPM ;
- au Comité technique sur la thermométrie de l'EUROMET, du 26 au 28 mars 2007, à Berlin (Allemagne), afin de coordonner les activités du CCT ;
- à TempMeko, du 20 au 24 mai 2007, ainsi qu'aux réunions des groupes de travail du CCT, le 25 mai 2007, à Lake Louise (Canada).

R.S. Davis et A. Picard se sont rendus à l'INRIM, Turin (Italie), les 6 et 7 juillet 2006, pour assister à une réunion du Comité de l'IAC.

A. Picard s'est rendu :

- à l'IKZ, Berlin (Allemagne), le 17 octobre 2006 et les 26 et 27 février 2007, pour assister à des réunions du Comité de l'IAC ;
- à la société Sartorius, Ilmenau (Allemagne), le 18 octobre 2006, pour une discussion technique sur le projet de boîte à gants et sur le comparateur de masse CCL 1007 ;
- au NMIA, Sydney (Australie), du 13 au 21 juin 2007, pour la livraison de ^{28}Si enrichi, pour des discussions techniques dans le contexte du projet IAC et des mesures de masse dans l'air et dans le vide.

2.12 Activités liées au travail des Comités consultatifs

R.S. Davis est secrétaire exécutif du Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées (CCM) et du Comité consultatif de thermométrie (CCT). Il a été invité à assister à la session du Comité consultatif des unités (CCU) qui s'est tenue en juin 2007. Le CCM s'est réuni au BIPM le 23 mars 2007. Il s'agissait d'une session extraordinaire convoquée pour répondre à la

Recommandation 1 (CI-2005) de la 94^e session du CIPM sur les étapes préalables à une nouvelle définition du kilogramme (entre autres unités).

A. Picard consacre 20 % de son temps à la coordination des mesures de masse dans le cadre du projet de collaboration sur la constante d'Avogadro et du Groupe de travail du CCM sur la constante d'Avogadro (*voir* section 2.6).

[Note : A. Picard a été transféré dans l'équipe de la balance du watt et y consacre les 80 % restants de son temps.]

2.13 Visiteurs de la section des masses

- MM. T. Fehling et T. Froehlich (Sartorius AG, Allemagne), les 6 et 7 novembre 2006, afin de discuter des arrangements concernant le transfert de technologie entre le BIPM et Sartorius et pour une assistance technique au comparateur de masse CCL 1007.
- M. Ph. Richard (METAS), du 30 novembre au 1^{er} décembre 2006, pour un examen par les pairs des services d'étalonnage de masses du BIPM.
- M. C. Mitsas (EIM), les 11 et 12 janvier 2007, pour une consultation sur les mesures magnétiques d'étalons de masse.
- Portes ouvertes à la section Masse, le 12 février 2007, pour présenter le projet Avogadro au personnel du BIPM.
- M. C. Sutour et Mme C. Stumpf (LNE), le 16 mars 2007, pour discuter de l'état d'avancement des déterminations de la teneur en argon de l'air au LNE.
- M. E. Williams et Mme Z. Jabbour (NIST), le 20 mars 2007, pour une discussion technique sur la procédure de transfert des masses d'essai dans le vide ou dans un gaz inerte.
- M. F. Lepoutre (CNAM), le 29 mars 2007.
- M. M. Himbert (LNE-INM/CNAM), le 25 avril 2007.
- M. T. Froehlich (Sartorius AG, Allemagne), les 9 et 10 mai 2007, pour une intervention technique sur le comparateur de masses CCL 1007 et pour le projet de boîte à gants.
- M. L. Soli (Thales-Alenia Space, Italie) et L. Trougnou (ESA-ESTEC), les 18 et 19 juin 2007, pour la détermination des caractéristiques de susceptibilité magnétique des masses d'essai utilisées dans le projet LISA de l'Agence spatiale européenne.

- M. S.-M. Lee (SPRING Singapour), du 18 juin au 27 juillet 2007 pour étudier les moyens de disséminer l'unité de masse du BIPM au SPRING.

2.14 Étudiant à la section des masses

- M. Rami (étudiant à l'IUT de Saint-Denis, France), du 16 avril au 22 juin 2007, pour aider à la détermination des caractéristiques de l'appareil de mesure de pression.

3 TEMPS, FRÉQUENCES ET GRAVIMÉTRIE (E.F. ARIAS)

3.1 Temps atomique international (TAI) et Temps universel coordonné (UTC) (E.F. Arias, Z. Jiang, H. Konaté, W. Lewandowski, G. Petit, G. Thibaudeau*, L. Tisserand et P. Wolf**)

Les échelles de temps de référence, le Temps atomique international (TAI) et le Temps universel coordonné (UTC), sont établies à partir des données fournies régulièrement au BIPM par les laboratoires horaires qui maintiennent des réalisations locales de l'UTC ; les données mensuelles sont publiées chaque mois dans la *Circulaire T*. Suite à la restructuration de la section, le traditionnel *Rapport annuel de la section du temps du BIPM* a été renommé *Rapport annuel du BIPM sur les activités du temps*, mais son contenu reste le même. Le *Rapport annuel du BIPM sur les activités du temps* (2006), volume **1**, complété par des fichiers informatiques accessibles sur le site Web du BIPM (<http://www.bipm.org>), donne les résultats définitifs de l'année 2006.

* Assistant depuis le 1^{er} avril 2007.

** Physicien jusqu'au 31 décembre 2006.

3.2 Algorithmes pour les échelles de temps

(Z. Jiang, W. Lewandowski et G. Petit)

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 et l'UTC sont dérivés. Le travail de recherche sur les algorithmes utilisés pour établir les échelles de temps, effectué dans la section, a pour but d'améliorer la stabilité à long terme de l'EAL et l'exactitude du TAI.

3.2.1 Stabilité de l'EAL

Environ 86 % des horloges utilisées pour le calcul des échelles de temps sont des horloges à césium du commerce du type HP/Agilent 5071A ou des masers à hydrogène auto-asservis actifs. Pour améliorer la stabilité de l'EAL, une procédure de pondération est appliquée aux horloges, dont le poids relatif maximal dépend chaque mois du nombre d'horloges participant au TAI. Environ 14 % des horloges ont atteint, en moyenne, le poids maximal en 2006. Cette procédure engendre une échelle de temps fondée sur les meilleures horloges.

La stabilité de l'EAL, exprimée au moyen de l'écart-type d'Allan relatif, est estimée à $0,4 \times 10^{-15}$, voire mieux, pour des durées moyennes d'un mois depuis 2003. Une dérive à long terme, lentement variable, limite sa stabilité à 2×10^{-15} pour des durées moyennes de six mois.

3.2.2 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'unité d'échelle du TAI et la seconde du SI telle qu'elle est produite, sur le géoïde en rotation, par les étalons primaires de fréquence. Depuis juillet 2006, onze étalons primaires de fréquence ont délivré des mesures ponctuelles de la fréquence du TAI, dont sept fontaines à césium (IT CSF1, LNE-SYRTE FO1, LNE-SYRTE FO2, LNE-SYRTE FOM, NIST F1, NMIJ F1 et PTB CSF1). Des rapports sur le fonctionnement des étalons primaires de fréquence sont publiés régulièrement dans le *Rapport annuel du BIPM sur les activités du temps* et sur le site Web du BIPM.

Depuis juillet 2004, une correction d'amplitude maximale $0,7 \times 10^{-15}$ peut être appliquée tous les mois à la fréquence du TAI si nécessaire. Le traitement global des mesures individuelles conduit à des différences relatives entre la durée de l'unité d'échelle du TAI et la seconde du SI sur le géoïde en rotation allant, depuis juillet 2006, de $+0,7 \times 10^{-15}$ à $+3,7 \times 10^{-15}$,

avec une incertitude-type d'environ 1×10^{-15} . Depuis septembre 2006, nous utilisons pour ce calcul les incertitudes-type des valeurs $[UTC - UTC(k)]$ afin d'estimer l'incertitude de liaison des étalons primaires au TAI. Au cours de l'année six corrections de pilotage ont été appliquées, avec une correction totale de $[f(EAL) - f(TAI)]$ de $-2,4 \times 10^{-15}$.

3.2.3 Échelles de temps atomique indépendantes

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 obtenues au moyen des étalons primaires de fréquence. Nous avons fourni une version améliorée de TT(BIPM), nommée TT(BIPM06), qui est valable jusqu'en décembre 2006. Nous utilisons pour ce faire toutes les données récentes 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.

3.3 Étalons primaires de fréquence et représentations secondaires de la seconde (E.F. Arias, G. Petit et P. Wolf*)

Certains membres de la section du temps, des fréquences et de la gravimétrie participent activement aux travaux du Groupe de travail du CCTF sur les étalons primaires de fréquence, dont le but est d'encourager l'amélioration de la documentation, des comparaisons et de l'utilisation d'étalons primaires de fréquence de haute exactitude (fontaines à césium) pour le TAI.

D'autres transitions atomiques micro-ondes ou optiques sont proposées comme représentations secondaires de la seconde par le Groupe de travail commun au CCL et au CCTF sur les étalons de fréquence (dénommé jusqu'en octobre 2006 Groupe de travail commun au CCL et au CCTF sur les représentations secondaires de la seconde). Une liste contenant les valeurs des fréquences et des incertitudes du Rb, Hg^+ , Yb^+ , Sr^+ et Sr a été proposée par le Groupe de travail commun et recommandée par le Comité consultatif du temps et des fréquences (CCTF) dans sa Recommandation CCTF 2 (2006)

* Physicien jusqu'au 31 décembre 2006.

et par le CIPM dans sa Recommandation 1 (CI-2006). Une vaste comparaison de mesures de tous les étalons primaires de fréquence à césium, comprenant huit fontaines, a été effectuée pendant sept ans. Le personnel du BIPM continue à participer aux travaux liés aux étalons de fréquence optiques, en étudiant, par exemple, leur comparaison à un niveau d'incertitude relative de 10^{-17} , voire en dessous. C'est un domaine d'activités en évolution très rapide.

3.4 Liasons horaires (E.F. Arias, Z. Jiang, H. Konaté, W. Lewandowski, G. Petit, L. Tisserand et P. Wolf*)

À l'heure actuelle, les comparaisons d'horloges sont réalisées au moyen de trois techniques indépendantes : observations simultanées de satellites du GPS utilisant des récepteurs à une seule fréquence et des mesures du code C/A ; observations simultanées de satellites du GPS utilisant des récepteurs géodésiques à deux fréquences et à canaux multiples (de type P3) ; comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellites de télécommunication géostationnaires. Le nombre croissant des liaisons obtenues avec des récepteurs de type P3 (douze liaisons horaires officielles en juin 2006, et plusieurs autres calculées en redondance), ainsi que l'augmentation du nombre des observations par aller et retour (jusqu'à douze par jour pour les liaisons en Europe et vers l'Amérique du Nord) améliorent l'ensemble du système des liaisons horaires. Les récepteurs classiques du GPS à un seul canal et une seule fréquence, qui représentent aujourd'hui 25 % seulement des équipements pour les liaisons horaires, sont remplacés par des récepteurs à canaux multiples, à une ou deux fréquences. Il en résulte une amélioration globale de l'exactitude des comparaisons de temps, l'ensemble du système de liaisons horaires devenant ainsi plus fiable.

La section continue à étudier les autres méthodes de comparaisons de temps et de fréquences. Une analyse exhaustive a prouvé que des améliorations ultérieures sont possibles, en particulier, pour les comparaisons d'horloges sur de longues distances, en calculant des solutions globales GPS (observations « all-in-view ») au lieu des observations actuelles par vues simultanées. Le Groupe de travail du CCTF sur le TAI a établi deux groupes d'étude pour analyser les avantages de ce changement, et a présenté un rapport au CCTF lors de sa session de septembre 2006. La nouvelle méthode

* Physicien jusqu'au 31 décembre 2006.

a été appliquée au calcul du TAI en octobre 2006 et une description complète a été publiée.

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

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 GNSS Service (IGS), et pour les récepteurs à une seule fréquence pour tenir compte des mesures ionosphériques de l'IGS.

3.4.2 Mesures de phase et de code des récepteurs géodésiques

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 groupe de travail de l'IGS sur les produits horaires, dont est membre un des physiciens de la section.

La méthode mise au point pour effectuer l'étalonnage absolu des retards du récepteur Ashtech Z12-T nous permet de l'utiliser pour des étalonnages différentiels de récepteurs similaires dans le monde. Les campagnes d'étalonnage ont débuté en janvier 2001. Depuis 2006, des résultats d'étalonnage d'un nouveau type de récepteur, le Septentrio PolaRx2, ont aussi été obtenus. D'autres types de récepteurs sont à l'étude en collaboration avec les laboratoires qui en sont équipés. De juillet 2006 à juin 2007, douze étalonnages de récepteurs ont été effectués dans six laboratoires. Le récepteur voyageur Ashtech Z12-T a été réparé à la fin de 2006 et un récepteur Septentrio a été utilisé comme récepteur voyageur depuis cette date. Deux récepteurs au moins restent au BIPM pour servir de référence locale à laquelle le récepteur voyageur est comparé entre les campagnes d'étalonnage.

Des données de récepteurs de type géodésique en fonctionnement dans le monde entier sont collectées pour le calcul du TAI, en utilisant des procédures et un logiciel mis au point en collaboration avec l'Observatoire royal de Belgique (ORB). En juin 2007, vingt-trois laboratoires fournissaient régulièrement des données de récepteurs P3. Les liaisons horaires calculées à partir de ces données sont comparées systématiquement à celles générées au

moyen des autres techniques disponibles, notamment celles obtenues par comparaison de temps par aller et retour. Les récepteurs de type géodésique fournissent aussi des mesures de phase brutes qui peuvent être utilisées, avec les mesures de code, pour calculer les liaisons horaires. Ceci est fait régulièrement par l'IGS pour certains laboratoires horaires qui participent aussi à son réseau. De plus, un nouveau logiciel de positionnement précis (Precise Point Positioning, PPP), obtenu auprès d'instituts géodésiques avec lesquels nous collaborons, permet au BIPM de calculer ses propres solutions pour de telles liaisons horaires. Les comparaisons entre les résultats du PPP, de l'IGS, des récepteurs P3, et des liaisons par la méthode d'aller et retour, ont permis d'analyser de manière judicieuse la stabilité de chacune de ces techniques. Une procédure pour utiliser régulièrement les liaisons horaires du PPP pour le calcul du TAI est en cours d'installation.

3.4.3 Comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite

Trois réunions sur les activités liées aux comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite ont eu lieu depuis juillet 2006. Le BIPM effectue la collecte des résultats de comparaisons d'horloges par aller et retour de seize stations en activité et traite certaines liaisons. Une dizaine de liaisons par aller et retour sont utilisées dans le calcul du TAI et l'on en prépare d'autres. Le BIPM participe aussi à l'étalonnage de liaisons horaires par aller et retour sur satellite par comparaison avec le GPS.

3.4.4 Incertitudes sur les liaisons horaires du TAI

Les valeurs des incertitudes de types A et B affectant les liaisons horaires du TAI sont publiées dans la *Circulaire T*, ainsi que les informations relatives aux types de liaisons horaires utilisés pour chaque calcul mensuel.

3.4.5 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. De juillet 2006 à juin 2007, les récepteurs horaires du GPS et du GLONASS de trois laboratoires et les récepteurs P3 du GPS de sept laboratoires ont été étalonnés. Le BIPM participe aussi à l'organisation des campagnes d'étalonnage des équipements pour les comparaisons de temps et de fréquence par aller et retour sur satellite.

3.5 Comparaisons clés (E.F. Arias, W. Lewandowski et L. Tisserand)

Des mises à jour mensuelles de la comparaison clé CCTF-K001.UTC sont effectuées après publication de la *Circulaire T*. Seuls les laboratoires de temps qui appartiennent aux États membres ou aux Associés à la Conférence générale, et qui participent à l'Arrangement du CIPM, ont des résultats publiés pour cette comparaison clé.

3.6 Pulsars (G. Petit)

Nous poursuivons notre collaboration avec l'Observatoire Midi-Pyrénées (OMP), à Toulouse, et avec différents groupes de radio-astronomes qui font des observations de pulsars et en analysent les résultats, afin d'étudier l'aptitude potentielle des pulsars-milliseconde à contrôler la stabilité à très long terme du temps atomique. La section du temps, des fréquences et de la gravimétrie fournit à ces groupes sa réalisation en temps différé du temps terrestre.

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

Un 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*. Les mises à jour des *Conventions* (2003) ont été placées sur le site Web (<http://tai.bipm.org/iers/convupdt>). Ces mises à jour portent sur différents modèles nouveaux concernant les effets qui affectent le positionnement sur la Terre au niveau millimétrique, niveau qui devient significatif. Ces changements sont à l'étude actuellement avec l'aide du Conseil chargé des mises à jour des *Conventions de l'IERS*, qui comprend des représentants de tous les groupes participant à l'IERS.

Des activités liées à la réalisation de systèmes de référence en astronomie et en géodésie sont entreprises en collaboration avec l'IERS. Dans ces domaines, les améliorations de l'exactitude augmenteront le besoin d'un traitement totalement relativiste et il est fondamental de continuer à participer aux groupes de travail internationaux travaillant sur ces questions, par exemple la nouvelle commission de l'UAI sur la relativité en astronomie fondamentale. La collaboration sur le système de référence céleste

* Physicien jusqu'au 31 décembre 2006.

international se poursuit et le travail a débuté dans le cadre de l'UAI, de l'IVS et de l'IERS pour l'élaboration d'un nouveau repère de référence conventionnel.

3.8 Travaux sur le peigne (R. Felder et L. Robertsson)

La collaboration avec le NIST sur la caractérisation des performances métrologiques des peignes de fréquence optique a duré un an. Cette collaboration est maintenant terminée et a fait l'objet d'un rapport. Une compilation des résultats de plusieurs expériences utilisant différentes techniques a été publiée, confirmant nos précédents résultats sur l'excellente homogénéité du spectre du peigne.

3.9 Comparaison clé BIPM.L-K11 (R. Felder et L. Robertsson)

En 2003, la 22^e Conférence générale avait approuvé la proposition du CIPM de fermer la section des longueurs du BIPM en 2006. Par conséquent, le BIPM ne pouvait plus continuer d'assumer son rôle de laboratoire pilote de la comparaison clé BIPM.L-K11 et les dernières mesures sous la responsabilité du BIPM ont été effectuées à la fin de 2006 sur des lasers appartenant à l'Égypte, la France, l'Italie, la République de Corée et la Turquie.

Outre le fait de fournir une traçabilité directe pour ces étalons, l'ensemble des mesures dépendant de BIPM.L-K11 constitue un réseau de traçabilité de haut niveau qui permet d'étendre l'incertitude réduite sur la réalisation de la définition du mètre découlant de l'utilisation des peignes de fréquence à d'autres laboratoires nationaux de métrologie. De plus, l'information accumulée à partir de ces mesures donne de meilleures valeurs pour les radiations recommandées à publier dans la mise en pratique, ce qui entraîne une amélioration qui n'était pas disponible pour les différentes comparaisons de fréquence effectuées dans le cadre de la comparaison BIPM.L-K10.

Il est aussi utile de noter qu'après l'introduction de la technologie du peigne dans de nombreux laboratoires nationaux de métrologie, la participation à la comparaison BIPM.L-K11 a été considérée par ces laboratoires comme un moyen de valider les résultats des peignes à un niveau convenable pour étayer leurs déclarations d'aptitude de mesure.

Afin de répondre aux exigences du CCL et aux besoins des laboratoires nationaux de métrologie en ce qui concerne ces comparaisons de lasers, un questionnaire a été préparé et distribué aux États membres. Les réponses ont

indiqué qu'il subsiste un besoin crucial pour ce type de mesures et une structure répartie a donc été proposée pour continuer la comparaison BIPM.L-K11. Selon cette proposition, le BEV (Autriche) servira de laboratoire pilote avec l'aide de quatre laboratoires de liaison, le MIKES, le NMIJ, le NPL et le NRC, de différentes organisations régionales de métrologie. Les détails finaux concernant le mode de fonctionnement de la nouvelle comparaison nommée CCL-K11 seront discutés pendant la 13^e session du CCL en septembre 2007.

3.10 Service d'étalonnage et de mesurage (R. Felder, J. Labot et L. Robertsson)

En plus de la comparaison officielle BIPM.L-K11, la section a fourni, par le passé, un service d'étalonnage et de mesurage pour des besoins internes et externes spécifiques. Avec la fermeture de la section des longueurs et l'arrêt de la comparaison BIPM.L-K11, le service aux utilisateurs externes a aussi pris fin. Toutefois, il reste nécessaire de déterminer les caractéristiques de lasers et de mesurer des fréquences pour les besoins internes au BIPM ; nos lasers de référence et les peignes ont été utilisés pour ces besoins internes pendant l'année. Ceci concerne notamment les lasers servant aux vérifications de la qualité des cuves à iode, à 633 nm et à 532 nm, les lasers pour le projet de condensateur calculable et l'équipement laser du gravimètre au BIPM. Les gravimètres modernes sont équipés de sources laser asservies en fréquence utilisées pour la détermination de la position de la masse d'essai en chute libre. À la différence des autres sites convenant aux comparaisons de gravimètres, le BIPM est capable de fournir des moyens uniques pour la détermination des caractéristiques des lasers en relation avec les comparaisons internationales de gravimètres absolus (ICAG) effectuées tous les quatre ans au BIPM, ce qui rend le site encore plus attractif.

3.11 Cuves à iode (R. Felder, J. Labot et L. Robertsson)

Peu de laboratoires ont la capacité de fabriquer des cuves à iode pour les lasers asservis, car c'est une activité complexe qui demande du « savoir-faire » et un système de laboratoire. Le BIPM fournit ce service fondé sur l'expérience accumulée, à prix coûtant. Nous continuons à recevoir une forte demande de cuves à iode, de la part des laboratoires nationaux de métrologie et d'autres laboratoires, pour des lasers asservis et pour la spectroscopie. Cette année, nous avons vendu seize cuves à iode. Il est important de noter

que cette demande concerne, en grande partie, des cuves de conception particulière présentant des géométries spécifiques.

En réponse à des problèmes de pompage, le système à vide utilisé pour le remplissage des cuves à iode a été complètement démonté, nettoyé et reconstruit, le tout plusieurs fois. Comme ce système à vide a maintenant presque vingt-cinq ans, il est probablement temps de penser à son remplacement.

Un certain nombre de laboratoires nationaux de métrologie ont fait part d'un intérêt pour l'utilisation d'un nouveau type de cuve à iode qui devrait entraîner une amélioration des performances des lasers asservis. Sur la base des moyens actuels, le BIPM a donc commencé à étudier la possibilité de fournir un service de remplissage de ces cuves. Cette nouvelle cuve est fondée sur une fibre optique creuse, vidée puis remplie d'iode. En utilisant la fibre en mode guidé pour définir la distribution du champ électromagnétique, plutôt que de stabiliser la position du miroir définissant la cavité laser, on devrait obtenir une meilleure reproductibilité de fréquence du laser asservi. On s'attend aussi à une meilleure stabilité à court terme avec des fibres plus longues. Toutefois, réaliser une telle cuve fondée sur une fibre est un défi technique considérable. Une fibre de 50 cm de long a été vidée, remplie et scellée et les premiers signaux de spectroscopie ont été enregistrés. On a ainsi observé l'absorption linéaire de plusieurs raies de l'iode moléculaire.

Les cuves à iode étalons que nous produisons sont contrôlées par comparaison de fréquence à notre laser de référence BIW 167. Pour ce faire, les cuves à iode sont donc placées dans la cavité d'un laser auxiliaire, BIPM7, dont il nous a fallu remplacer le tube à gain. L'assemblage mécanique de ce laser a été modifié et plusieurs tubes lasers à He-Ne ont été essayés avant d'obtenir un fonctionnement satisfaisant.

Les cuves de conception spéciale ayant des caractéristiques géométriques spécifiques ne peuvent pas être contrôlées au moyen d'un laser à He-Ne asservi sur l'iode. Dans ce cas, les cuves à l'essai sont placées dans un système à Nd:YAG asservi sur l'iode qui est comparé par battement de fréquence à notre dispositif de référence à la longueur d'onde de 532 nm, lequel a été étalonné précédemment au moyen de notre peigne de fréquence. L'ensemble du dispositif a été remis en opération pour répondre à cette demande de cuves à iode spécifiques.

3.12 Gravimètre FG5-108 (L. Vitushkin et O. Orlov*)

Le laser compact Nd:YVO₄/KTP/I₂ à la longueur d'onde de 532 nm (puissance de sortie du laser de 3,5 mW) a été modifié au VNIIM et installé dans l'interféromètre du gravimètre absolu en même temps que le laser à He-Ne asservi sur l'iode habituellement utilisé à une longueur d'onde de 633 nm (puissance de sortie du laser d'environ 100 µW). Il a été possible, grâce à un alignement convenable de l'interféromètre, de mesurer le mouvement du corps d'essai en chute libre en utilisant simultanément les deux, ou successivement l'une ou l'autre des radiations laser. La puissance du faisceau laser d'entrée à 532 nm a été atténuée afin d'obtenir la même amplitude de signal d'interférence qu'à 633 nm.

Les mesures successives de l'accélération en chute libre g aux radiations laser à 532 nm et 633 nm ont été effectuées au site A du BIPM en utilisant le système d'acquisition des données classique du gravimètre FG5-108 et le logiciel NEWTON 3.12. La différence entre les résultats obtenus aux deux longueurs d'onde est inférieure à 2 µGal.

L'acquisition des signaux d'interférence aux deux longueurs d'onde a été effectuée au moyen du nouveau système d'acquisition des données du BIPM pour lequel le taux d'échantillonnage est de 100 millions par seconde.

La chambre de chute du gravimètre FG5-108 a été envoyée en réparation et pour maintenance chez le fabricant « Micro-g LaCoste, Inc. » en mars 2007.

3.13 Gravimétrie, recherches théoriques

3.13.1 Essais de troncature des résultats de mesure de g (L. Vitushkin et V. Nalivaev**)

Des essais de troncature, c'est-à-dire l'étude des variations des résultats de mesure de g en fonction du choix des franges d'interférence initiales et finales des séries de franges enregistrées utilisées pour le traitement des données, ont été effectués pour les mesures obtenues avec le gravimètre FG5-108 pendant la comparaison ICAG-2005.

* Chercheur invité du VNIIM.

** Chercheur invité du VNIIMS.

3.13.2 Correction liée à la distorsion due aux effets de diffraction (L. Robertsson)

La conception moderne d'un gravimètre absolu est fondée sur des interféromètres laser pour la détermination de la position, en fonction du temps, de la masse d'essai en chute. Dans l'idéal, le champ lumineux d'un tel interféromètre est considéré comme une onde plane monochromatique ayant une extension latérale infinie. Cependant, le fait que les sources laser utilisées le plus souvent ont une cavité résonante composée de miroirs sphériques impose des conditions aux limites pour l'équation de Helmholtz. Les solutions correspondent alors à des faisceaux de différentes extensions spatiales. Pour chacune d'entre elles, on constate que des corrections de l'ordre de la minute d'angle doivent être appliquées à la phase en progression par rapport à l'approximation de l'onde plane. Une étude a été effectuée dans laquelle des expressions pour ces corrections de phase ont été dérivées dans le cas d'un interféromètre à deux faisceaux. La contribution de ces écarts, induits par la diffraction, à la valeur de g déterminée par gravimétrie absolue a été calculée.

3.13.3 Correction liée à la vitesse finie de la lumière (L. Vitushkin)

Les méthodes existantes pour l'évaluation de la correction des résultats des mesures de g liées aux effets de la propagation de la lumière dans l'interféromètre utilisé avec le réflecteur en chute libre sont en cours d'analyse. Ceci servira à la préparation de recommandations sur l'évaluation de cette correction pour les gravimètres balistiques par le Groupe de travail du CCM sur la gravimétrie.

3.14 La 7^e comparaison internationale de gravimètres absolus, ICAG-2005 (Z. Jiang et L. Vitushkin)

Les résultats des mesures absolues et relatives ont été présentés au laboratoire pilote, le BIPM. Une réunion du groupe de discussion (présidé par A. Germak, INRIM) a été organisée lors de la deuxième réunion commune au groupe de travail du CCM sur la gravimétrie et au groupe d'étude 2.1.1 de l'AIG sur les comparaisons de gravimètres absolus, qui s'est tenue au METAS les 7 et 8 juin 2006, afin d'aider certains groupes de la communauté de la géophysique à évaluer le bilan d'incertitudes conformément au Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM).

La préparation du projet A de rapport de la comparaison ICAG-2005 est en cours.

3.15 Étude préliminaire du projet de balance du watt du BIPM du point de vue de la gravimétrie (Z. Jiang)

Les mesures de gravimétrie absolue pour la balance du watt du BIPM doivent présenter une incertitude relative de 10^{-8} . Une étude initiale de l'équipement et de l'influence de l'environnement local et global a été effectuée en vue d'obtenir des mesures exactes de l'accélération gravitationnelle.

3.16 Publications, conférences et voyages: section du temps, des fréquences et de la gravimétrie

3.16.1 Publications extérieures

1. Arias E.F, Time scales and relativity, *Proc. International School of Physics "Enrico Fermi", Course CLXVI, Metrology and Fundamental Constants*, Societa Italiana di Fisica, 2007, 367-392.
2. Jiang Z., Dach R., Petit G., Schildknecht T., Hugentobler U., Comparison and combination of TAI time links with continuous GPS carrier phase results, *Proc. EFTF-IFCS 2006*, 2007, 440-447.
3. Jiang Z., Petit G., Redundancy in the TAI TWSTFT time transfer network, *Proc. EFTF-IFCS 2006*, 2007, 468-475.
4. Ma L.-S., Bi Z., Bartels A., Kim K., Robertsson L., Zucco M., Windeler R.S., Wilpers G., Oates C., Hollberg L., Diddams S.A., Frequency Uncertainty for Optically Referenced Femtosecond Laser Frequency Combs, *IEEE J. Quant. Electr.*, 2007, **43**(2), 139.
5. Matsakis D., Lee M., Dach R., Hugentobler U., Jiang Z., GPS Carrier Phase Analysis Noise on the USNO-PTB Baselines, *Proc. FCS 2006*, 631-636.
6. Matsakis D., Arias E.F., Bauch A., Davis J., Gotoh T., Hosokawa M., Piester D., On optimizing the configuration of time-transfer links used to generate TAI, *Proc. 20th EFTF*, 2006, 448-454.
7. Nawrocki J., Rau Z., Lewandowski W., Małkowski M., Marszalec M., Nerkowski D., Steering UTC(AOS) and UTC(PL) by TA(PL), *Proc. 38th PTTI - Applications and Planning Meeting*, 2006, Reston, VA, 2007, 379-388.

8. Petit G., Defraigne P., Warrington B., Uhrich P., Calibration of dual frequency GPS receivers for TAI, *Proc. 20th EFTF*, 2006, 455-459.
9. Petit G., Jiang Z., Using a redundant time link system in TAI computation, *Proc. 20th EFTF*, 2006, 436-439.
10. Robertsson L., On the diffraction correction in absolute gravimetry, *Metrologia*, 2007, **44**, 35-39.

3.16.2 Publications du BIPM

11. *Rapport annuel du BIPM sur les activités du temps (2006)*, 2007, **1**, 100 p.
12. *Circulaire T* (mensuelle), 7 p.

3.16.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

E.F. Arias s'est rendue à :

- Saint-Jacques-de-Compostelle (Espagne), le 24 novembre 2006, invitée pour une conférence à la Journée de la métrologie ;
- San Francisco (États-Unis), les 8 et 9 décembre 2006, pour l'IGS Strategic Planning Retreat ; le 10 décembre 2006, pour la 29^e réunion du directoire de l'IGS ; le 12 décembre 2006, pour la 7^e réunion du GGOS Steering Committee ;
- Vienne (Autriche), le 21 février et 5 juin 2007, pour des réunions préparatoires de l'International Committee on GNSS ;
- Paris (France), le 21 mars 2007, pour la Journée Martine Feissel dans le cadre du Séminaire Espace-temps à l'Observatoire de Paris, pour une présentation invitée ;
- Genève (Suisse), du 28 mai au 1^{er} juin 2007, pour la réunion commune EFTF/FCS et pour la réunion du Groupe de travail du CCTF sur les étalons primaires de fréquence.

E.F. Arias et G. Petit se sont rendus à Prague (Rép. tchèque), du 15 au 24 août 2006, pour des présentations à la 26^e assemblée générale de l'Union astronomique internationale.

E.F. Arias et W. Lewandowski se sont rendus à Genève (Suisse), du 28 août au 1^{er} septembre 2006, pour la réunion du Groupe de travail 7A de l'Union internationale des communications (UIT).

Z. Jiang s'est rendu à :

- Istanbul (Turquie), du 28 août au 1^{er} septembre 2006, pour une présentation au premier symposium de l'International Gravity Field Service ;
- Hsinchu (Taipei chinois), du 12 au 15 mars 2007, pour une présentation au First Asia Workshop on Superconducting Gravimetry ;
- Genève (Suisse), du 29 mai au 1^{er} juin 2007, pour une présentation à la réunion commune EFTF/FCS.

W. Lewandowski s'est rendu à :

- Varsovie (Pologne), pour plusieurs voyages de quelques jours au Space Research Centre et à l'Office central des mesures ;
- Bruxelles (Belgique), pour plusieurs voyages de quelques jours dans le cadre du Galileo Joint Undertaking ;
- Turin (Italie), du 12 au 14 juillet 2006, pour présenter un poster à la CPEM 2006 ;
- Fort Worth (Texas, États-Unis), du 23 septembre au 1^{er} octobre 2006, pour la 46^e réunion du Civil GPS Service Interface Committee (pour présider le sous-comité sur le temps), et pour l'ION GNSS ;
- Noordwijk (Pays-Bas), les 2 et 3 novembre 2006, pour le Galileo Time Advisory Group à l'ESA ESTEC ;
- Washington DC (États-Unis), du 4 au 8 décembre 2006, pour la réunion du PTTI et pour les réunions des groupes de travail du CCTF sur la normalisation des comparaisons d'horloges utilisant les systèmes de navigation par satellite à couverture globale et sur les comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite ;
- New Delhi (Inde), du 9 au 16 décembre 2006, invité pour une présentation à la réunion de l'APMP ATF'2006 ;
- Florence (Italie), du 19 au 22 mai 2007, invité pour une présentation à la réunion du SPIE « Fluctuations and Noise » ;
- Genève (Suisse), du 27 mai au 1^{er} juin 2007, pour présenter un poster à la réunion commune EFTF/FCS.

G. Petit s'est rendu à :

- Nançay (France), le 6 juillet 2006, pour participer à des observations de pulsars ;
- Turin (Italie), du 10 au 13 juillet 2006, pour une présentation à la CPEM 2006 ;

- San Francisco (États-Unis), du 10 au 15 décembre 2006, pour une réunion du directoire de l'IERS et pour la session d'automne de l'AGU ;
- Vienne (Autriche), du 15 au 18 avril 2007, pour une présentation à l'assemblée générale de l'Union européenne des géosciences et pour une réunion du directoire de l'IERS ;
- Paris (France), le 3 mai 2007, pour un atelier intitulé « Pulsars théories et observations » et pour une conférence, et le 15 mai 2007, pour assister à un groupe d'études du CNES ;
- Genève (Suisse), du 28 mai au 1^{er} juin 2007, pour des présentations à la réunion commune EFTF/FCS et pour une réunion du Groupe de travail du CCTF sur les étalons primaires de fréquence.

R. Felder s'est rendu à l'ENSAM, Paris (France), du 11 au 13 juin 2006, pour une formation à Wolfram Mathematica.

R. Felder et L. Robertsson se sont rendus :

- à Turin (Italie), du 10 au 14 juillet 2006, pour la CPEM 2006 ;
- au NPL, Teddington (Royaume-Uni), les 3 et 4 octobre 2006, pour l'atelier international « Optical Frequency Combs for Space ».

J. Labot s'est rendu à Noizay (France), du 6 au 9 novembre 2006, pour une formation au soufflage du verre.

L. Robertsson s'est rendu :

- à Gothenburg (Suède), le 20 octobre 2006, pour le symposium « Cluster science and spectroscopy » ;
- au NRC, Ottawa (Canada), du 21 au 26 octobre 2006, en qualité d'expert technique pour l'évaluation du groupe sur les fréquences optiques ;
- au NMIA, Sydney (Australie), du 14 au 16 mai 2007, pour des discussions sur le projet de condensateur calculable ;
- à Tsukuba (Japon), le 18 mai 2007, pour une présentation intitulée « Laser frequency combs as working tools for the dissemination of the metre » à l'atelier commun au NMIJ et au BIPM sur le peigne de fréquence optique ;
- à Singapour, le 21 mai 2007, pour une visite au National Metrology Centre, SPRING Singapour ;
- à Bad Honnef (Allemagne), du 4 au 7 juin 2007, pour présider une séance du symposium « Atomic clocks and fundamental constants ».

L. Vitushkin s'est rendu à :

- Istanbul (Turquie), du 28 août au 1^{er} septembre 2006, pour une présentation au premier symposium de l'International Gravity Field Service, et pour une table ronde sur la normalisation de la présentation des résultats des mesures absolues de gravimétrie ;
- Querétaro (Mexique), du 22 au 27 octobre 2006, pour une présentation au symposium sur la métrologie et pour une discussion sur la construction du site de mesures absolues de gravimétrie au CENAM ;
- San Jose (États-Unis), le 10 novembre 2006, pour une présentation du projet d'expérience de mesure de la constante gravitationnelle à l'université Stanford ;
- College Park (États-Unis), le 14 novembre 2006, pour une présentation du projet d'expérience de mesure de la constante gravitationnelle à l'université du Maryland ;
- Moscou (Féd. de Russie), le 30 janvier 2007, pour trois présentations au Moscow Seminar on Gravimetry à l'O. Yu. Schmidt Institute for the Physics of the Earth ;
- Hsinchu (Taipei chinois), du 12 au 15 mars 2007, pour une présentation au First Asia Workshop on superconducting gravimetry ;
- Saint-Pétersbourg (Féd. de Russie), du 23 au 25 avril 2007, pour les réunions sur la conception du gravimètre balistique absolu et pour la réunion du comité scientifique international du symposium « Terrestrial gravimetry. Static and mobile measurements – TG-SMM-2007 ».

3.17 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 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. Elle représente le BIPM au comité international sur le GNSS. Elle est membre de l'Argentine Council of Research (CONICET), astronome associée au SYRTE (Observatoire de Paris) et correspondante du Bureau des longitudes. Elle représente le BIPM au Groupe de travail 7A du Groupe d'étude 7 de l'UIT-R, et membre du Special Rapporteur Group on the future of UTC.

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. Il préside aussi un Groupe de travail sur la métrologie scientifique au ministère polonais de l'Économie. Avec E.F. Arias, il représente le BIPM au Groupe de travail 7A du Groupe d'étude 7 de l'UIT-R.

G. Petit est co-directeur du Conventions Product Centre de l'IERS et l'a représenté au directoire de l'IERS (jusqu'à la fin de 2006). Il est vice-président de la Commission 52 de l'UAI sur la relativité en astronomie fondamentale ; il est membre du groupe de travail de l'UAI « Numerical Standards in Fundamental Astronomy », membre de l'IGS Working Group on Clock Products et du groupe de physique fondamentale du CNES.

L. Vitushkin est président du Groupe d'étude 2.1.1 sur les comparaisons de gravimètres absolus de la Commission 2 de l'AIG « Gravity field ». Il est membre du comité scientifique international du symposium de l'AIG « Terrestrial gravimetry. Static and mobile measurements. TG-SMM-2007 » qui se tiendra du 20 au 23 août 2007 à Saint-Pétersbourg (Féd. de Russie).

3.18 Activités liées au travail des Comités consultatifs

E.F. Arias est secrétaire exécutive du CCTF. Elle partage avec R. Felder le secrétariat du Groupe de travail commun au CCL et au CCTF sur les étalons de fréquence. Elle est membre des groupes de travail du CCTF sur les comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite et sur les étalons primaires de fréquence, et du groupe d'étude du Groupe de travail du CCTF sur le TAI sur l'optimisation des liaisons horaires.

Z. Jiang est membre du Groupe de travail du CCTF sur les comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite.

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 (CGGTTS).

L. Vitushkin est président du Groupe de travail du CCM sur la gravimétrie.

G. Petit est membre des groupes de travail du CCTF sur le TAI, sur les algorithmes, sur les étalons primaires de fréquence, et du CGGTTS.

R. Felder est secrétaire exécutif du CCL ; il est aussi co-secrétaire du Groupe de travail commun au CCL et au CCTF sur étalons de fréquence. Le rapport

de la 12^e session du CCL (2005) est terminé ; il a été placé sur le site Web du BIPM, avec les rapports des groupes de travail du CCL. La liste des radiations recommandées pour la mise en pratique de la définition du mètre approuvée par le CCL a été mise à jour.

Une réunion commune du Groupe de travail commun au CCL et au CCTF sur les étalons de fréquence a eu lieu au BIPM les 11 et 12 septembre 2006. La liste des fréquences recommandées pour servir de représentations secondaires de la seconde a été établie et recommandée par le CCTF et par le CIPM.

La 13^e session du CCL se tiendra au BIPM les 13 et 14 septembre 2007. Elle sera précédée par les réunions du Groupe de travail du CCL sur la métrologie dimensionnelle et du Groupe de travail commun au CCL et au CCTF sur les étalons de fréquence.

L. Robertsson a revu le protocole technique de la comparaison clé CCL-K11.

3.19 Visiteurs de la section du temps, des fréquences et de la gravimétrie

- M. J. Faller (JILA/NIST), le 5 juillet et le 19 décembre 2006.
- Mme A. Foks (SRC), du 31 août au 22 septembre 2006.
- M. L.-S. Ma, du 12 au 20 septembre 2006.
- MM. P. Balling (CMI), M. Merrimaa (MIKES) et G. Miletì (ON), le 12 septembre 2006.
- MM. Yu. S. Domnin (VNIIFTRI) et F.-L. Hong (NMIJ/AIST), le 13 septembre 2006.
- M. R. Holzwarth (MENLO Systems), le 26 septembre 2006.
- M. Y. Kobayashi (AIST/NMIJ), le 2 octobre 2006.
- M. M. Orain, Mme M.-C. Mérienne et M. F. Grisch (ONERA), le 6 octobre 2006.
- MM. P. Tuckey et D. Valat (LNE-SYRTE), le 12 octobre 2006.
- Une équipe de la chaîne de télévision Discovery Channel, le 14 novembre 2006.
- MM. H.S. Suh (KRISS) et H. Hatem (NIS), du 20 novembre au 1^{er} décembre 2006.
- MM. F. Bertinetto et P. Cordiale (INRIM), du 27 novembre au 1^{er} décembre 2006.

- M. J.-P. Wallerand (LNE-INM/CNAM), du 27 novembre au 30 novembre 2006.
- MM. R. Hamid et E. Sahin (UME), du 4 au 8 décembre 2006.
- M. M. Fleury (Micro-Contrôle, France), le 21 décembre 2006.
- M. A. Michaud (NRC), le 13 mars 2007.
- M. X. Messing (BOC Edwards, France), le 30 mars 2007.
- M. C. Clarck (NIST), le 15 mai 2007.
- Mme M. Miho (Nippon News Network), le 6 juin 2007.
- MM. Zhengming Wang et Haibo Yuan (NTSC), du 4 au 9 juin 2007.
- Mme H. Belaidi (INMETRO), le 19 juin 2007.

3.20 Chercheurs invités

- M. O. Orlov (VNIIM), du 27 novembre au 20 décembre 2006, pour des expériences sur les mesures de gravimétrie absolue avec le laser à 532 nm.
- M. V. Nalivaev (VNIIMS), juillet 2006, pour travailler à des essais de tronçonnage sur les résultats de mesure de g .

4 ÉLECTRICITÉ (T.J. WITT*)

4.1 Potentiel électrique : effet Josephson (R. Chayramy, D. Reymann** et S. Solve)

4.1.1 Mesures de réseaux de jonctions de Josephson

La mise à niveau de l'équipement à effet Josephson progresse. Le nouveau support de sonde conçu pour l'étalonnage des diodes de Zener a été soumis à des essais, avec succès, et il est maintenant opérationnel. Un deuxième support, conçu pour l'étalon transportable compact, a été assemblé. Le guide d'onde de diamètre surdimensionné est divisé en deux parties, qui sont assemblées pour la comparaison et démontées pour le transport. Un nouveau

* En retraite à dater du 30 juin 2007.

** Jusqu'à son départ à la retraite le 30 septembre 2006.

blindage magnétique Cryoperm[®] et son système de fixation ont été élaborés. Les filtres électroniques ont été montés ; leur réponse en fréquence correspond à notre attente. La reproductibilité de la distribution de la puissance radiofréquence dans le guide d'ondes a été étudiée. Une chaîne de mesure de puissance dédiée a été établie à cet effet. Elle servira aussi à déterminer les caractéristiques du lot de sources micro-ondes que nous utilisons pour polariser les réseaux de Josephson.

La dernière version d'une source micro-onde programmable compacte du commerce a été mise en service avec succès dans les conditions d'une comparaison de deux réseaux de tension de Josephson.

Nous avons reçu deux nouveaux réseaux de Josephson programmables ; un réseau supraconducteur-isolant métal-normal-isolant-supraconducteur (SINIS) de 10 V donné par la PTB et un réseau de jonctions de Josephson supraconducteur-isolant (SIS) de 1,2 V donné par le NIST. Les essais préliminaires ont confirmé que ces deux réseaux fonctionnent bien dans les conditions expérimentales du BIPM. À l'avenir, la puce de 10 V sera utilisée comme étalon primaire pour les étalonnages de Zener et celle de 1,2 V comme étalon de force électromotrice pour la balance du watt du BIPM.

Les activités dans le domaine des mesures de tension ont fait l'objet d'un audit en septembre 2006, et une attention spéciale a été consacrée au transfert de connaissance de D. Reymann (qui a pris sa retraite le 30 septembre 2006) à S. Solve. La mise en œuvre des procédures qualité et le transfert de connaissances ont été validés par un auditeur externe.

4.1.2 Mesures de diodes de Zener

Pour la première série de mesures, le nouveau système automatique conçu pour mesurer la tension de sortie des étalons de tension à diode de Zener à 1,018 V (voir le rapport du directeur 2005-2006) a été utilisé avec deux types différents de détecteurs de zéro : un détecteur de zéro analogique et un nanovoltmètre numérique. Même si les résultats obtenus sont cohérents, il faudra encore y apporter certaines améliorations. Comme le nouveau système ne possède aucun composant en commun avec l'ancien, il est prévu d'effectuer des mesures avec les deux systèmes en parallèle dans le futur afin de déceler toute différence systématique et d'assurer la traçabilité de nos mesures de Zener.

4.2 Résistance électrique et impédance

4.2.1 Mesures de résistance en courant continu et effet Hall quantique (F. Delahaye*, N. Fletcher, R. Goebel et A. Jaouen)

Trois anciens membres de la section ont pris leur retraite en 2006 et au début de 2007. Ils ont été remplacés avec succès, comme prévu, par trois membres du personnel de la section de photométrie et radiométrie, qui a fermé ses portes en 2004 ; ces trois personnes ont travaillé avec les trois retraités ces dernières années.

Le travail de routine de conservation de la référence primaire pour la résistance de Hall quantifiée et pour l'étalonnage des étalons de travail de premier niveau a été effectué principalement par les nouveaux membres du personnel, dans le cadre de leur formation, sous la supervision de F. Delahaye.

Des paires d'échantillons de résistances de Hall quantifiées ont été assemblées au moyen de la machine à micro-soudures, dans des configurations en parallèle et en série. Leur comparaison à un élément de référence unique a permis de vérifier l'ensemble du système de mesure de rapports de résistances avec une exactitude de quelques 10^{-9} , y compris un pont à 1 Hz et le rapport de notre résistance de transfert Hamon.

Les activités dans le domaine des mesures de résistance ont fait l'objet d'un audit en octobre 2006, avec une attention toute particulière au transfert de connaissances aux nouveaux membres du personnel. La mise en œuvre des procédures qualité et le transfert de connaissances ont été validés par l'auditeur externe.

Le comparateur de courant cryogénique construit et validé l'an dernier est utilisé de manière courante. Une nouvelle version de la source de courant double associée au comparateur de courant cryogénique a été construite ; elle est actuellement soumise à des essais dans le cadre du renouvellement progressif de l'instrumentation.

Une comparaison bilatérale de résistances de 1Ω entre le NIST et le BIPM a été approuvée lors de la dernière session du CCEM (suivant le protocole de la comparaison clé BIPM.EM-K13.a) afin de pouvoir lier les résultats d'une comparaison du SIM à ceux de la comparaison clé BIPM.EM-K13.a. La préparation et les mesures des étalons voyageurs du BIPM ont débuté ; la comparaison devrait être terminée fin 2007.

* Jusqu'à son départ à la retraite le 31 décembre 2006.

Le laboratoire hébergeant les équipements pour la résistance de Hall quantifiée a été complètement rénové. Les mesures effectuées juste après la réinstallation des équipements ont montré que les travaux de rénovation n'ont pas eu d'influence mesurable sur les résultats.

4.2.2 Conservation d'un étalon de référence de capacité (R. Chayramy, F. Delahaye*, R. Goebel et N. Fletcher)

La formation des nouveaux membres de la section aux divers ponts coaxiaux utilisés pour les étalonnages et pour relier les étalons de capacité à l'étalon de référence de résistance de Hall quantifiée s'est poursuivie jusqu'à la fin de 2006. En septembre 2006, un audit externe couronné de succès a validé le transfert de connaissances au nouveau personnel, ainsi que la mise en œuvre du Système Qualité et des procédures.

Après des recherches ininterrompues sur une nouvelle version des résistances de transfert courant alternatif/courant continu utilisées dans le pont à quadrature, la séquence de mesures a été modifiée, ce qui amélioré, de manière significative, l'incertitude de type A. La dispersion de transferts répétés par mesure en quadrature des étalons de résistance aux étalons de capacité est maintenant meilleure que 1×10^{-8} en valeur relative. La composante restante la plus importante de l'incertitude globale de la chaîne de mesure est la connaissance de la dépendance en fonction de la fréquence (entre 1 Hz et 1541 Hz) des valeurs des résistances. Elle sera examinée au cours des prochains mois dans le cadre d'une campagne de mesures faisant référence aux étalons de résistance coaxiaux existants du BIPM (dont la dépendance en fonction de la fréquence est calculable). Ce travail sur le pont de quadrature comprenait la première application de l'analyse par la variance d'Allan aux propriétés du bruit des ponts coaxiaux du BIPM.

En juin 2007, les ponts et les étalons de capacité ont été déplacés dans le laboratoire rénové récemment dans lequel le condensateur calculable sera hébergé (voir projets spéciaux). Le groupe de référence primaire de quatre étalons de 10 pF du BIPM a été transféré dans un nouveau bain d'huile à température contrôlée dans ce laboratoire (l'ancien bain étant arrivé à péremption). Les mesures (y compris le lien à la résistance de Hall quantifiée) avant et après le déplacement ont montré qu'il n'y avait pas de perturbation majeure des valeurs des étalons. Les étalonnages de capacités pour les laboratoires nationaux de métrologie devraient recommencer en

* Jusqu'à son départ à la retraite le 31 décembre 2006.

juillet 2007. Le nouveau laboratoire bénéficie d'un meilleur conditionnement d'air et il est aussi plus proche du laboratoire de mesure de la résistance de Hall quantifiée. Un câble a été installé qui permet une connexion directe à l'équipement de mesure de la résistance de Hall quantifiée, ce qui signifie qu'aucun étalon n'a besoin d'être déplacé pour effectuer la liaison entre la résistance de Hall quantifiée et la capacité de 10 pF. Quand le condensateur calculable sera installé, il sera possible d'effectuer en totalité la mesure proposée de R_K dans une seule salle.

Les mesures d'une série de quatre étalons voyageurs de 10 pF ont débuté afin de préparer une comparaison bilatérale avec le NIST (comparaison clé en continu BIPM.EM-K14.a). L'incertitude relative composée de cette comparaison devrait être meilleure que 1×10^{-7} . Un bon résultat à ce niveau d'incertitude permettra de valider avec rigueur les bilans d'incertitude du BIPM pour la traçabilité des étalons de capacité. La comparaison devrait aussi être utile aux deux laboratoires pour préparer les mesures de R_K .

4.3 Analyse des séries temporelles de résultats de mesure (T.J. Witt*)

Cette année, nous nous sommes consacrés au problème du calcul de la variance de la moyenne, $\text{var}(\bar{X})$, d'une série temporelle de mesures corrélées stochastiquement d'un processus faiblement stationnaire. Dans de tels cas, la variance de la moyenne de n mesures est souvent calculée de manière incorrecte comme $\text{var}(X)/n$. Cette grandeur importante peut être exprimée correctement au moyen de la fonction d'autocorrélation au rang k , $\rho(k)$. Cette approche a été utilisée pour évaluer $\text{var}(\bar{X})$ pour le bruit blanc de tension mesuré à des intervalles de temps réguliers τ_0 à travers un filtre passe bas de largeur de bande B au moyen de quatre méthodes : (1) en développant l'expression $\rho(k) = \exp(-4B\tau_0k)$ évaluée en estimant B à partir du spectre d'échantillonnage ; (2) en notant que $\rho(k) = \phi^k$, $\phi = \exp(-4B\tau_0) < 1$ est la fonction d'autocorrélation du processus autorégressif de premier ordre, AR(1), pour lequel $\text{var}(\bar{X})$ est déjà évalué en termes de ϕ ; (3) en estimant $\text{var}(\bar{X})$ à partir de la fonction d'autocorrélation d'un échantillon, (k) , en utilisant le rang de coupure d'un processus AR(1) ; (4) en appliquant la méthode générale proposée récemment par Zhang (*Metrologia*, 2006, **43**, S276-S281), afin d'estimer $\text{var}(\bar{X})$ à partir de $\hat{\rho}(k)$, en supposant que les données peuvent être décrites par une procédure de moyenne mobile avec un rang de coupure déduit des (k) proprement dit. Les valeurs de $\text{var}(\bar{X})$

* À la retraite à dater du 30 juin 2007.

obtenues avec les quatre méthodes sont en bon accord. La méthode de Zhang est donc solidement confirmée, ce qui est important en raison de son vaste domaine d'application. Les résultats de ce travail peuvent être appliqués directement à certaines des mesures en cours de la section d'électricité mais le domaine d'application est extrêmement vaste et va bien au-delà de la métrologie. Ce travail a été publié récemment dans *Metrologia* (voir la liste des publications de la section).

4.4 Thermométrie (R. Chayramy, S. Solve et M. Stock)

Le service d'étalonnage interne de thermomètres à la température ambiante est assuré par S. Solve qui travaille aussi dans le domaine de la métrologie des tensions en courant continu. Le départ à la retraite de D. Reymann a conduit à la décision de se concentrer sur cette activité et d'interrompre le service d'étalonnage de thermomètres pendant un an. À l'automne 2007, nous réexaminerons la nécessité de cette activité interne. D'ici là, les thermomètres du BIPM seront étalonnés au LNE.

4.5 Comparaisons clés continues du BIPM d'étalons électriques

(R. Chayramy, F. Delahaye*, N. Fletcher, R. Goebel, A. Jaouen, D. Reymann**, S. Solve et T.J. Witt***)

Dans le cadre du programme de la comparaison clé du BIPM en continu BIPM.EM-K10.b (étalons de Josephson de 10 V, sur site), nous avons participé à une nouvelle comparaison d'étalons de tension à réseau de Josephson de 10 V avec le NMi VSL (Pays-Bas) en octobre 2006. La comparaison a été un succès, ce qui est particulièrement significatif, parce que c'est la première comparaison de Josephson effectuée depuis le départ à la retraite de D. Reymann ; ceci démontre la réussite du transfert de connaissance de cet important programme de comparaison au personnel plus jeune. Pour être complet, nous citerons aussi les résultats de l'INMETRO et du NMIA qui n'étaient pas encore disponibles au moment de la publication du rapport du directeur de l'an dernier :

$$\begin{aligned} (U_{\text{INMETRO}} - U_{\text{BIPM}})/U_{\text{BIPM}} &= +19 \times 10^{-10}, & u_c/U_{\text{BIPM}} &= 16 \times 10^{-10} \\ (U_{\text{NMIA}} - U_{\text{BIPM}})/U_{\text{BIPM}} &= +0,9 \times 10^{-10}, & u_c/U_{\text{BIPM}} &= 1,7 \times 10^{-10} \\ (U_{\text{NMi VSL}} - U_{\text{BIPM}})/U_{\text{BIPM}} &= -1,5 \times 10^{-10}, & u_c/U_{\text{BIPM}} &= 1,8 \times 10^{-10}. \end{aligned}$$

* Jusqu'à son départ à la retraite le 31 décembre 2006.

** Jusqu'à son départ à la retraite le 30 septembre 2006.

*** À la retraite à dater du 30 juin 2007.

Le bruit des réseaux de tension de Josephson du BIPM est négligeable comparé au bruit intrinsèque d'un étalon de Zener ; ces comparaisons permettent donc d'identifier des sources d'erreur qui auraient été autrement masquées par le bruit.

Le CCEM a approuvé notre proposition de modifier le protocole des comparaisons bilatérales d'étalons de tension de Josephson du BIPM, BIPM.EM-K10.a et BIPM.EM-K10.b. Selon la procédure modifiée, non seulement les résultats finaux mais aussi les résultats préliminaires seront publiés, si le travail effectué durant la comparaison conduit à une amélioration significative des étalons des participants. Les résultats finaux seront considérés comme une comparaison subséquente et seuls ces résultats seront présentés dans les graphiques de la comparaison publiés dans la base de données du BIPM sur les comparaisons clés.

Les comparaisons de tension en continu du BIPM utilisant des étalons de tension électriques (BIPM.EM-K11.a et .b) ont été effectuées à 10 V avec le NML (Irlande) en avril 2007. Les résultats ne sont pas encore disponibles.

Les résultats de la comparaison effectuée en 2006 avec le NCM (Bulgarie) sont les suivants :

$$\begin{aligned} \text{à } 1,018 \text{ V : } (U_{\text{NCM}} - U_{\text{BIPM}}) &= -1,39 \mu\text{V}, & u_c &= 1,0 \mu\text{V} \\ \text{à } 10 \text{ V : } (U_{\text{NCM}} - U_{\text{BIPM}}) &= -0,99 \mu\text{V}, & u_c &= 4,0 \mu\text{V} \end{aligned}$$

où u_c est l'incertitude-type globale composée.

Des comparaisons de résistance en continu du BIPM à 1 Ω (BIPM.EM-K13.a) et à 10 k Ω (BIPM.EM-K13.b) ont été effectuées l'an dernier avec l'INM (Roumanie) et avec le NML (Irlande), mais les résultats n'étaient pas disponibles pour être publiés dans le rapport du directeur de l'an dernier. Les résultats sont les suivants :

$$\begin{aligned} (R_{\text{INM}} - R_{\text{BIPM}})/1 \Omega &= +7,0 \times 10^{-8}, & u_c/1 \Omega &= 13 \times 10^{-8} \\ (R_{\text{INM}} - R_{\text{BIPM}})/10 \text{ k}\Omega &= -9 \times 10^{-8}, & u_c/10 \text{ k}\Omega &= 9 \times 10^{-8} \\ (R_{\text{NML}} - R_{\text{BIPM}})/1 \Omega &= 0 \times 10^{-8}, & u_c/1 \Omega &= 19 \times 10^{-8} \\ (R_{\text{NML}} - R_{\text{BIPM}})/10 \text{ k}\Omega &= +28 \times 10^{-8}, & u_c/10 \text{ k}\Omega &= 46 \times 10^{-8} \end{aligned}$$

où u_c est l'incertitude-type globale composée.

4.6 **Étalonnages** (R. Chayramy, F. Delahaye*, N. Fletcher, R. Goebel, A. Jaouen, D. Reymann**, S. Solve et T.J. Witt***)

La section d'électricité a effectué cette année les étalonnages suivants : étalons à diode de Zener de 1,018 V et de 10 V pour l'Égypte, la Grèce et la Serbie ; étalons de résistance de 1 Ω pour l'Autriche, l'Égypte, la Serbie et la Thaïlande ; étalons de résistance de 10 k Ω pour l'Autriche, le Danemark, la Malaisie et la Serbie ; étalons de capacité de 1 pF pour le Brésil, l'Espagne, la Thaïlande et la Turquie ; étalons de capacité de 10 pF pour l'Autriche, le Brésil, l'Espagne, la Finlande, la Grèce, le Mexique, la Roumanie, la Thaïlande et la Turquie ; et étalons de capacité de 100 pF pour l'Autriche, l'Espagne, la Finlande, la Grèce, le Mexique, la Roumanie, la République tchèque, la Thaïlande et la Turquie.

4.7 **Publications, conférences et voyages : section d'électricité**

Les publications et voyages des membres de la section concernant les projets sur la balance du watt et le condensateur calculable figurent à la section 7.3.1.

4.7.1 Publications extérieures

1. Stock M., Witt T.J., CPEM 2006 Round table discussion 'Proposed changes to the SI', *Metrologia*, 2006, **43**, 583-587.
2. Reymann D., Solve S., Limits to the Accuracy of 10-V Josephson Standards Revealed by BIPM On-Site Comparisons, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 2007, **56**, 555-558.
3. Fletcher N.E., Giblin S.P., Williams J.M., Lines K.J., New Capability for Generating and Measuring Small DC Currents at NPL, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 2007, **56**, 326-330.
4. Solve S., Reymann D., Chayramy R., A New Fully Automated Measurement Chain for Electronic Voltage Standards at 1.018 V, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 2007, **56**, 588-591.
5. Witt T.J., Using the autocorrelation function to characterize time series of voltage measurements, *Metrologia*, 2007, **44**, 201-209.

* Jusqu'à son départ à la retraite le 31 décembre 2006.

** Jusqu'à son départ à la retraite le 30 septembre 2006.

*** À la retraite à dater du 30 juin 2007.

6. Urano C., Reymann D., Solve S. *et al.*, Comparison of two 10 V Josephson Arrays of the NMIJ-AIST, *CPEM 2006 Digest*, 2006, 392-393.
7. Klushin A.M., Solve S. *et al.*, A new millimeterwave synthesizer for Josephson Voltage Standards, *CPEM 2006 Digest*, 2006, 368-369.
8. Stock M., Solve S., International comparison of water triple point cells leading to a more precise definition of the kelvin, *Proc. Symposium of Metrology 2006*, Querétaro, Mexico, 2006, 6 p.
9. Litorja L., Stock M. *et al.*, Final report on the CCPR-S2 supplementary comparison of area measurements of apertures for radiometry, *Metrologia*, 2007, **44**, *Techn. Suppl.*, 02002.

4.7.2 Rapports BIPM

10. Georgieva U., Reymann D., Witt T.J., Bilateral comparison of 1.018 V and 10 V standards between the NCM (Bulgaria) and the BIPM, April to June 2006 (part of the ongoing BIPM key comparisons BIPM.EM-K11.a and .b), *Rapport BIPM-2006/05*, 7 p.
11. Reymann D., Solve S., Afonso E., Ferreira V., Landim R.P., Comparison of the Josephson voltage standards of the INMETRO and the BIPM (part of the ongoing BIPM key comparison BIPM.EM-K10.b), *Rapport BIPM-2006/06*, 14 p.
12. Reymann D., Solve S., Budovsky I., Rigby R., Comparison of the Josephson voltage standards of the NMIA and the BIPM (part of the ongoing BIPM key comparison BIPM.EM-K10.b), *Rapport BIPM-2006/09*, 12 p.
13. Popovici G., Cirneanu L., Simionescu M., Jaouen A., Delahaye F., Fletcher N., Witt T.J., Bilateral comparison of 1 Ω standards (ongoing BIPM key comparison BIPM.EM-K13.a) between the INM (Romania) and the BIPM, May 2006, *Rapport BIPM-2006/11*, 6 p.
14. Popovici G., Cirneanu L., Simionescu M., Jaouen A., Delahaye F., Fletcher N., Witt T.J., Bilateral comparison of 10 k Ω standards (ongoing BIPM key comparison BIPM.EM-K13.b) between the INM (Romania) and the BIPM, April 2006, *Rapport BIPM-2006/12*, 7 p.
15. Power O., Jaouen A., Delahaye F., Fletcher N., Witt T.J., Bilateral comparison of 1 Ω standards (ongoing BIPM key comparison BIPM.EM-K13.a) between the NML (Ireland) and the BIPM, April 2006, *Rapport BIPM-2006/13*, 6 p.

16. Power O., Jaouen A., Delahaye F., Fletcher N., Witt T.J., Bilateral comparison of 10 k Ω standards (ongoing BIPM key comparison BIPM.EM-K13.b) between the NML (Ireland) and the BIPM, April 2006, *Rapport BIPM-2006/14*, 6 p.
17. Solve S., Chayramy R., van den Brom H.E., Houtzager E., Comparison of the Josephson voltage standards of NMi VSL and the BIPM (part of the ongoing BIPM key comparison BIPM.EM-K10.b), *Rapport BIPM-2007/01*, 12 p.

4.7.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

T.J. Witt, M. Stock, F. Delahaye, D. Reymann, N. Fletcher, R. Goebel et S. Solve se sont rendus à la CPEM 2006, Turin (Italie), du 10 au 14 juillet 2006 :

- D. Reymann a présenté un exposé intitulé « Limits to the accuracy of 10 V Josephson standards revealed by the BIPM on-site comparisons », *CPEM 2006 Digest*, 12-13 ;
- N. Fletcher a présenté un exposé intitulé « New capability for generating and measuring small dc currents at NPL », *CPEM 2006 Digest*, 152-153 ;
- S. Solve et D. Reymann ont présenté un poster intitulé « A new automated measurement chain for electronic voltage standards at 1.018 V », *CPEM 2006 Digest*, 370-371 ;
- T.J. Witt a présenté un exposé intitulé « Using the autocorrelation function to characterize time series of voltage measurements », *CPEM 2006 Digest*, 454-455 ;
- F. Delahaye et R. Goebel ont participé à la présentation d'un poster intitulé « Preliminary investigation of the use of quantum Hall array resistance standards as travelling standard », *CPEM 2006 Digest*, 514-515.

F. Delahaye, N. Fletcher, R. Goebel, D. Reymann, S. Solve, M. Stock et T.J. Witt ont assisté aux réunions suivantes en marge de la CPEM 2006 à Turin (Italie) :

- Groupe de travail du CCEM sur l'utilisation de mesures électriques pour contrôler la stabilité du prototype international du kilogramme (M. Stock) ;
- Groupe de travail du CCEM sur les organisations régionales de métrologie (T.J. Witt) ;

- Groupe de travail du CCEM pour les grandeurs aux basses fréquences (R. Goebel, S. Solve, M. Stock, T.J. Witt) ;
- Groupe de travail du CCEM pour les grandeurs aux radiofréquences (S. Solve, M. Stock, T.J. Witt) ;
- Groupe de travail du CCEM sur les mesures de la résistance de Hall quantifiée en courant alternatif (R. Goebel, T.J. Witt) ;
- Groupe de travail du CCEM sur la planification stratégique (M. Stock, T.J. Witt) ;
- Sous-domaine de l'EUROMET sur l'électromagnétisme : métrologie en courant continu et métrologie quantique (N. Fletcher, T.J. Witt) ;
- Réunion de spécialistes sur l'effet tunnel monoélectronique (N. Fletcher) ;
- Comité exécutif de la CPEM (M. Stock, T.J. Witt).

T.J. Witt a visité les laboratoires d'électricité de l'INRIM à Turin, le 14 juillet 2006.

T.J. Witt a assisté à la réunion du comité technique sur l'électromagnétisme de l'EUROMET à l'EIM, Tessalonique (Grèce), du 18 au 20 octobre 2006 ; il a présenté un exposé intitulé « Towards new definitions of some SI units in terms of fundamental constants ».

M. Stock s'est rendu :

- au CENAM, Querétaro (Mexique), afin de participer aux réunions des groupes de travail du CCPR (sur les comparaisons clés, sur les CMCs et sur la planification stratégique), du 22 au 24 octobre 2006 ; pour présenter un exposé à une séance plénière du symposium sur la métrologie, le 25 octobre 2006, intitulé « Watt balances and the future of the kilogram » et pour présenter un exposé intitulé « International comparison of water triple point cells leading to a more precise definition of the kelvin » ;
- à Bucarest (Roumanie), pour participer à la réunion d'experts de l'EUROMET sur la radiométrie et la photométrie, PHORA, les 19 et 20 avril 2006 ;
- à la PTB, Berlin (Allemagne), le 18 octobre 2006, pour assister à la première réunion du sous-groupe de travail du CCT sur le SI et pour une présentation d'ensemble sur le nouveau SI ;
- à l'OMM, Genève (Suisse), le 11 décembre 2006, afin de représenter le BIPM à la réunion de la Commission des instruments et méthodes d'observation (CIMO).

N. Fletcher, R. Goebel et S. Solve ont assisté aux réunions du Comité technique sur l'électricité et le magnétisme de l'EUROMET pour les sous-domaines sur la métrologie en courant continu et la métrologie quantique et sur les basses fréquences, au MIKES, Espoo (Finlande), du 25 au 29 juin 2007.

S. Solve et R. Chayramy se sont rendus à Delft (Pays-Bas), du 18 au 25 octobre 2006, pour une comparaison d'étalons de Josephson avec le NMI VSL.

S. Solve s'est rendu au :

- NIST, Boulder (États-Unis), du 1^{er} au 8 octobre 2006, afin de sélectionner et d'apprendre à faire fonctionner un réseau de jonctions de Josephson supraconducteur-normal-métal-supraconducteur de 1,2 V ;
- LNE, Trappes (France), le 2 février 2007, pour des discussions techniques.

4.8 Activités en liaison avec des organisations extérieures

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

N. Fletcher est membre du Comité du programme de la CPEM.

4.9 Activités liées au travail des Comités consultatifs

T.J. Witt est secrétaire exécutif du CCEM. Il a assisté aux réunions des groupes de travail du CCEM à la CPEM 2006 à Turin, Italie (voir 4.7.3). Une réunion du Groupe de travail du CCEM sur les propositions de modification au SI a eu lieu les 16 et 17 janvier 2007 au BIPM. La réunion du CCEM a eu lieu les 14 et 15 mars 2007 ; elle a été précédée de trois jours de réunions de ses groupes de travail (pour les grandeurs aux radiofréquences, sur les mesures de la résistance de Hall quantifiée en courant alternatif, pour les grandeurs aux basses fréquences, sur les organisations régionales de métrologie, sur la planification stratégique).

M. Stock est secrétaire exécutif du CCPR et membre de droit de tous ses groupes de travail. Le CCPR s'est réuni les 21 et 22 juin 2007 ; il a été précédé de trois jours de réunion de ses groupes de travail (sur les comparaisons clés, sur les CMCs, sur la planification stratégique et sur l'ultraviolet). M. Stock a été secrétaire exécutif du CCT jusqu'en septembre 2006 et il a participé à l'élaboration du rapport du sous-groupe de travail du CCT sur le SI sur les implications de la redéfinition du kelvin. Il est aussi

membre des groupes de travail du CCEM sur la planification stratégique et sur les propositions de modification au SI. Il est devenu secrétaire exécutif du CCEM en juillet 2007.

4.10 Visiteurs de la section d'électricité

- MM. J. Butorac et D. Ilic (Université de Zagreb, Faculty of Electrical Engineering and Computing, Croatie) et M. R. di Silva (LNE), le 14 septembre 2006 ; visite des laboratoires de mesures d'impédance, de tension et de la balance du watt.
- MM. D. Woldman (conseiller scientifique de M. W. Anderson) et A. Gilla (NIST), le 4 octobre 2006 ; discussions sur le travail de la section d'électricité.
- M. F. Overney (METAS), les 7 et 8 septembre 2006, pour un audit qualité externe des mesures de capacité.
- Mme S. Djordjevic (LNE), les 19 et 20 septembre 2006, pour un audit qualité externe des étalonnages de tension en courant continu.
- M. D. Inglis (NRC), les 16 et 17 octobre 2006, pour un audit qualité externe des mesures de résistance.
- M. R. Behr (PTB), du 14 au 17 novembre 2006, pour la livraison, la mise en service et des discussions techniques sur un réseau supraconducteur-isolant métal-normal-isolant-supraconducteur de 10 V.
- Mme S. Djordjevic et M. O. Seron (LNE), du 14 au 17 novembre 2006, pour une visite et des discussions sur les dispositifs d'étalonnage d'étalons de tension.
- MM. C. Buchal (Jülicher SQUID GmbH) et O. Monnoye (LNE), le 23 février 2007, pour une visite du laboratoire de mesures de tension en courant continu et pour des discussions techniques.
- M. A. Katkov (VNIIM), le 15 mars 2007, pour une visite et des discussions sur l'organisation d'une comparaison d'étalons de tension.
- MM. K. Kyu-Tae, K. Tae-Weon et S. Yang Sup (KRISS), le 16 mars 2007, pour une visite du laboratoire de mesures de tension en courant continu.
- MM. K. Koji et N. Yasuhiro (NMIJ), le 16 mars 2007, pour une visite du laboratoire de mesures de tension en courant continu.

- M. W. van Bommel (Philips Lighting), président de la CIE, le 2 avril 2007, pour une visite de la balance du watt et des laboratoires d'électricité.
- MM. J. Ferris, J. Gust et C. Hockert (NCSLI), le 3 avril 2007, pour une visite de la balance du watt et des laboratoires d'électricité.
- Mme T. Cincar-Vujovic et M. Z. Sofranac (DMDM), le 17 avril 2007, pour une visite, pour des discussions et pour reprendre un étalon de tension après étalonnage.

5 RAYONNEMENTS IONISANTS (P.J. ALLISY-ROBERTS)

5.1 Rayons x et γ

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

5.1.1 Étalons et équipements pour la dosimétrie

Une nouvelle détermination du taux de kerma dans l'air dans le champ de référence du ^{60}Co a été effectuée au moyen de la chambre d'ionisation à volume variable conçue et fabriquée au BIPM, et une méthode différentielle a été élaborée, dans laquelle les changements du courant d'ionisation sont mesurés en fonction de changements connus du volume de la chambre. L'expérience a demandé un grand nombre de mesures dimensionnelles, effectuées au moyen de la machine à mesurer les coordonnées du BIPM, ainsi que des mesures ionométriques pour chaque taille de chambre, corrigées pour les effets de recombinaison des ions, de polarité, d'orientation et de dispersion des tiges. Il a aussi fallu faire des calculs de Monte Carlo de haute précision de k_{wall} et de k_{an} pour chaque taille de chambre. Quand on effectue une analyse différentielle, les résultats de la chambre de volume variable donnent un taux de kerma dans l'air supérieur à celui de l'étalon actuel de $2,7 \times 10^{-3}$ en valeur relative. Une partie de ce résultat égale à $1,5 \times 10^{-3}$ est due aux différentes méthodes utilisées, différentielles ou directes. Les $1,2 \times 10^{-3}$ restants viennent de la différence entre la détermination directe du volume de la nouvelle chambre et de celui de l'étalon actuel. Ces résultats ont été présentés au CCRI et une décision a été prise quant à la meilleure estimation. Ce changement sera mis en œuvre, ainsi

que les modifications à l'étalon proposées en 2005, après publication des derniers résultats dans une publication externe. Dans le même temps, l'activité plus élevée de la source de ^{60}Co (CIS-Bio) sera adoptée comme champ de référence.

Les résultats des calculs, par la méthode de Monte Carlo, des facteurs de correction de l'étalon de dose absorbée dans l'eau pour le ^{60}Co ont été présentés au CCRI. Bien qu'ils indiquent un changement global de 4×10^{-3} , il a été décidé d'attendre les résultats de l'étalon calorimétrique de dose absorbée dans l'eau du BIPM avant de prendre une décision quant à la mise en œuvre de ces changements. Les résultats seront publiés dans *Physics in Medicine and Biology*.

Un calorimètre de dose absorbée dans le graphite, d'une conception nouvelle, est en cours de construction au BIPM. Sa conception est telle que la capacité calorifique spécifique du graphite à la température ambiante est utilisée pour obtenir la dose absorbée directement à partir de l'augmentation mesurée de la température. Pour une meilleure compréhension des diverses incertitudes impliquées, une série de mesures différentielles de la capacité calorifique spécifique du graphite a été effectuée au cours de l'année passée, en particulier afin d'identifier les causes de certains effets systématiques. Ces mesures, combinées à de précédentes mesures directes, ont contribué à l'élaboration d'un bilan d'incertitudes robuste. La capacité calorifique spécifique d'un échantillon particulier de graphite a été déterminée avec une précision relative de 9×10^{-4} .

La capacité calorifique spécifique du saphir synthétique, un matériau de référence pour cette grandeur, a été déterminée récemment avec une incertitude relative composée de 9×10^{-4} à la température ambiante. Le résultat est en accord avec les déterminations précédentes effectuées par d'autres groupes. L'étude actuelle vient étayer la crédibilité des résultats et l'incertitude déclarée obtenue pour le graphite, non seulement pour la méthode expérimentale mais aussi pour la technique d'analyse empirique qui est appliquée aux mesures variables avec la température et le temps.

Un ensemble d'échantillons a été fabriqué à partir du même bloc de graphite ultra-pur que celui employé pour le cœur du calorimètre. Ces échantillons sont en cours de mesure afin de déterminer la reproductibilité des mesures et d'établir la valeur de la capacité calorifique spécifique du cœur.

La plupart des composants du calorimètre en graphite sont maintenant fabriqués et leur assemblage est en préparation.

Le travail sur les équipements pour la mammographie au BIPM se poursuit afin de préparer des comparaisons en dosimétrie pour la mammographie. Un nouvel étalon primaire a été construit ; il est conçu pour minimiser l'incertitude des facteurs de correction à appliquer. Les mesures initiales ont conduit à une optimisation des mesures de la température de l'air. Une différence d'environ 4×10^{-3} entre les chambres actuelles et les nouvelles chambres à paroi d'air a motivé une étude sur l'effet des interstices d'air autour de la plaque du collecteur. Des mesures sont prévues pour étudier l'uniformité du champ électrique. Un tube à rayons x à cible en molybdène sera installé plus tard en 2007. Le travail préalable sur l'établissement des faisceaux d'une anode de tungstène aux qualités mammographiques et sur la réponse des chambres à ions dans ces faisceaux a été publié dans deux rapports BIPM.

Une partie de ce travail concernait le calcul par la méthode de Monte Carlo des facteurs de correction pour les étalons à rayons x du BIPM, y compris les effets de transmission des photons, de dispersion et de fluorescence dus au diaphragme en tungstène. Les calculs pour les rayons x aux faibles énergies indiquent la présence de fluorescence du diaphragme et un facteur de correction composé pouvant atteindre 2×10^{-3} . Une correction d'une valeur similaire a été évaluée pour l'étalon pour les rayons x aux moyennes énergies, bien que dans ce cas l'effet dominant provienne des électrons énergétiques provenant du diaphragme et atteignant la région de collecte. Plus important, les calculs aux énergies moyennes ont conduit à l'identification d'une composante de dispersion due au support du diaphragme. L'effet mesuré (et calculé) est supérieur à 6×10^{-3} à 250 kV et explique la dérive en fonction de la qualité du rayonnement observée dans les résultats d'un certain nombre de comparaisons du BIPM au cours des trente dernières années.

Un certain nombre d'aspects du programme de dosimétrie ont été présentés sous forme d'articles ou de posters à l'atelier sur les étalons primaires de dose absorbée et de kerma dans l'air qui s'est tenu au LNE (France) en mai 2007, atelier organisé conjointement par le LNE-LNHB (France) et le BIPM. Les mesures primaires et les étalonnages de chambres de référence se poursuivent pour tous les faisceaux de référence pour les rayons x et les rayonnements γ , y compris pour les qualités de rayonnements pour la mammographie. Les étalonnages et les comparaisons sont étayés par un effort significatif consacré à l'étalonnage et à la maintenance des équipements, comme l'exige le Système Qualité du BIPM.

5.1.2 Comparaisons de dosimétrie

Des comparaisons de kerma dans l'air pour les rayons x aux basses énergies ont été effectuées avec le LSDG (Belgique) en juillet 2006 et avec le NRC (Canada) en mars 2007, ainsi que pour les rayons x aux moyennes énergies avec le LSDG (Belgique) en juillet 2006, avec le NMIJ (Japon) en septembre 2006, et en juin 2007 avec le LNHB (France) et le NPL (Royaume-Uni). De plus, une troisième série de mesures a été effectuée en septembre 2006 pour la comparaison de rayons x aux basses énergies avec le NMIJ (Japon). Une comparaison de dose absorbée dans l'eau dans le rayonnement γ du ^{60}Co avec l'ENEA (Italie) a été effectuée en avril 2007. Les projets de rapport de cinq de ces huit comparaisons sont déjà disponibles, ainsi qu'un projet de rapport d'une précédente comparaison de rayons x avec le NIM (Chine). Les rapports des précédentes comparaisons de kerma dans l'air avec l'OMH (Hongrie) dans le rayonnement γ du ^{60}Co et de rayons x aux moyennes énergies avec le NIST (États-Unis) ont été publiés. La comparaison de dosimétrie du CCRI pour le traitement des rayonnements industriels à des niveaux élevés de dose absorbée (kGy), dont le BIPM est le laboratoire pilote, a été publiée dans *Radiation Physics and Chemistry*.

Le projet B du rapport qui résume toutes les comparaisons de kerma dans l'air dans le ^{60}Co a été approuvé, en principe, par la Section I du CCRI. Un certain nombre de rapports de comparaisons connexes avec le BARC (Inde), le GUM (Pologne), l'ITN (Portugal), le NIM (Chine) et le NPL (Royaume-Uni) sont encore en discussion. Les rapports des précédentes comparaisons de rayons x avec l'ARPANSA (Australie), le BEV (Autriche) et le NMI (Pays-Bas) sont en préparation.

Les quatre chambres de transfert pour la comparaison clé du CCRI de dose absorbée aux hautes énergies continuent à être mesurées périodiquement dans le faisceau de ^{60}Co du BIPM. Une de ces chambres sera utilisée, avec une chambre d'ionisation de type paroi, dans la prochaine comparaison du CCRI de dosimétrie en curiethérapie pour les sources de ^{192}Ir dont le BIPM sera le laboratoire pilote.

5.1.3 Étalonnage d'étalons nationaux pour la dosimétrie

L'examen des procédures d'étalonnage et l'audit externe des services d'étalonnage se sont achevés en novembre 2006. Il n'a pas été relevé de non-conformité.

Six séries d'étalonnages d'étalons nationaux ont été effectuées pour les rayons x aux moyennes énergies pour l'AIEA, le LNHB (France) et le NIS

(Égypte). Deux autres séries d'étalonnages ont été effectuées pour les rayons x aux basses énergies pour l'AIEA et le NIS (Égypte).

Onze étalonnages d'étalons nationaux ont été effectués dans les faisceaux de rayonnement γ du BIPM pour le kerma dans l'air et la dose absorbée dans l'eau, à la demande du ČMI (Rép. tchèque), du KRISS (Rép. de Corée) et du NIS (Égypte), et de l'AIEA. Deux étalonnages d'équivalent de dose ambiant ont été effectués pour le CRRD (Argentine).

Le programme de vérification pour la dosimétrie de l'AIEA et de l'OMS continue à être étayé par des irradiations de référence dans le faisceau de ^{60}Co .

5.2 Radionucléides

(P.J. Allisy-Roberts, S. Courte, C. Michotte, M. Nonis et G. Ratel)

5.2.1 Comparaison de mesures d'activité d'une solution de ^{55}Fe

Les derniers résultats envoyés par les 18 laboratoires qui ont pris part aux mesures d'une solution de ^{55}Fe préparée et distribuée par le NPL ont été reçus au BIPM à la fin de novembre 2006. Le projet A de rapport a ensuite été préparé et distribué aux participants pour commentaires et correction. Les résultats ont aussi été discutés pendant la réunion de la Section II du CCRI en mai 2007. Un projet B de rapport est en préparation, bien que certains commentaires soient encore en attente. Certains traits pertinents de la comparaison sont soulignés ici.

La solution de FeCl_3 dans de l'acide chlorhydrique à 1 mol/L avec 10 $\mu\text{g/g}$ de FeCl_3 inactif comme entraîneur a été envoyée à 19 laboratoires ; 17 d'entre eux ont envoyé 25 résultats indépendants. Suivant les procédures approuvées par la Section II du CCRI pour mettre en œuvre le MRA du CIPM, seuls les 16 participants utilisant des méthodes primaires sont habilités à participer à l'évaluation de la valeur de référence de la comparaison clé. Les 11 laboratoires qui ont vérifié les impuretés n'ont détecté aucune impureté émettant du rayonnement γ dans la solution qui a été distribuée. Douze méthodes différentes ont été utilisées ; elles peuvent être divisées en quatre groupes principaux : des méthodes utilisant des compteurs proportionnels (à pression ou non) avec des détecteurs de $\text{NaI}(\text{TI})$, ou employés seuls, des méthodes par scintillation liquide (CIEMAT/NIST, rapport des coïncidences triples aux coïncidences doubles, ou traceur d'efficacité des coïncidences $4\pi(\text{LS})\beta\text{-}\gamma$), calorimétrie 4π , et méthodes fondées sur le comptage de rayons x dans des angles solides définis avec différents types de détecteurs. Les caractéristiques des détecteurs et des

dispositifs utilisés par les laboratoires pour la détermination de l'activité sont entièrement décrits dans le projet A de rapport. Lorsque c'est possible, une analyse des résultats, méthode par méthode, a été effectuée afin de souligner toute source potentielle d'incertitude liée à la méthode. À l'exception de deux valeurs, peut-être aberrantes, les résultats montrent une homogénéité remarquable ; ceux obtenus par les méthodes par scintillation liquide sont en bon accord. L'utilisation du ^{54}Mn comme traceur à la place de ^3H peut augmenter la précision des mesures mais n'altère pas vraiment la valeur finale de la détermination de l'activité. Les valeurs obtenues au moyen de compteurs proportionnels avec traceur d'efficacité montrent une plus grande dispersion. Les autres méthodes mentionnées, comme le comptage de rayons x ou la calorimétrie, sont en bon accord avec la valeur moyenne de la comparaison. Toutefois il subsiste un certain nombre de problèmes non résolus, en particulier au BIPM, et il est nécessaire d'entreprendre d'autres recherches pour clarifier l'origine de cette différence. Après ces recherches, une autre comparaison sera organisée avec le BIPM, l'ENEA et un ou deux laboratoires de liaison, comme cela a été proposé lors de la réunion de la Section II du CCRI. Malheureusement, le résultat global de la comparaison actuelle ne montre aucune amélioration par rapport à une comparaison similaire organisée en 1996 dans le cadre de l'ICRM. Une autre conclusion, plus encourageante, est qu'une évaluation objective, mais légèrement optimiste, des incertitudes a été identifiée en utilisant le critère de Birge.

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

En 2006, le BIPM a reçu trente ampoules appartenant à treize laboratoires : une ampoule du BARC contenant du ^{65}Zn , une ampoule du CIEMAT contenant du ^{22}Na , deux ampoules du ČMI-IIR (l'une contenant du ^{56}Co et l'autre du ^{131}I), deux ampoules de l'IFIN-HH (l'une contenant du ^{60}Co et l'autre du ^{134}Cs), une ampoule de l'IRA-METAS contenant du $^{166}\text{Ho}^m$, quatre ampoules de l'IRMM contenant toutes du ^{237}Np (pour un lien à une comparaison de l'EUROMET et pour obtenir la valeur de référence de la comparaison clé pour ce radionucléide), neuf ampoules du LNE-LNHB (une ampoule contenant du ^{51}Cr , deux du ^{54}Mn , une du ^{75}Se , quatre du ^{85}Kr et une du ^{111}In), une ampoule du LNMRI/IRD contenant du ^{51}Cr , deux ampoules du NMIJ (l'une contenant du ^{57}Co et l'autre du ^{133}Ba), trois ampoules du NPL (une ampoule contenant du ^{54}Mn et deux du ^{201}Tl), une ampoule de l'OMH (renommé MKEH) contenant du ^{54}Mn , deux ampoules de la PTB (l'une

contenant du ^{22}Na et l'autre du ^{186}Re), et une ampoule du VNIIM contenant du ^{241}Am (pour un lien à une comparaison de COOMET).

Toutes les ampoules soumises, à l'exception de trois ampoules de ^{237}Np de masse différente et les quatre ampoules de ^{85}Kr soumises pour l'étude sur l'effet de la pression du gaz, l'ont été afin de générer des valeurs d'équivalence pour les comparaisons clés en continu du BIPM. Le nombre total d'ampoules mesurées depuis les débuts du SIR en 1976, y compris les nouvelles mesures enregistrées en 2006, est maintenant de 923, ce qui correspond à 673 résultats indépendants pour 63 radionucléides différents.

La faible activité de l'ampoule de ^{241}Am a produit un courant d'ionisation de seulement 310 fA environ dans les chambres du SIR, il a donc été décidé de mesurer l'ampoule plusieurs fois dans différentes conditions expérimentales, avec la chaîne de mesure originale du SIR et avec la nouvelle chaîne électronique ; le résultat final est obtenu par la moyenne pondérée des mesures individuelles. Un facteur de correction, déduit du travail de A. Rytz (Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Am-241 of the activity measurements of the radionuclide ^{241}Am , *Metrologia*, 2003, **40**, *Tech. Suppl.*, 06001), afin de tenir compte de la masse volumique élevée de la solution de ^{241}Am , a été appliqué et le résultat final est en accord avec les autres données pour ce radionucléide. Cette ampoule de ^{241}Am du VNIIM a soumise pour effectuer la liaison avec les résultats d'une comparaison récente de COOMET.

Suite à la soumission officielle des résultats de l'activité absolue du ^{237}Np , qui constitue une nouvelle comparaison clé du SIR, le rapport final a été publié ; il contient les liens à une comparaison précédente de l'EUROMET.

Le NPL a identifié un problème lié à la préparation de la première ampoule de ^{201}Tl qu'ils ont soumis et celle-ci a été retirée, l'ampoule soumise par la suite donne un résultat en bon accord avec ceux des autres participants.

Conformément à une demande émise par le CIPM, les procédures du SIR ont fait l'objet d'une documentation exhaustive et un audit externe par les pairs a eu lieu en novembre 2006. Certaines modifications nécessaires pour clarifier les procédures ont été recommandées et presque toutes ont été mises en œuvre ; seules deux instructions doivent faire l'objet de documents plus détaillés.

L'année 2006 correspond aux premiers douze mois de fonctionnement de la nouvelle chaîne d'acquisition des données pour le SIR en parallèle au système actuel. Les résultats montrent un accord au niveau de 10^{-4} environ, valeur qui se situe bien dans les limites des incertitudes de mesure. Les

systèmes continueront à fonctionner en parallèle jusqu'à la fin de 2007, date à laquelle le nouveau système sera utilisé pour mesurer les ampoules du SIR, à condition que les essais et la validation actuelle continuent d'indiquer que la stabilité requise est atteinte. Le nouveau système a fait l'objet d'une documentation exhaustive et il est prêt à être mis en service.

L'extension du SIR aux radionucléides à courte durée de vie utilisant un instrument de transfert de type paroi NaI(Tl) progresse. Le détecteur et les supports de source ainsi qu'un blindage en plomb spécial ont été conçus et fabriqués à l'atelier du BIPM. L'ensemble du système a été vérifié de manière approfondie et des mesures ont été effectuées afin de permettre l'évaluation de l'incertitude des mesures prévues pour la comparaison. Une solution de $^{99}\text{Tc}^m$ produite et normalisée au LNE-LNHB a été mesurée dans le SIR et dans l'instrument de transfert ; les résultats sont prometteurs. Quand l'analyse en sera terminée, cette mesure de $^{99}\text{Tc}^m$ dans l'instrument de transfert permettra de calculer le facteur de liaison au SIR avant la première comparaison sur site dans un laboratoire national de métrologie.

5.2.3 Spectrométrie gamma

Aucune impureté significative n'a été identifiée pour les solutions de ^{131}I , $^{166}\text{Ho}^m$ et ^{65}Zn soumises au SIR. Les impuretés attendues de ^{57}Co et de ^{58}Co ont été mesurées dans une solution de ^{56}Co . Du ^{99}Mo a été détecté dans la solution de $^{99}\text{Tc}^m$ mesurée dans le SIR et dans l'instrument de transfert du SIR. Le BIPM a demandé au CCRI l'aide d'un laboratoire national de métrologie pour étalonner un spectromètre au germanium hyper-pur.

5.3 Publications, conférences et voyages : section des rayonnements ionisants

5.3.1 Publications extérieures

1. Allisy-Roberts P.J., Ambrosi P., Bartlett D.T., Coursey B.M., DeWerd L.A., Fantuzzi E., McDonald J.C., Measurement Quality Assurance for Ionizing Radiation Dosimetry, ICRU Report 76, *Journal of the ICRU*, 2006, **6**(2), 50 p.
2. Burns D.T., Allisy-Roberts P.J., Desrosiers M.F., Nagy V. Yu, Sharpe P.H.G., Laitano R.F., Mehta K., Schneider M.K.H., Zhang Y.L., CCRI supplementary comparison of standards for absorbed dose to water in ^{60}Co gamma radiation at radiation processing dose levels, *Rad. Phys. Chem.*, 2006, **75**(9), 1087-1092.

3. Burns D.T., O'Brien M., Comparison of the NIST and BIPM standards for air kerma in medium-energy x-rays, *J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol.*, 2006, **111**, 385-391.
4. Ma L.-S., Picard S., Zucco M., Chartier J.-M., Robertsson L., Balling P., Kren P., Qian J., Liu Z., Shi C., Alonso M.V., Xu G., Tan S.L., Nyholm K., Henningsen J., Hald J., Rowley W.R.C., Barwood G.P., Windeler R., Absolute frequency measurement of the R(12) 26-0 and R(106) 28-0 transitions in $^{127}\text{I}_2$ at $\lambda = 543$ nm, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 2006, **55**, 876-880.
5. Ratel G., Median and weighted median as estimators for the key comparison reference value (KCRV), *Metrologia*, 2006, **43**(4), S244-S248.
6. Ratel G., Michotte C., Bobin C., Moune M., Coursol N., Update of the ongoing comparison BIPM.RI(II)-K1.Ga-67 to include the activity measurements of the LNE-LNHB, France, *Metrologia*, 2006, **43**, *Tech. Suppl.*, 06008.

5.3.2 Rapports BIPM

7. Kessler C., Roger P., Burns D.T., Allisy P.J., Machula G., Csete I., Rabus H., Comparison of the standards for air kerma of the BIPM and the OMH for ^{60}Co gamma radiation, *Rapport BIPM-2006/07*, 14 p.
8. Kessler C., Establishment of simulated mammography radiation qualities at the BIPM, *Rapport BIPM-2006/08*, 8 p.
9. Kessler C., Burns D.T., Büermann L., de Prez L.A., A study of the response of ionization chambers to mammography beams, *Rapport BIPM-2007/02*, 8 p.

5.3.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

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

- à Trappes (France), le 4 juillet 2006, pour représenter le BIPM lors de l'inauguration du nouveau laboratoire d'électricité du LNE ;
- à Londres (Royaume-Uni), le 18 juillet 2006, les 16 janvier, 17 avril et 28 juin 2007 pour le comité de rédaction du *Journal of Radiological Protection* ; le 5 juin 2007 pour assister à un séminaire sur la gestion de projet à l'Institute of Physics ;

- à Vienne (Autriche), le 18 septembre 2006, pour assister à la Conférence générale de l'AIEA et pour faire une présentation aux organisations intergouvernementales sur le transport d'échantillons ;
- à Leeds (Royaume-Uni), les 17 et 18 octobre 2006, pour assister au DTI Measurement Advisory Committee (MAC) ;
- au LNE (France), les 13 novembre 2006 et 16 mars 2007, pour assister au Comité scientifique pour les rayonnements ionisants ;
- à la PTB, Berlin (Allemagne) les 6 et 7 décembre 2006, pour participer à un atelier sur la coopération dans le domaine de la recherche en Europe, comme invité du DTI ;
- au NPL (Royaume-Uni), les 19 et 20 février 2007, pour présider le groupe de travail du MAC sur l'acoustique et les rayonnements ionisants.

P.J. Allisy-Roberts et C. Kessler se sont rendues à Paris (France), du 9 au 11 mai 2007, pour assister à l'atelier commun au LNE et au BIPM sur les étalons primaires de dose absorbée et de kerma dans l'air.

D.T. Burns s'est rendu à :

- Athènes (Grèce), les 26 et 27 octobre 2006, pour représenter le BIPM à la réunion de l'EUROMET des personnes à contacter dans le domaine des rayonnements ionisants ;
- Columbus (Ohio, États-Unis), du 9 au 15 novembre 2006, pour assister aux réunions de la principale commission de l'ICRU et aux réunions de son comité « Fundamental Quantities and Units » ;
- Barcelone (Espagne), les 22 et 23 mars 2007, pour assister à une réunion du « Report Committee on Key Data for Measurement Standards in the Dosimetry of Ionizing Radiation » de l'ICRU ;
- Paris (France), du 9 au 11 mai 2007, pour présenter deux articles et assister à l'atelier commun au LNE et au BIPM sur les étalons primaires de dose absorbée et de kerma dans l'air ;
- l'AIEA, Vienne (Autriche), du 25 au 29 juin 2007, comme consultant à l'AIEA sur la révision du Technical Report TRS-374 de l'AIEA.

D.T. Burns et C. Kessler se sont rendus à Séoul (Rép. de Corée), du 28 août au 1^{er} septembre 2006, pour participer au congrès mondial Medical Physics and Biomedical Engineering ; C. Kessler y a présenté un poster sur les facteurs de correction pour la chambre à parois d'air du BIPM.

C. Kessler et C. Michotte se sont rendues à Teddington (Royaume-Uni), les 26 et 27 mars 2007, pour assister à un atelier international sur les codes de Monte Carlo au NPL.

C. Michotte s'est rendue à Paris (France), le 27 novembre 2006, pour participer à une réunion du groupe de travail de l'ICRM sur la comparaison des codes de Monte Carlo utilisés pour la spectrométrie du rayonnement γ .

C. Michotte et G. Ratel se sont rendus à Saclay (France), les 19 et 20 mars 2007, pour participer à un atelier VERMI sur les mesures de coïncidences au LNE-LNHB.

S. Picard s'est rendue :

- à Coimbra (Portugal), du 17 au 22 septembre 2006, pour participer au 10^e International Symposium on Radiation Physics, et pour présenter « Towards an absorbed dose calorimeter at the BIPM: Determination of the Specific Heat Capacity of Graphite » ;
- à Paris (France), le 7 novembre 2006, pour participer à une journée de conférence sur les applications du logiciel Comsol d'analyse par éléments finis, qui incluait un petit cours interactif ;
- au LNE (France), du 9 au 11 mai 2007, pour présenter un article et un poster sur la recherche sur le calorimètre en graphite au BIPM et assister à l'atelier commun au LNE et au BIPM sur les étalons primaires de dose absorbée et de kerma dans l'air.

G. Ratel s'est rendu à :

- Paris (France), du 8 au 11 janvier 2007, pour assister à deux groupes de travail de l'ICRM, le premier sur la scintillation liquide et le second sur les sciences de la vie ;
- Fontenay-aux-Roses (France), les 5 et 6 février 2007, pour assister au cours sur le traitement des contaminations après des accidents radiologiques ;
- Ispra (Italie), les 5 et 6 mars 2007, pour assister au comité scientifique de la conférence ICRM 2007 qui se tiendra au Cap en septembre 2007 et au bureau exécutif de l'ICRM ;
- Rungis (France), du 15 au 19 mars 2007, pour assister aux « Cinquièmes rencontres des personnes compétentes en radioprotection », pour conserver sa qualification dans le domaine de la radioprotection.

5.4 Activités en liaison avec des organisations extérieures

P.J. Allisy-Roberts préside le Groupe de travail commun de l'UK National measurement system programme for ionizing radiation and acoustics et l'UK Ionising Radiation Health and Safety Forum. Elle représente le BIPM au comité scientifique des laboratoires secondaires de dosimétrie de l'AIEA et est membre du comité scientifique « rayonnements ionisants » (LNE, France). Elle est aussi membre du comité de rédaction du *Journal of Radiological Protection* et du comité éditorial de la *Revue française de métrologie*, ainsi que conseiller de *Physics in Medicine and Biology*, de *Medical Physics* et du *British Journal of Radiology*.

D.T. Burns représente le BIPM aux réunions de l'ICRU ; il est membre du comité de l'ICRU sur les unités et grandeurs fondamentales et de l'ICRU Report Committee. Il représente le BIPM aux réunions des personnes chargées des relations dans le domaine des rayonnements ionisants et de la radioactivité au sein de l'EUROMET et consultant à l'AIEA. 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), dont il est un des vice-présidents. Il est aussi conseiller de *Metrologia*, *Applied Radiation and Isotopes* et de *Nuclear Instruments and Methods*.

5.5 Activités liées au travail des Comités consultatifs

P.J. Allisy-Roberts est secrétaire exécutive du CCRI et de ses trois Sections, qui se sont réunies en mai 2007 avec deux séminaires invités et deux réunions de groupes de travail. Elle est aussi secrétaire exécutive du CCAUV, qui s'est réuni en septembre 2006, suivi d'une réunion du Groupe de travail du CCAUV sur les organisations régionales de métrologie. Elle a participé au Groupe de travail du CCRI sur les organisations régionales de métrologie, en novembre 2006, et préparé l'atelier sur les coïncidences en mars 2007 et la réunion du Groupe de travail sur l'extension du SIR en avril. Cette année, ont été publiés la nouvelle *Monographie BIPM 6* et un volume supplémentaire de la *Monographie BIPM 5*, en soutien au travail de la Section II du CCRI.

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 étalons en curiethérapie. Ils ont tous deux joué un rôle majeur dans l'atelier commun au CCRI et au LNE-LNHB sur les étalons en dosimétrie qui a eu lieu en mai 2007 en liaison avec la réunion de la Section I du CCRI.

C. Michotte coordonne le Groupe de travail de la Section II du CCRI sur l'instrument de transfert du SIR. Elle est la personne à contacter au BIPM et le rapporteur du Groupe de travail 1 du Comité commun pour les guides en métrologie, qui s'est réuni en octobre 2006 et en avril 2007.

G. Ratel est membre des groupes de travail de la Section II du CCRI sur l'extension du SIR aux émetteurs de rayonnement bêta (qui s'est réuni à Sèvres les 12 et 13 avril 2007), sur les comparaisons clés (qui s'est réuni à Sèvres le 17 novembre 2006 et le 21 mai 2007, avec P.J. Allisy-Roberts et C. Michotte), sur les incertitudes de mesure et sur la réalisation du becquerel (qui s'est réuni à Sèvres le 22 mai 2007, et dont il est le rapporteur).

G. Ratel et C. Michotte ont grandement contribué en tant qu'auteurs au numéro spécial de *Metrologia* sur la métrologie des radionucléides et, avec P.J. Allisy-Roberts et D.T. Burns, comme « referees ».

5.6 Visiteurs de la section des rayonnements ionisants

- MM. P. Cassette (LNE-LNHB) et I. Constantin (IFIN), le 10 juillet 2006.
- Mme I. Le Garrères, MM T. Branger et D. Lacour (LNE-LNHB), le 11 juillet 2006.
- Mme M.-N. Amiot, Mme I. Moreau, MM M. Morin et F. Rigoulay (LNE-LNHB), le 14 septembre 2006.
- MM. K. R. Shortt et A. Fajgelj (AIEA), le 5 octobre 2006.
- M. P. Costa (LNMRI/IRD), le 20 novembre 2006.
- M. A. Pearce (NPL), le 20 novembre 2006.
- M. A. Yunoki (NMIJ/AIST), le 21 novembre 2006.
- Mmes E. Le Ray et C. Cholet (ASN, Paris), le 24 novembre 2006.
- M. B. Chauvenet (LNE-LNHB), le 11 janvier 2007.
- Mme M.-G. Iroulart (LNE-LNHB), le 27 mars 2007.
- M. Zhang Hui (NIM), le 31 mai 2007.
- M. D.B. Hibbert (Univ. New South Wales), le 14 juin 2007.
- M. C. Bobin (LNE-LNHB), le 20 juin 2007.

5.7 Chercheurs invités et stagiaires

- M. N. Reynaert (LSDG), du 3 au 7 juillet 2006.
- M. M.G. Cox (NPL), du 24 au 26 juillet 2006.

- MM. N. Saito et T. Kurosawa (NMIJ), du 17 au 22 septembre 2006.
- Mme L. Karam (NIST), pour l'audit du Système Qualité du SIR, les 15 et 16 novembre 2006.
- M. I. Csete (MKEH), pour l'audit du Système Qualité en dosimétrie, du 22 au 24 novembre 2006.
- Mme N. Rabie et Mme N. Khaled (NIS), du 24 janvier au 7 février 2007.
- M. J. Mc Caffrey (NRC), du 5 au 8 mars 2007.
- Mlle M.-K. O'Brien (États-Unis), du 2 au 27 avril 2007.
- M. A. Guerra (ENEA), du 16 au 20 avril 2007.
- M. L. Czap (AIEA), du 21 au 25 mai 2007.

6 CHIMIE (R.I. WIELGOSZ)

6.1 Programme sur la métrologie des gaz

(M.B. Esler*, E. Flores, P. Moussay, J. Viallon et R.I. Wielgosz)

6.1.1 Programme de comparaisons de photomètres mesureurs d'ozone (P. Moussay et J. Viallon)

En octobre 2006, le protocole d'une nouvelle comparaison clé coordonnée par le BIPM (BIPM.QM-K1 – Ozone au niveau ambiant) a été distribué aux participants potentiels ; il a été placé sur le site Web du BIPM puis présenté au Groupe de travail sur l'analyse des gaz qui s'est tenu au KRISS. La comparaison sera une comparaison clé en continu, et fera appel à participation tous les deux ans. Le premier participant du cycle 2007-2008 était le NIST en janvier 2007. Six autres participants sont attendus en 2007.

La méthode de régression linéaire généralisée par moindres carrés, déjà appliquée au logiciel OzonE, et mise au point par M. W. Bremser (BAM), a été intégrée au traitement des résultats de la comparaison de photomètres mesureurs d'ozone. Les avantages d'utiliser cette méthode sont décrits dans

* Jusqu'au 20 octobre 2006.

un article écrit en collaboration avec M. Bremser et soumis à *Metrologia* en mai 2007.

Un audit externe du Système Qualité établi pour les activités directement liées aux comparaisons de photomètres mesurant l'ozone a eu lieu avec succès en décembre 2006.

Mise à niveau des photomètres étalons de référence du NIST

Suite à l'étude des écarts systématiques et des incertitudes de mesure des photomètres étalons de référence du NIST, qui a été publiée dans *Metrologia* en octobre 2006, le NIST a établi un kit de mise à niveau des photomètres étalons de référence du NIST afin de minimiser les deux biais majeurs révélés par cette étude. Le kit comprend un bloc source modifié et de nouvelles cellules de gaz. L'isolation thermique du bloc source a été améliorée dans la version modifiée par rapport au système du BIPM fondé sur un système de refroidissement thermoélectrique, afin d'éviter le réchauffement du gaz par la lampe aux ultraviolets maintenue à 60 °C. Les nouvelles cellules de gaz sont des tubes en quartz fermés aux deux extrémités par des fenêtres en quartz scellées optiquement, parallèles et inclinées. Un système similaire, testé au BIPM pendant l'étude, a permis d'éviter les réflexions multiples du faisceau lumineux.

Un kit de mise à niveau des photomètres étalons de référence a été installé sur le photomètre BIPM-SRP32 en janvier 2007 par J. Norris (NIST) et P. Moussay, et une procédure d'installation a été mise au point. Le BIPM est maintenant capable d'installer des kits pour les participants à la comparaison clé BIPM.QM-K1 qui conserve un photomètre étalon de référence du NIST comme étalon national.

Mise au point d'un photomètre étalon de référence équipé d'un laser

Le programme de mise au point d'un candidat photomètre primaire mesurant l'ozone équipé d'un laser à fréquence doublée comme source de lumière se poursuit. La chaîne d'acquisition de l'intensité lumineuse a été modifiée afin d'utiliser des photodiodes à ultraviolets à la place des phototubes originaux dans un des photomètres étalons de référence conservés par le BIPM. Les essais ont montré que le bruit est toujours à un niveau aussi bas. En parallèle, des instabilités de la puissance du laser à argon ont été identifiées comme provenant des variations de température de l'eau de refroidissement. Le système de refroidissement du laser a été amélioré afin d'éliminer complètement cette source d'instabilité. Des filtres optiques additionnels ont été placés dans le faisceau laser afin de rejeter la portion résiduelle de la

longueur d'onde fondamentale (514 nm) du faisceau à fréquence doublée (257 nm). Le diamètre du faisceau a été augmenté et la puissance laser réduite avant l'intégration du système dans le photomètre étalon de référence modifié. Le banc optique du photomètre étalon de référence proprement dit a été remplacé en février 2007 afin d'utiliser le photomètre SRP32 mis à niveau, qui contient les nouvelles cellules de gaz en quartz avec les fenêtres inclinées. Les mesures initiales de concentration d'ozone effectuées avec cette première version d'un photomètre étalon de référence équipé d'un laser ont permis de mesurer les fractions molaires d'ozone dans l'air sec à 5 % près des valeurs déterminées au moyen d'un photomètre étalon de référence équipé d'une lampe à mercure. La prochaine étape sera consacrée à réduire le niveau de bruit du système laser au moyen d'un système de détection équilibré.

6.1.2 Équipement pour les étalons primaires de dioxyde d'azote (M.B. Esler*, E. Flores et P. Moussay)

L'équipement a été mis à niveau afin d'intégrer un générateur d'azote (muni d'un purificateur) ainsi qu'un nouveau logiciel de contrôle et d'acquisition des données pour le spectromètre infrarouge par transformée de Fourier, capable de transférer les résultats en temps réel. La mise à niveau permettra de réduire la quantité d'eau à des valeurs de fractions molaires inférieures à la nmol/mol dans le gaz entraîneur et d'éviter les éventuelles réactions dans la chambre à tube de perméation. Le générateur d'azote devrait produire de l'azote sec d'une pureté de 99,999 999 % (avec moins de 1 nmol/mol de H₂O et d'autres molécules comme l'oxygène).

L'enceinte en plexiglas pour le spectromètre infrarouge par transformée de Fourier a été modifiée afin de maintenir la concentration en eau à l'intérieur en dessous de 2 µmol/mol. Nous nous sommes procurés la collection Aldrich de la bibliothèque de spectres infrarouges par transformée de Fourier, 2^e édition, qui contient les spectres de 18 454 composés purs, afin d'analyser les impuretés du système de perméation. Des études sur la cohérence des concentrations en dioxyde d'azote calculées à partir du taux de perméation et des concentrations mesurées au moyen de divers analyseurs sont en cours. Des comparaisons de fractions molaires de dioxyde d'azote déterminées à partir du système de perméation et des valeurs certifiées des cylindres de gaz fondées sur la gravimétrie statique sont prévues. Suite à la demande du

* Jusqu'au 20 octobre 2006.

Groupe de travail du CCQM sur l'analyse des gaz, une comparaison déjà prévue d'étalons de dioxyde d'azote sera étendue pour inclure la comparaison de méthodes spectroscopiques pour la détermination de la concentration en gaz.

6.1.3 Équipement pour les comparaisons d'étalons de monoxyde d'azote (M.B. Esler*, P. Moussay et R.I. Wielgosz)

Toutes les mesures liées à l'étude coordonnée par le BIPM, CCQM-P73, ont été effectuées pendant la période comprise entre août 2006 et octobre 2007. Des étalons de monoxyde d'azote préparés par gravimétrie dans le domaine compris entre 30 $\mu\text{mol/mol}$ et 70 $\mu\text{mol/mol}$ provenant de onze laboratoires nationaux de métrologie ont été analysés au moyen de deux méthodes indépendantes (chimiluminescence et photométrie par ultraviolet) ainsi que par spectroscopie infrarouge par transformée de Fourier pour l'analyse des impuretés. Une nouvelle série d'études de validation a été effectuée en janvier 2007 afin de confirmer l'analyse des incertitudes. Une valeur de référence pour la comparaison a été calculée à partir de la série d'étalons de gaz la plus cohérente, et l'on a pu montrer que dans tous les cas sauf un des problèmes liés à la mesure des impuretés étaient la cause des différences entre les valeurs certifiées et la valeur de référence. Le projet A de rapport de la comparaison a été présenté au Groupe de travail du CCQM sur l'analyse des gaz en avril 2007 et le projet B de rapport a été envoyé au groupe de travail en juin 2007. L'équipement a aussi été mis à niveau au moyen du nouveau logiciel qui permet la communication directe entre l'analyseur d'ultraviolets et l'ordinateur, ce qui élimine la nécessité d'utiliser un voltmètre numérique et ne dégrade pas les performances du système.

6.2 Programme d'analyse organique

(A. Daireaux, R. Josephs, S. Westwood et R.I. Wielgosz)

Un équipement de mesure de pureté utilisant des procédures robustes pour identifier et estimer la quantité d'impuretés a été mis au point dans le cadre du programme d'analyse organique de la section de chimie. Un équipement dédié à la manipulation, au traitement et au stockage de matériaux à large échelle a été établi. La rénovation du laboratoire dans lequel on effectue le transfert contrôlé par gravimétrie de matériaux et la préparation de haute exactitude de solutions d'étalonnage s'est achevée en 2007. Les aptitudes de

* Jusqu'au 20 octobre 2006.

travail en laboratoire du BIPM sont étayées par des collaborations externes dans le cas de services spécialisés tels que la micro-analyse élémentaire, l'analyse granulométrique des particules et la spectroscopie nucléaire par résonance magnétique.

6.2.1 Mise au point des méthodes

La mise au point de la méthode et les études de validation nécessaires pour la production et la détermination des caractéristiques des matériaux pour l'étude pilote CCQM-P20.e sont terminées ; elles ont été étendues aux besoins de la future étude pilote CCQM-P20.f. En ce qui concerne l'étude pilote CCQM-P20.e, le point central était l'identification et la quantification de la théophylline et des composés de structure connexe du groupe xanthine. En ce qui concerne l'étude pilote CCQM-P20.f, des méthodes de détermination des glucosides stéroïdes tels que la digoxine et la digitoxine, et de divers glucosides cardiaques de structure connexe, ainsi que les aglycones correspondants, ont été élaborées. Les méthodes mises au point à cet effet pendant l'année passée comprennent les méthodes suivantes :

- la chromatographie liquide avec spectroscopie de masse assurant à la fois une identification qualitative des données et la quantification de la teneur en xanthine et en glucosides cardiaques ainsi que la détermination de l'homogénéité des impuretés inhérentes au matériau de digoxine ;
- la chromatographie liquide par ultraviolet, pour identifier le composant principal, le quantifier par étalonnage externe, et évaluer son homogénéité et les impuretés liées à la structure des composants du xanthine pour l'étude pilote CCQM-P20.e. La même approche est utilisée pour l'analyse du digoxine, matériau candidat pour l'étude pilote CCQM-P20.f ;
- l'analyse calorimétrique différentielle pour l'estimation de la fraction molaire d'échantillons de théophylline de grande pureté ;
- le titrage de Karl Fischer utilisant un four chaud afin de déterminer de faibles niveaux d'humidité dans des échantillons solides ; et
- les protocoles pour la préparation, les essais de stabilité et l'évaluation de l'homogénéité de matériaux de théophylline contenant des niveaux définis par gravimétrie d'impuretés de structure connexes et des matériaux de digoxine.

Des études complémentaires ont aussi été entreprises sur l'analyse de ces matériaux par chromatographie en phase gazeuse avec spectrométrie de

masse (pour les impuretés organiques volatiles) et par analyse thermogravimétrique (pour toutes les impuretés volatiles).

6.2.2 Coordination de l'étude pilote CCQM-P20 et mise au point de la comparaison clé CCQM-K55

À l'automne 2006, l'évaluation de l'homogénéité et de la stabilité de deux matériaux de théophylline candidats pour l'étude pilote CCQM-P20.e, la première comparaison coordonnée par le BIPM, a été menée à bien avec succès. Un échantillon de chacun des matériaux d'étude, l'un de théophylline de grande pureté (CCQM-P20.e.1) et l'autre contenant des fractions massiques d'impuretés de structure connexe définies par gravimétrie (CCQM-P20.e.2), contenant chacun au minimum 1 g de matériau, ont été envoyés à chacun des douze laboratoires participants dans des conditions contrôlées. Le BIPM était l'un des laboratoires participants. Il était demandé aux participants d'assigner la fraction massique et les incertitudes correspondantes de la théophylline dans chaque matériau et de fournir des estimations de la fraction massique de toutes les impuretés majeures. Les résultats initiaux et le premier projet de rapport de l'étude pilote ont été envoyés aux participants et ils ont été présentés à la réunion du Groupe de travail du CCQM sur l'analyse organique en avril 2007. Les estimations des fractions massiques de théophylline présentées pour les deux matériaux étaient en bon accord et, dans le cas du matériau de l'étude pilote CCQM-P20.e.2, en accord avec la valeur de référence déterminée par gravimétrie.

Une deuxième étude pilote, CCQM-P20.f, sera aussi coordonnée par le BIPM. La digoxine cardiotonique pharmaceutique est le principal composant de ce matériau d'étude. La mise au point de la méthode d'analyse nécessaire pour évaluer le degré d'homogénéité et la stabilité du matériau a débuté en 2007. Les essais d'homogénéité se sont achevés avec succès en juin 2007. Les mesures de la stabilité isochrone du matériau de digoxine sont prévues pour le troisième trimestre 2007. La distribution de fioles, contenant chacune 500 mg de digoxine, aux laboratoires participant à la comparaison, est prévue pour la fin de 2007, et la discussion initiale des résultats est prévue pour avril 2008.

Il a été proposé au BIPM de coordonner la comparaison clé CCQM-K55, la première comparaison clé d'évaluation de pureté en chimie organique. Le mesurande proposé pour l'étude est le β -estradiol; la préparation et la détermination des caractéristiques des matériaux candidats est entreprise en collaboration avec le NMIJ.

6.3 Activités liées au JCTLM (S. Maniguet et R.I. Wielgosz)

R.I. Wielgosz est secrétaire exécutif du Comité commun pour la traçabilité en médecine de laboratoire, le JCTLM, et membre de son groupe d'examen « Quality Systems and Implementation » ; S. Maniguet coordonne la base de données du JCTLM.

La cinquième réunion du Comité exécutif du JCTLM s'est tenue au BIPM en décembre 2006 ; on s'est mis d'accord sur le calendrier pour l'approbation des propositions de matériaux de référence de rang hiérarchique supérieur et de procédures de mesure de référence pour le Cycle III, ainsi que des propositions de procédures de mesure de référence des laboratoires pour le Cycle I.

L'élaboration d'une base de données sur les matériaux de référence de rang hiérarchique supérieur et les méthodes et procédures de mesure approuvés par le JCTLM est terminée et le nouveau site Web de la base de données du JCTLM a été lancé en décembre 2006. Ce site Web est consultable à l'adresse <http://www.bipm.org/jctlm/>. Il fournit aux utilisateurs un moteur de recherche par mots clés pour les substances à analyser qui permet d'afficher des listes de matériaux de référence d'ordre hiérarchique supérieur et de méthodes et procédures de mesure. Un deuxième moteur de recherche permet d'accéder aux fichiers .pdf des matériaux de référence d'ordre hiérarchique supérieur et des méthodes et procédures de mesure de référence pour des groupes de substances à analyser spécifiques ou de matrices.

Entre décembre 2006 et juin 2007, le nombre total de connexions externes au site Web de la base de données du JCTLM était de 750 en moyenne chaque mois. Il n'est pas facile d'identifier les visiteurs externes du site Web puisque la majorité des connexions passent par des fournisseurs d'accès, mais un certain nombre d'organisations importantes dans le domaine de la médecine de laboratoire et des diagnostics *in vitro*, d'universités ou d'hôpitaux ont été identifiés qui visitent régulièrement le site Web.

La première liste de services de mesure de référence offerts par les laboratoires a été publiée sur le site Web du JCTLM en juin 2007. L'application Web du JCTLM sera étendue pour permettre de rechercher dans la base de données les services de laboratoires de mesure de référence ; cela sera disponible fin 2007.

6.4 Activités liées au travail des Comités consultatifs

R.I. Wielgosz est secrétaire exécutif du CCQM.

J. Viallon est membre des groupes de travail du CCQM sur l'analyse des gaz et sur l'analyse de surface.

E. Flores est membre du Groupe de travail du CCQM sur l'analyse des gaz.

S. Westwood est membre du Groupe de travail du CCQM sur l'analyse organique et observateur technique du Groupe de travail du CCQM sur les comparaisons clés.

R. Josephs est membre des groupes de travail du CCQM sur la bioanalyse et sur l'analyse organique.

6.5 Comparaisons du CCQM coordonnées par le BIPM

Le BIPM est le laboratoire chargé de coordonner les comparaisons suivantes du CCQM :

- CCQM-P28 – Ozone, niveau ambiant (terminée) ;
- BIPM.QM-K1 – Ozone, niveau ambiant (en cours) ;
- CCQM-P73 – Monoxyde d'azote dans l'azote, aptitude à la préparation d'étalons ;
- CCQM-P20.e – Théophylline, analyse de pureté ;
- CCQM-P20.f – Digoxine, analyse de pureté ;
- CCQM-K55 – Analyse de pureté.

6.6 Activités en liaison avec des organisations extérieures

R.I. Wielgosz représente le BIPM auprès du groupe d'experts CIMO (sur les instruments et méthodes d'observation) de l'Organisation météorologique mondiale (OMM), à la Commission du CODEX Alimentarius et à l'ISO TC 212 sur les laboratoires d'analyses de biologie médicale et les systèmes de diagnostic *in vitro*, au Groupe de travail 2 de l'ISO sur les systèmes de référence, et il est membre du comité de rédaction d'*Accreditation and Quality Assurance*.

S. Westwood représente le BIPM et le CCQM à l'ISO REMCO, et il représente le BIPM au Groupe de travail *ad hoc* du CIPM sur la métrologie des matériaux.

R. Josephs est membre du groupe de travail sur l'incertitude de mesure du Comité du Codex sur les méthodes d'analyse et d'échantillonnage (CCMAS).

6.7 Publications, conférences et voyages : section de chimie

6.7.1 Publications extérieures

1. Linsinger T.P.J., Josephs R.D., Limitations of the application of the Horwitz equation, *Trends Anal. Chem.*, 2006, **25**(11), 1125-1130.
2. Buttinger G., Josephs R.D., Emteborg H., Harbeck S., Krska R., The certification of the mass fraction of deoxynivalenol in acetonitrile (IRMM-315) and of nivalenol in acetonitrile (IRMM-316), IRMM-Information, EUR-Report, Luxembourg (2006), EUR 22178 EN [ISBN 92-79-01699-7].
3. Welzig E., Josephs R.D., Schothorst R.C., van Egmond H.P., Pettersson H., Chan D., Krska R., Type B-Trichothecene calibrants: Comparison of HPLC and GC-results within an intercomparison study, *Mycotoxin Res.*, 2006, **214**, 224-230.
4. Krska R., Welzig E., Josephs R.D., Schothorst R.C., van Egmond H.P., Pettersson H., Chan D., MacDonald S., Feasibility study for the production of certified calibrants for the determination of deoxynivalenol and other B-trichothecenes: Intercomparison study, *AOAC Int.*, 2006, **89**(6), 1573-1580.
5. Viallon J., Moussay P., Norris J.E., Guenther F.R., Wielgosz R.I., A study of systematic biases and measurement uncertainties in ozone mole fraction measurements with the NIST Standard Reference Photometer, *Metrologia*, 2006, **43**, 441-450.

6.7.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

R.I. Wielgosz s'est rendu :

- à Garmisch-Partenkirchen (Allemagne), pour la réunion de l'OMM sur les composés organiques volatils, les 3 et 4 juillet 2006, pour assister au Groupe de travail du CCQM sur l'analyse des gaz et à l'atelier organisé par le Groupe de travail sur l'analyse des gaz de l'OMM sur le contrôle et les étalons de composés organiques volatils ;
- à Chicago (États-Unis), pour la réunion de l'AACC, les 24 et 25 juillet 2006, pour assister aux réunions des groupes de travail 1 et 2 du JCTLM ;
- à Weisbaden (Allemagne), le 15 septembre 2006, pour présenter les activités du CCQM à l'ENFSI ;

- à Minneapolis (États-Unis), du 18 au 20 septembre 2006, pour présenter les activités du CCQM à la réunion annuelle de l'AOAC ;
- au LGC, Teddington (Royaume-Uni), du 15 au 17 novembre 2006, pour une réunion des groupes de travail du JCTLM ;
- à Bruxelles (Belgique), le 30 novembre 2006, pour discuter de l'utilisation de la base de données du JCTLM avec EC DG Enterprise ;
- à la RSC, Londres (Royaume-Uni), pour assister à la réunion « Trends in Air Quality » et pour présenter les activités du BIPM sur les étalons de mesure d'ozone au niveau du sol, les 19 et 20 décembre 2006 ;
- à Lisbonne (Portugal), du 7 au 9 février 2007, à MetChem EUROMET, pour présenter le JCTLM et les activités en métrologie en chimie au BIPM ;
- à l'AFNOR, Saint-Denis (France), du 21 au 23 février 2007, pour participer au Groupe de travail 2 de l'ISO TC 212 ;
- à Budapest (Hongrie), du 2 au 8 mars 2007, au CCMAS et à l'IAM, pour représenter le BIPM aux réunions de l'Interagency et du Codex ;
- à Bangkok (Thaïlande), du 14 au 18 mai 2007, pour des présentations sur le JCTLM et sur le programme de chimie du BIPM à l'atelier de l'APLAC sur la norme ISO 15189 et au NMIT ;
- à l'Harvard Business School, Cambridge (États-Unis), du 3 au 8 juin 2007, pour une formation.

R.I. Wielgosz et J. Viallon se sont rendus :

- au KRIS, Daejeon (Rép. de Corée), du 30 octobre au 3 novembre 2006, pour participer à une réunion du groupe de travail du CCQM sur l'analyse des gaz, pour assister au symposium sur les matériaux de référence certifiés et pour visiter les laboratoires de chimie du KRIS ;
- à Rotterdam (Pays-Bas), du 14 au 16 février 2007, pour assister au 4^e symposium international sur l'analyse des gaz.

R.I. Wielgosz et E. Flores se sont rendus à l'EC-JRC, Ispra (Italie), les 14 et 15 mars 2007, pour assister à l'atelier de l'EUROMET 888 « Dynamic measurements of NO_x, CO, and SO₂ at low ambient level and their comparability ».

R.I. Wielgosz et S. Westwood se sont rendus à Linskoeping (Suède), les 22 et 23 mars 2007, pour aider à la préparation de l'atelier « Metrological tools for forensic analysis » dans le cadre de la réunion du groupe de liaison de l'ENFSI sur la qualité et les compétences.

J. Viallon s'est rendue :

- à la CPEM 2006, Turin (Italie), du 10 au 14 juillet 2006, pour une présentation intitulée « Systematic biases and measurement uncertainties in ozone mole fraction measurements with the BIPM maintained SRP » (*CPEM 2006 Digest*, 686-687) et pour assister à un atelier sur la spectroscopie comme méthode primaire d'analyse pour l'analyse des gaz ;
- à la PTB, Braunschweig (Allemagne), du 30 novembre au 1^{er} décembre 2006, pour présenter au département de chimie la présentation préparée pour la CPEM 2006 et pour visiter les laboratoires ;
- au laboratoire NOAA-ERSL (Earth Research System Laboratory), Boulder (Colorado, États-Unis), les 2 et 3 mai 2007, pour assister à la conférence annuelle NOAA ESRL 2007 sur la surveillance du globe et pour présenter un poster intitulé « Requirements for new measurements of the absorption cross-section of ozone for accurate determination of ozone concentration ».

S. Westwood s'est rendu :

- au LGC, Teddington (Royaume-Uni), les 11 et 12 décembre 2006, pour le suivi de l'évaluation de l'UKAS du LGC en ce qui concerne l'accréditation de la production de matériaux de référence selon le Guide 34:2000 de l'ISO ;
- au LNE, Paris (France), les 21 et 22 mai 2006, pour représenter le BIPM à la 3^e réunion du Groupe de travail *ad hoc* du CIPM sur la métrologie des matériaux ;
- à Riga (Lettonie), du 31 mai au 1^{er} juin 2007, pour une présentation sur l'établissement de l'infrastructure métrologique internationale pour les mesures analytiques à la réunion annuelle de l'ENFSI ;
- à Tsukuba (Japon), du 5 au 8 juin 2007, pour représenter le BIPM et le CIPM à la réunion annuelle du comité sur les matériaux de référence de l'ISO (ISO REMCO).

R. Josephs s'est rendu :

- à Prague (Rép. tchèque), du 27 août au 1^{er} septembre 2006, à l'Académie des sciences de la République tchèque, pour participer à la 17^e conférence internationale sur la spectrométrie de masse ;
- à l'Institute for Agrobiotechnology, Tulln (Autriche), du 4 au 8 décembre 2006, pour une formation à la chromatographie en phase liquide avec spectrométrie de masse ;

- au LGC, Teddington (Royaume-Uni), le 16 février 2007, pour assister à une réunion sur l'analyse pratique de glycoprotéines.

S. Maniguet s'est rendue au LGC, Teddington (Royaume-Uni), du 15 au 17 novembre 2006, pour une réunion des groupes de travail du JCTLM.

6.8 Visiteurs de la section de chimie

- MM. R.L. Williams, R.G. Manning et T. Morris (US Pharmacopeia), le 27 juillet 2006.
- M. R. Wessel (NMi VSL), le 28 septembre 2006.
- M. S. Ronzoni (ABI), du 2 au 4 octobre 2006.
- M. J.E. Norris (NIST), du 15 au 26 janvier 2007.
- M. B. Hibbert (Univ. New South Wales), le 14 juin 2007.

6.9 Chercheurs invités

- M. Y. Shimizu (NMIJ), du 21 août au 15 septembre 2006.

7 PROJETS SPÉCIAUX (M. STOCK)

7.1 Condensateur calculable (F. Delahaye*, R. Felder, N. Fletcher, R. Goebel, L. Robertsson, J. Sanjaime, M. Stock et L. Vitushkin)

L'objectif de ce projet commun au BIPM et au NMIA (Australie) est la fabrication de deux condensateurs calculables, capables de réaliser une capacité de 0,4 pF, avec une incertitude relative de l'ordre 1×10^{-8} . Ce projet nous permettra de mesurer la valeur de la constante de von Klitzing, R_K , pour le prochain ajustement des constantes fondamentales de la CODATA et il écourtera de manière significative la chaîne de traçabilité de nos étalonnages de capacité. Des membres du personnel des sections d'électricité, du temps, des fréquences et de la gravimétrie, et de l'atelier contribuent à ce travail.

Un des défis majeurs de ce projet est la fabrication des barres d'électrodes, qui doivent être cylindriques à 100 nm près sur une longueur de près de

* Jusqu'à son départ à la retraite le 31 décembre 2006.

50 cm. Au cours de l'année passée, une technique de polissage et de rodage a été mise au point au NMIA, ce qui nous a permis de fabriquer la première barre d'électrodes respectant ces prescriptions. Il est prévu de fabriquer les barres restantes en 2007.

L'atelier du BIPM a fabriqué les enceintes à vide, la structure de support de la cellule principale et bien d'autres éléments pour les deux systèmes.

Deux membres de la section d'électricité (N. Fletcher et R. Goebel) ont passé trois semaines au NMIA pour se familiariser au condensateur calculable qui y est installé, au nouveau projet et, en particulier, à l'optimisation de la forme d'un modèle d'électrode de garde, afin de le rendre insensible à la géométrie imparfaite des électrodes principales.

Un membre de la section du temps, des fréquences et de la gravimétrie (L. Robertsson) s'est rendu au NMIA pour discuter de questions relatives à l'interféromètre qui sera utilisé pour déterminer les positions relatives des électrodes. On est parvenu à un accord sur la bonne adéquation des paramètres généraux choisis. L'optique d'asservissement de mode servant à coupler le laser à la cavité de l'interféromètre reste à déterminer. Nous avons effectué les premiers calculs à cet effet ; ils devront être affinés et discutés avec les fournisseurs afin de trouver les composants appropriés. Différentes solutions pour aligner le système ont été discutées ; elles seront étudiées. Nous avons commencé à établir un banc d'essai interférométrique au BIPM afin d'étudier les procédures d'alignement et d'évaluer les erreurs systématiques liées à l'excitation de modes d'ordre supérieur dans la cavité. L'incertitude liée à l'interféromètre sera un des facteurs limitatifs de l'instrument.

Comme décrit dans la section 4.2.2, la chaîne liant la résistance de Hall quantifiée aux étalons de capacité a été améliorée.

7.2 **Balance du watt** (H. Fang, L. Kovalevsky*, J. Labot, M. Nonis, A. Picard, D. Reymann**, M. Stock, T.J. Witt***)

Ce projet est réalisé par des membres du personnel de la section d'électricité, de la section des masses, de la section du temps, des fréquences et de la gravimétrie et de la section des rayonnements ionisants.

* Étudiant à l'École normale de Cachan (France).

** Jusqu'à son départ à la retraite le 30 septembre 2006.

*** À la retraite à dater du 30 juin 2007.

Nous poursuivons les travaux sur le circuit magnétique. Les principales caractéristiques magnétiques et géométriques ont été déterminées, mais la fabrication est difficile parce que l'uniformité requise du champ magnétique dans l'entrefer demande une tolérance mécanique des grandes pièces des pôles de l'ordre du micromètre. Nous avons commencé une coopération avec le département de machines-outil de l'université technique (RWTH) d'Aix-la-Chapelle (Allemagne), afin de développer une stratégie de fabrication et de construire le système. Outre la fabrication, les forces magnétiques élevées présentes pendant l'assemblage doivent être prises en compte. Pendant la première étape du projet, les propriétés de façonnage de l'alliage fer-nickel ont été étudiées et une procédure de polissage a été choisie pour le fini de surface final. Un tour de haute précision sera nécessaire et une société qui possède ce type de machine a été contactée. Les premiers concepts d'assemblage ont été proposés et doivent être affinés. Il est prévu que le circuit magnétique soit livré l'an prochain.

En juin 2006, nous avons réussi pour la première fois à contrôler la vitesse de la bobine pendant le mouvement vertical, mais le bruit qui y est lié était relativement élevé et nous avons observé un grand déplacement horizontal de la bobine. Ceci a permis les améliorations suivantes. La conception de la suspension de la balance a été revue afin qu'elle soit plus rigide et pour corriger d'autres imperfections mécaniques. La conception des attaches des lames flexibles a été modifiée afin de réduire la contrainte et pour permettre des mouvements plus doux. Un système électrostatique a été ajouté pour contrôler la rotation de la bobine autour de l'axe vertical ; il est composé de trois plaques de verre plaquées-or connectées à la suspension de la bobine, intercalées entre trois paires d'électrodes à haute tension. La rotation pendant le mouvement vertical est maintenant de 50 μ rad, c'est-à-dire 30 fois moins qu'avant. Il faut poursuivre le travail pour réduire le déplacement horizontal non désiré. Un élève ingénieur a travaillé pendant plusieurs mois sur un système de contrôle des inclinaisons non désirées de la bobine par rapport au plan horizontal. Des schémas mécaniques détaillés et les résultats d'une recherche sur les propriétés dynamiques sont disponibles. Ce dispositif sera testé séparément avant son intégration à la suspension.

Le travail se poursuit sur l'intégration de l'interféromètre au système, de manière à pouvoir lire directement la vitesse à partir de l'interféromètre. Un miroir métallique dont la surface a la même forme et la même taille qu'une portion de surface de la bobine mobile a été installé. Il sera remplacé ultérieurement par un miroir diélectrique ayant une plus grande réflectivité. Un nouveau support compact pour le diviseur du faisceau laser et le miroir de

référence a été élaboré. Il est monté directement sur l'aimant magnétique par rapport auquel la vitesse de la bobine doit être mesurée, et il incorpore divers éléments pour une vérification indépendante des lectures de l'interféromètre.

Une méthode indépendante de mesure de la fréquence pour la détermination de la vitesse a été établie. Le signal électrique obtenu directement à partir du battement de fréquence de deux composantes orthogonales polarisées de la source laser sert de signal de référence. Le décalage de fréquence Doppler dû au déplacement de la bobine mobile est extrait du signal de mesure par rapport au signal de référence au moyen d'un mixeur de fréquences. Cette méthode sera comparée au système commercial et utilisée en parallèle pour l'asservissement et la détermination de la vitesse.

Une cabine en aluminium a été construite afin de réduire au minimum le flux d'air indésirable et la lumière ambiante dans l'expérience, qui entraînent un bruit électrique et mécanique.

Une première version de la bobine mobile a été fabriquée et insérée dans l'aimant. La synchronisation des mesures de la tension induite, effectuée grâce à un voltmètre numérique, et des lectures de la vitesse données par l'interféromètre Zygo est en cours de mise au point. Chaque mesure de tension est moyennée sur une durée de 60 ms (3 périodes du signal à 50 Hz du réseau électrique), la vitesse étant mesurée à la fréquence de 1 kHz. La fabrication d'une bobine non-inductive ayant la même résistance électrique que celle de la bobine mobile est en cours. Nous avons l'intention de la monter en série avec la bobine mobile afin de séparer la tension induite de la chute de tension due à la circulation du courant.

Une source de courant a été construite qui délivre un courant de ± 1 mA avec une stabilité relative à court terme d'environ 2×10^{-7} . Le courant peut être ajusté à ± 20 % du domaine total avec une résolution de 0,1 μ A.

Le NIST nous a fourni une longue bobine solénoïde, qui deviendra la référence magnétique pour l'alignement horizontal de la bobine et de l'aimant.

Pour préparer la construction d'une base antivibrations en béton pour la balance du watt, nous avons discuté avec un expert en matière d'isolation contre les vibrations. Pour étayer les développements à venir, les propriétés élastomécaniques du sol ont été déterminées et les spectres des vibrations comprises entre 0 Hz et 100 Hz ont été mesurés dans le futur laboratoire. Nous avons aussi analysé nos mesures actuelles de vitesse pour les fréquences de bruit dominantes.

En février 2007, nous avons organisé au BIPM le premier atelier technique annuel sur les balances du watt, WBTM'07, avec 19 participants externes des autres groupes sur la balance du watt.

7.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) : projets spéciaux

7.3.1 Publications extérieures

1. Fang H., Picard A., Reymann D., Stock M., Witt T.J., The BIPM Watt Balance, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 2007, **56**, 538-542.
2. Stock M., Watt balances and the future of the kilogram, *Proc. Symposium of Metrology 2006*, Quéretaro, Mexico, 2006, 6 p.

7.3.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

H. Fang, A. Picard et M. Stock se sont rendus à Turin (Italie), le 8 juillet 2006, pour assister au Groupe de travail du CCEM sur l'utilisation de mesures électriques pour contrôler la stabilité du prototype international du kilogramme et pour faire une présentation sur l'état d'avancement de la balance du watt du BIPM.

M. Stock, A. Picard, H. Fang et T.J. Witt se sont rendus à la CPEM 2006, Turin (Italie), du 10 au 14 juillet 2006 : A. Picard, M. Stock et H. Fang ont présenté un poster intitulé « The BIPM watt balance », *CPEM 2006 Digest*, 128-129.

R. Goebel et N. Fletcher se sont rendus au NMIA (Australie), du 11 au 29 septembre 2006, pour le travail lié au projet commun au NMIA et au BIPM sur le condensateur calculable.

M. Stock s'est rendu au symposium sur la métrologie à Querétaro (Mexique), les 25 et 26 octobre 2006 pour une conférence plénière intitulée « Watt balances and the future of the kilogram » et pour une présentation intitulée « International comparison of water triple point cells leading to a more precise definition of the kelvin ».

Lors de la réunion technique sur la balance du watt 2007 qui s'est tenue au BIPM les 15 et 16 février 2007, M. Stock a fait une présentation intitulée « Progress of the BIPM watt balance » et A. Picard a fait une présentation intitulée « Transfer of vacuum masses ».

H. Fang, A. Picard, M. Stock et T.J. Witt se sont rendus au LNE, Trappes (France), le 16 février 2007, pour voir les équipements pour la balance du watt et le condensateur calculable.

M. Stock et A. Picard se sont rendus à l'université technique d'Aix-la-Chapelle (RWTH, Allemagne), le 5 avril 2007, pour une réunion sur les résultats de la première étape de la collaboration pour la fabrication de l'aimant pour la balance du watt.

A. Picard, M. Nonis et H. Fang se sont rendus à Paris (France), le 23 avril 2007, pour une formation au logiciel I-Labview d'acquisition des données en temps réel ; le 22 mai 2007, pour une formation d'une journée au logiciel NI-DIAdem.

L. Robertsson s'est rendu au NMIA (Australie), les 14 et 15 mai 2007, pour discuter de questions relatives à l'interférométrie pour le condensateur calculable.

7.4 Visiteurs pour les projets spéciaux

- MM. G. Small et J. Fiander (NMIA), pour discuter de l'état d'avancement du projet commun au NMIA et au BIPM sur le condensateur calculable, les 5 et 6 juillet 2006.
- MM. J. Butorac et D. Ilic (Université de Zagreb, Faculty of Electrical Engineering and Computing, Croatie) et M. R. di Silva (LNE), le 14 septembre 2006, pour des visites des laboratoires de mesures d'impédance, de tension et de la balance du watt.
- Une journée « portes ouvertes » a été organisée le 12 février 2007 pour présenter les projets sur la balance du watt, le condensateur calculable et le projet Avogadro au personnel du BIPM.
- M. Moscati (CIPM), le 8 mars 2007, pour voir la balance du watt.
- M. Ch. Sutton (MSL), le 21 mars 2007, pour voir la balance du watt.
- MM. W. van Bommel et P. Lighting (président de la CIE), le 2 avril 2007, pour voir la balance du watt et les laboratoires d'électricité.
- M. J. Ferris, M. J. Gust et Mme C. Hockert (NCSLI), le 3 avril 2007, pour voir la balance du watt et les laboratoires d'électricité.
- M. C. Clark (NIST), le 15 mai 2007, pour voir la balance du watt.
- M. B. Inglis (NMIA et CIPM), le 7 juin 2007, pour voir la balance du watt.

- MM. B. Siebert (PTB) et J. Stenger (Chef du présidium de la PTB), le 14 juin 2007, pour voir la balance du watt et le condensateur calculable.
- MM. J. Flowers (NPL) et D. Newell (NIST), le 14 juin 2007, pour voir la balance du watt.

7.5 Étudiant : projets spéciaux

- M. L. Kovalevsky (École normale de Cachan, France) a travaillé sur le projet de balance du watt du 1^{er} décembre 2006 au 7 juin 2007. Le sujet de son travail concernait la conception d'un mécanisme de suspension pour la balance du watt du BIPM.

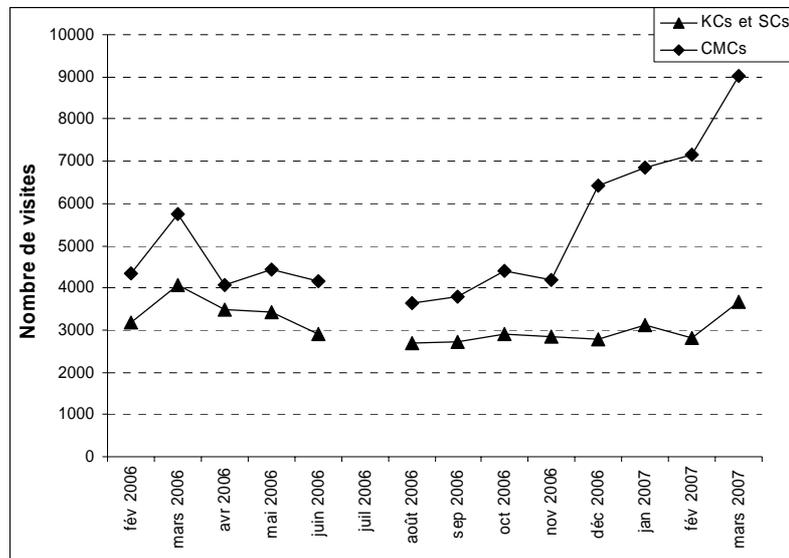
8 LA BASE DE DONNÉES DU BIPM SUR LES COMPARAISONS CLÉS, KCDB (C. THOMAS)

8.1 Visites au site de la KCDB (S. Maniguet et C. Thomas)

Entre février 2006 et mars 2007, le nombre total de connexions mensuelles depuis l'extérieur au site de la KCDB a augmenté de 10 300 à 18 200. Le détail du nombre de visites aux deux parties principales du site (comparaisons clés et supplémentaires et aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages, CMCs) est donné dans la figure page 115.

Comme nous l'avons déjà remarqué, la base de données qui contient les informations sur les comparaisons clés et supplémentaires est faite « pour les laboratoires nationaux de métrologie et par les laboratoires nationaux de métrologie ». Il semble que nous ayons maintenant attiré cette audience particulière et le nombre de visites s'est naturellement stabilisé.

Le nombre de visites aux informations sur les CMCs continue à croître depuis la création de la KCDB. En moyenne, cette partie du site a reçu un visiteur toutes les cinq minutes en mars 2007.



Nombre de visites du site de la KCDB

(les données pour juillet 2006 ne sont pas disponibles)

8.2 Nouvelle conception du site de la KCDB (C. Thomas)

Le graphique donné ci-dessus semble indiquer que le processus mis en place depuis le lancement de l'Arrangement du CIPM attire l'attention d'utilisateurs qui n'appartiennent pas à notre audience traditionnelle, c'est-à-dire les métrologistes des laboratoires nationaux de métrologie. Nous savons que les organismes de régulation et d'accréditation sont intéressés par le site de la KCDB. D'ailleurs l'augmentation du nombre de visites aux informations sur les CMCs montre à l'évidence l'accroissement de cet intérêt. De plus, il est apparu que, plus récemment, elles ont aussi attiré l'attention de plusieurs sociétés commerciales et industrielles, qui souhaitent tirer avantage de la reconnaissance mutuelle des certificats d'étalonnage et de mesurage délivrés par les laboratoires nationaux de métrologie pour établir leur traçabilité.

Nous soupçonnons, cependant, que la majorité des utilisateurs n'est pas habituée au vocabulaire lié à l'Arrangement du CIPM et éprouve des difficultés à cause de cela. Par exemple, l'expression « Base de données sur les comparaisons clés » et le sigle « KCDB » sont des termes génériques, qui couvrent une application Internet complexe et complète. Les termes « Annexe A », « Annexe B » et « Annexe C » sont bien adaptés à un

document écrit, comme le texte de l'Arrangement, mais sont difficiles à comprendre quand il s'agit d'un site sur Internet.

De plus, certains utilisateurs nous ont fait savoir qu'il est parfois difficile de rechercher des informations sur les CMCs. En effet, il faut d'abord choisir un domaine de métrologie, puis sélectionner des critères présentés selon le format de la classification de services élaborée pour ce domaine particulier. Ces éléments à choisir peuvent être des instruments, comme en métrologie dimensionnelle, ou des grandeurs comme en électricité. Cela peut paraître confus et conduit le visiteur à télécharger un fichier .pdf global parmi ceux proposés, sans utiliser vraiment le moteur de recherche qui, pourtant, lui permettrait d'atteindre une information bien ciblée.

Nous étions donc bien conscients que nous devions rendre le site plus facile à utiliser et nous avons entrepris un certain nombre d'actions qui nous ont conduits à mettre en place un site de conception nouvelle, incluant un nouveau moteur de recherche répondant à des demandes entrées sous la forme de mots. L'ensemble a été mis à disposition du public sur Internet le 6 mars 2007.

Le site Web de la KCDB est maintenant présenté comme suit :

- La liste des participants (« Annexe A » de l'Arrangement) prend la forme de pages html, offrant un moteur de recherche dédié, placées sur le site Web principal du BIPM.
- La page d'accueil de la KCDB donne accès à deux sites indépendants : « Comparaisons clés et supplémentaires » (« Annexe B » de l'Arrangement) et « Aptitudes en matière de mesures et d'étalonnage – CMCs » (« Annexe C » de l'Arrangement). Le mot « Annexe » apparaît maintenant de manière discrète et seulement dans la page d'accueil.
- La page d'accueil de la KCDB propose aussi un certain nombre de liens utiles incluant « La KCDB en chiffres », « Trouver mon NMI », un glossaire, et le lien à la page des *KCDB Newsletters*.

8.3 Un nouveau moteur de recherche pour la KCDB (C. Thomas, en collaboration avec L. Le Mée et J. Miles)

Comme cela a été relaté dans le rapport précédent, le BIPM a étudié les avantages que pourrait apporter un moteur de recherche capable d'interpréter des requêtes formulées sous la forme de textes libres. Plusieurs moteurs de recherche du commerce ont été comparés et le BIPM a finalement acquis l'un d'entre eux en décembre 2005. Notre nouveau moteur de recherche a été

implanté sur le site principal du BIPM* et sur celui de la KCDB, puis ouvert au public le 6 mars 2007.

Cela prend la forme de boîtes servant à entrer du texte libre, mises à disposition dans les deux sites sur les comparaisons et sur les CMCs. L'utilisateur entre des mots dedans. Les recherches dirigées qui étaient proposées avant le sont encore par souci de continuité, en particulier pour offrir la possibilité de télécharger les fichiers .pdf des rapports de comparaisons et de listes complètes de CMCs déclarées par un pays donné et couvrant un certain domaine de métrologie.

Le moteur de recherche du BIPM est un outil puissant qui offre les avantages de la recherche en mode texte intégral et qui génère dynamiquement des tableaux de contenu fondés sur chaque page de résultats. Ceux-ci permettent de raffiner les résultats de la recherche de manière aisée. Quelques exemples sont proposés dans la *KCDB Newsletter* n° 7, disponible à l'adresse : http://kcdb.bipm.org/NL/07/NL_07_Jun07_Content.html.

Les principales caractéristiques du nouveau moteur de recherche sont les suivantes :

- *Pertinence des résultats.* Les paramètres du logiciel sont choisis de telle manière que les résultats soient le plus pertinents possible (minimisation du silence et du bruit de la recherche).
- *Raffiner les résultats.* Les liens hypertexte générés dynamiquement et proposés sur la gauche de l'écran permettent de raffiner les résultats de la recherche par sélection ou suppression d'un ou plusieurs termes parmi la liste. Il est possible de revenir en arrière à tout moment en cliquant à nouveau sur le même lien.
- *Statistiques.* Élaborer tout type de statistiques fondé sur le nombre de CMCs ou le nombre de comparaisons correspondant à des critères spécifiques est maintenant grandement facilité et immédiat.
- *Approximation et recherche exacte.* Une approximation de deux lettres sur le mot entré est permise, si bien que le pluriel est automatiquement pris en compte. On peut effectuer une recherche exacte en utilisant des guillemets.
- *Vocabulaire et utilisation de sigles.* Le moteur de recherche utilise un vocabulaire qui permet de trouver des informations relatives à des

* Voir aussi la partie « Publications » de ce rapport pour ce qui concerne l'implantation du nouveau moteur de recherche sur le site principal du BIPM et la création « du portail de la métrologie du BIPM ».

synonymes des mots entrés. Ceci est particulièrement utile quand on souhaite utiliser des sigles. Le vocabulaire est sans arrêt enrichi au fur et à mesure de l'expérience acquise.

- *Recherche d'un terme précis.* Ce peut être par exemple un matériau de référence certifié.

8.4 Informations enregistrées dans la base de données

(S. Maniquet et C. Thomas)

8.4.1 Comparaisons clés et supplémentaires

En date du 1^{er} juin 2007, la KCDB comptait 586 comparaisons clés (78 conduites par le BIPM, 302 par les Comités consultatifs et 206 par les organisations régionales de métrologie) et 155 comparaisons supplémentaires. Ceci correspond à 44 nouvelles comparaisons enregistrées au cours des six derniers mois.

Parmi les 586 comparaisons clés qui sont enregistrées, on compte :

- 89 comparaisons clés qui correspondent à des exercices antérieurs à l'implantation de l'Arrangement du CIPM, et dont les résultats ne seront jamais publiés dans la KCDB (elles ont reçu le statut « Approuvées pour l'équivalence provisoire »), et
- 257 comparaisons clés dont le rapport final est maintenant approuvé et accessible depuis le site de la KCDB. Globalement, 800 graphiques d'équivalence peuvent être visualisés.

Les résultats de 57 comparaisons clés régionales (22 organisées par l'APMP, 3 par COOMET, 30 par l'EUROMET et 2 par le SIM) sont publiés dans la KCDB. Des calculs de liens sont aussi réalisés pour huit comparaisons bilatérales subséquentes à des comparaisons clés des Comités consultatifs, ce qui permet d'ajouter leurs résultats sur les graphiques d'équivalence appropriés.

Les résultats d'un certain nombre de comparaisons clés sont régulièrement mis à jour. Cela concerne les comparaisons en continu du BIPM dans le domaine de l'électricité (par exemple : étalons de Josephson à 10 V) et de mesures d'activité de radionucléides réalisées dans le Système international de référence (SIR). Ces mises à jour correspondent à de nouvelles comparaisons bilatérales effectuées régulièrement entre le BIPM et divers laboratoires nationaux de métrologie. De plus, les résultats de la comparaison

clé CCTF-K001.UTC* (calcul de l'UTC) sont enrichis chaque mois de nouvelles valeurs.

Des statistiques sur la participation aux comparaisons clés et supplémentaires sont mises à jour régulièrement dans la page correspondante du site de la KCDB, à l'adresse : http://kcdb.bipm.org/kcdb_statistics.asp.

8.4.2 Aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages – CMCs

La KCDB contenait 19 518 CMCs le 28 mai 2007, distribués comme suit :

- 12 255 en physique générale,
- 3 463 en rayonnements ionisants et
- 3 800 en chimie.

La répartition des CMCs publiés par domaine de métrologie et par pays est disponible dans la page de statistiques du site de la KCDB.

La description détaillée des suppressions et réinsertions de CMCs non couvertes par des Systèmes Qualité approuvés pendant un temps, est aussi disponible dans la page de statistiques. Depuis novembre 2006, nous n'avons pas eu à supprimer de CMCs pour cette raison. Tout au contraire, certaines ont été réinsérées dans la base de données, parmi lesquelles un certain nombre de CMCs déclarées par le Canada en chimie et toutes les CMCs déclarées par l'Ukraine et la Russie, qui avaient été supprimées juste après la 17^e réunion du JCRB.

En résumé, environ un millier de CMCs furent supprimées de la KCDB entre juillet 2005 et novembre 2006, parce qu'elles n'étaient pas couvertes par des Systèmes Qualité appropriés. Ce processus est maintenant terminé, et déjà environ six cents d'entre elles sont à nouveau publiées. Dorénavant, toutes les nouvelles CMCs satisferont nécessairement aux conditions imposées pour les Systèmes Qualité, avant publication, ce qui renforcera la pleine confiance dans la reconnaissance internationale des certificats d'étalonnage et de mesurage correspondant à ces CMCs.

8.5 **Publicité et *KCDB Newsletters*** (S. Maniguet et C. Thomas)

Nous cherchons à faire de la publicité pour la KCDB aussi souvent que possible, par exemple en distribuant la plaquette de la KCDB et en présentant

* Le CCTF a décidé de modifier l'identifiant de la comparaison clé CCTF-K2001.UTC pour « CCTF-K001.UTC » lors de sa 17^e réunion en septembre 2006. Le changement a été effectué dans la KCDB en mars 2007.

notre site Web durant des ateliers et des congrès. Nous ferons une démonstration du site de la KCDB et du nouveau moteur de recherche le mercredi 1^{er} août 2007 lors de la conférence NCSLI (Saint Paul, Minnesota, États-Unis), gracieusement accueilli par le NRC sur leur stand.

De plus, les numéros 6 et 7 de la *KCDB Newsletter* ont été publiés les 14 décembre 2006 et 8 juin 2007.

8.6 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) : KCDB

C. Thomas s'est rendue à :

- Turin (Italie), les 7 et 8 juillet 2006, pour des réunions des groupes de travail du CCEM sur les projets de modifications au SI et sur la coordination des organisations régionales de métrologie, ainsi que du Groupe de travail *ad hoc* du CCM sur les changements au SI ;
- Berlin (Allemagne), les 25 et 26 septembre 2006, pour assister à des réunions des comités techniques 1 et 25 de la CEI, et les 5 et 6 juin 2007 pour l'atelier organisé conjointement par la PTB et le BIPM sur l'impact de l'informatique en métrologie ;
- l'Institut de France, Paris (France), le 3 octobre 2006 et le 7 février 2007, pour des réunions du Groupe de travail de l'Académie des sciences « Unités de base et constantes fondamentales » ;
- Paris (France), le 25 octobre 2006, pour assister à un séminaire au LNE ;
- Reading (Royaume-Uni), les 11 et 12 avril 2007, pour assister à un groupe de travail commun à la CEI et à l'ISO sur la définition de l'ampère ;
- Muldersdrift (Afrique du Sud), du 2 au 4 mai 2007, pour la 18^e réunion du JCRB et pour l'atelier sur l'Arrangement du CIPM.

L. Le Mée, J. Miles et C. Thomas ont présenté le nouveau moteur de recherche du BIPM à leurs collègues le 28 mars 2007, dans le cadre des séminaires internes du BIPM.

8.7 Activités en liaison avec des organisations extérieures

C. Thomas est membre du « Cabinet scientifique des Secrétaires perpétuels de l'Académie des sciences de Paris ». Dans ce cadre, elle a rempli les fonctions de Secrétaire scientifique du Groupe de travail de l'Académie des sciences « Unités de base et constantes fondamentales » jusqu'à sa 20^e et dernière réunion le 7 février 2007. Le groupe de travail est ensuite devenu le

24 avril 2007 un comité permanent officiel de l'Académie des sciences dénommé « Science et métrologie ». C. Thomas est membre et Secrétaire scientifique de ce comité. Elle est aussi membre du Groupe de travail du LNE « Mathématiques et statistiques pour la métrologie ».

8.8 Activités liées au travail des Comités consultatifs

C. Thomas est secrétaire exécutive du CCU. Elle est membre des groupes de travail du CCEM sur les projets de modifications au SI et sur la coordination des organisations régionales de métrologie, membre du Groupe de travail *ad hoc* du CCM sur les changements au SI – qui est devenu en mars 2007 le Groupe de travail du CCM sur la définition du kilogramme dans le SI, et observatrice au Groupe de travail du CCT sur les comparaisons clés (Groupe de travail 7).

C. Thomas a assisté aux réunions suivantes :

- Groupe de travail commun au CCL et au CCTF sur les étalons de fréquence, les 11 et 12 septembre 2006 ;
- 17^e session du CCTF, les 14 et 15 septembre 2006 ;
- Groupe de travail du CCAUV sur les organisations régionales de métrologie, le 27 septembre 2006 ;
- 17^e réunion du JCRB, le 6 octobre 2006 ;
- réunion des directeurs, les 9 et 10 octobre 2006 ;
- 95^e session du CIPM (en partie), du 11 au 13 octobre 2006 ;
- présentation d'un séminaire à une délégation de Croatie, le 15 novembre 2006 ;
- Groupe de travail du CCRI sur les organisations régionales de métrologie, les 20 et 21 novembre 2006 ;
- Groupe de travail du CCEM sur le SI, les 16 et 17 janvier 2007 ;
- atelier sur les organisations régionales de métrologie et les organismes régionaux d'accréditation, le 9 mars 2007 ;
- 25^e session du CCEM et réunions connexes, du 12 au 16 mars 2007 ;
- 10^e session du CCM, le 23 mars 2007 ;
- 13^e session du CCQM, les 19 et 20 avril 2007 ;
- 18^e réunion du JCRB, les 3 et 4 mai 2007 ;
- Sections I et II du CCRI, du 14 au 25 mai 2007 ;

- 18^e session du CCU, du 11 au 13 juin 2007 ;
- 19^e session du CCPR et réunions connexes, du 18 au 22 juin 2007.

C. Thomas est aussi responsable de l'organisation des séminaires externes au BIPM, et elle est la secrétaire scientifique de l'école d'été du BIPM sur la métrologie de 2008.

S. Maniguet a participé à la 13^e session du CCQM, les 19 et 20 avril 2007.

8.9 Visiteurs pour la KCDB

- MM. A. Steele (NRC) et M. Sargent (LGC), le 7 octobre 2006.
- M. M. Himbert (LNE-INM), le 7 décembre 2006.

9 LE COMITÉ MIXTE DES ORGANISATIONS RÉGIONALES DE MÉTROLOGIE ET DU BIPM, JCRB (P. ESPINA)

Le Comité mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM (JCRB) s'est réuni en octobre 2006 au BIPM et il a été hébergé par SADC MET en mai 2007 à Muldersdrift (Afrique du Sud).

9.1 Meilleure aptitude de mesure et aptitude en matière de mesures et d'étalonnages

Depuis plusieurs années, la coexistence des termes « meilleure aptitude de mesure (BMC) » et « aptitude en matière de mesures et d'étalonnages (CMC) » crée la confusion dans les communautés de l'accréditation et de la métrologie. Bien que plusieurs tentatives aient été faites pour réduire les différences entre les deux termes, la confusion prévaut, avec le risque d'ébranler la valeur de l'Arrangement du CIPM.

Afin de résoudre cette différence de terminologie, une petite commission composée de membres des organisations régionales de métrologie et des organismes régionaux d'accréditation s'est réunie sous la présidence du BIPM pendant la conférence NCSLI 2006 qui s'est tenue à Nashville (États-Unis). La commission a recommandé une nouvelle définition brève

accompagnée de notes d'explication. Les conclusions de cette réunion ont été largement diffusées aux signataires des arrangements du CIPM et de l'ILAC, et les deux communautés sont parvenues à un consensus : la nouvelle définition doit concerner le terme « aptitude en matière de mesures et d'étalonnages ». (Originellement, certains demandaient à utiliser le terme « aptitude de mesure », mais cette proposition n'a pas reçu le soutien de tous.).

Actuellement, la nouvelle définition est rédigée et les deux communautés apportent la touche finale aux notes d'explication. La prochaine, et nous l'espérons la dernière, réunion de la commission se tiendra lors de la prochaine réunion de NCSLI en août 2007 à Saint-Paul (États-Unis).

La commission devrait émettre une recommandation à temps pour la 97^e session du CIPM en novembre 2007.

9.2 Critères pour le choix des pairs habilités à faire l'audit des laboratoires nationaux de métrologie

L'Arrangement du CIPM demande aux laboratoires nationaux de métrologie et aux laboratoires désignés participant à l'Arrangement du CIPM de mettre en œuvre un Système de management de la qualité conforme aux directives du JCRB (voir http://www.bipm.org/utis/common/documents/jcrb/quality_systems.pdf, JCRB-10/8(1c)), qui ait fait l'objet d'un examen et ait reçu l'approbation de l'organisation régionale de métrologie concernée. De même, leurs CMCs doivent être soumises pour examen à l'organisation régionale de métrologie concernée (examen interne), qui les transmet au JCRB pour un examen par les autres organisations régionales de métrologie (voir http://www.bipm.org/utis/common/documents/jcrb/AppC_criteria.pdf, JCRB-14/06(2a)).

La procédure d'examen du Système Qualité et/ou des CMCs peut exiger des visites sur site par des pairs choisis par l'organisation régionale de métrologie concernée. Les critères de ces examens figurent dans les documents du JCRB mentionnés ci-dessus ; un nouveau document (Recommendations for on-site visits by peers and selection criteria for on-site visit peer reviewers) présente des recommandations pour les visites sur site par les pairs et les critères de sélection des examinateurs. Ce document présente aussi des recommandations pour les procédures d'examen des CMCs par les autres organisations régionales de métrologie qui exigent des visites sur site par les pairs.

Le document a été présenté pour approbation au CIPM en octobre 2006, mais il a été renvoyé au JCRB auquel il a été demandé de rendre certains aspects

moins normatifs. Le document a été révisé par le JCRB et sera présenté au CIPM pour approbation lors de sa session de novembre 2007.

9.3 Suivi des modifications à apporter aux CMCs après que les résultats des comparaisons sont disponibles

L'élaboration de procédures pour les organisations régionales de métrologie afin d'assurer un suivi des modifications à apporter aux CMCs publiées par leurs laboratoires nationaux de métrologie lorsque les résultats des comparaisons deviennent disponibles figure parmi les tâches à accomplir l'an prochain. Actuellement, le manque de telles procédures crée la confusion au sein de certains groupes de travail des organisations régionales de métrologie et de Comités consultatifs du CIPM, aussi le JCRB estime-t-il qu'une politique commune sur cette question serait bénéfique à tous. Selon l'approche proposée, les nouvelles procédures seront présentées au JCRB afin de bénéficier des commentaires de toutes les organisations régionales de métrologie. Quand le JCRB sera parvenu à un consensus, il est prévu que les nouvelles procédures soient appliquées dans les organisations régionales de métrologie afin d'aider à réduire la confusion dans ce domaine.

9.4 JCDCMAS

Les membres 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) ont organisé un atelier sur les effets des accords bilatéraux et régionaux de libre échange commercial à Lima (Pérou), du 23 au 25 octobre 2006. Des personnes travaillant dans les domaines de la métrologie, de l'accréditation et de la normalisation dans la région des Andes ont participé à cette réunion.

Le JCDCMAS a tenu sa réunion annuelle à l'ONU, Vienne (Autriche) le 13 mars 2007. À cette occasion, chaque membre du JCDCMAS a présenté brièvement les activités de son organisation destinées aux pays en voie de développement pendant les douze mois précédents. Une proposition a été faite de publier un calendrier commun des activités sur le portail du JCDCMAS (voir <http://www.jcdcmas.org>). Le calendrier sera inspiré de celui de l'ILAC. Lors de la même réunion, des discussions ont eu lieu sur les activités réalisées par le groupe au cours des douze derniers mois et il a été décidé de définir des critères pour savoir ce qui constitue un événement du JCDCMAS. Ces critères, qui ne sont pas encore définis, préciseront comment les membres peuvent contribuer aux activités futures.

Le secrétariat du JCDCMAS reste assuré pour une deuxième année par l'ONUDI (le secrétaire exécutif est O. Loesener Díaz). L'ONUDI devrait continuer à en assurer le secrétariat jusqu'en mars 2008.

9.5 Publications, conférences et voyages : JCRB

9.5.1 Nouveaux documents de l'Arrangement du CIPM (notez qu'il est fait référence aux documents sur la nouvelle politique de l'Arrangement du CIPM comme à des documents du CIPM)

Les documents suivants sont disponibles à l'adresse :

<http://www.bipm.org/en/committees/jc/jcrb/documents.html>

1. Suggested content of RMO Report to the JCRB, JCRB-18/03.7.
2. Rapport de la 15^e réunion du JCRB (28 septembre 2005), JCRB-15/15.
3. Rapport de la 17^e réunion du JCRB (6 octobre 2006), JCRB-17/17.

Les documents suivants sont disponibles à l'adresse :

<http://www.bipm.org/cc/AllowedDocuments.jsp?cc=CIPM>

1. Guidelines for the reviews of CMCs and the monitoring and reporting of the operation of Quality Systems by international intergovernmental organizations, CIPM/06-03.
2. Guidelines for use of the CIPM MRA logo, CIPM/06-04.

9.5.2 Révision des documents sur l'Arrangement du CIPM

Le document suivant est disponible à l'adresse :

<http://www.bipm.org/en/committees/jc/jcrb/documents.html>

1. JCRB directory, JCRB-18/05.

9.5.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

P. Espina s'est rendu à :

- Turin (Italie), du 7 au 9 juillet 2006, pour la réunion du groupe de travail du CCEM sur les organisations régionales de métrologie ;
- Rio de Janeiro (Brésil), du 11 au 18 septembre 2006, pour la réunion du SIM Quality System Task Force et pour l'assemblée générale du SIM ;
- Querétaro (Mexique), du 23 octobre au 1^{er} novembre 2006, pour des réunions du Groupe de travail du CCPR sur les CMCs, du Groupe de

travail du SIM sur le débit de fluides et du Groupe de travail du CCL sur la métrologie dimensionnelle ;

- Braunschweig (Allemagne), le 1^{er} décembre 2006, pour des réunions avec le personnel du service de coopération technique de la PTB ;
- New Delhi (Inde), du 9 au 17 décembre 2006, afin de participer à l'atelier de l'APMP sur les pressions et le vide, aux réunions du Comité technique de l'APMP sur les Systèmes Qualité et du Comité technique de l'APMP sur les masses et les grandeurs apparentées, et à l'assemblée générale de l'APMP ;
- Berlin (Allemagne), les 10 et 11 janvier 2007, pour participer à la cérémonie d'inauguration de l'EURAMET ;
- Tunis (Tunisie), du 21 au 23 février 2007, pour participer à la réunion du groupe d'experts de l'ONUDI et de l'Union Africaine « Standards Compliance and Conformity Assessment for the Development of Sustainable Trade as a major potential source of poverty reduction in Africa » ;
- Vienne (Autriche), du 11 au 13 mars 2007, pour participer à une réunion commune au BIPM, à l'ILAC, à l'OIML et à l'ONUDI, et à la réunion annuelle du JCDCMAS ; le 11 mai 2007, pour la cérémonie d'inauguration du site LABNET de l'ONUDI ;
- Gaithersburg (États-Unis), du 15 au 23 mars 2007, pour assister à des réunions avec des membres du personnel du NIST (B. Collins, K. Gebbie, B. Jeffrey, B. Koch, W. May, M. Moldover, C. Saundry, H. Semerjian et J. Whetstone) ;
- Moscou (Féd. de Russie), du 25 au 27 mars 2007, pour participer à la réunion du Comité technique du Forum Système Qualité de COOMET ;
- Minsk (Biélarus), du 23 au 26 avril 2007, pour participer à la 17^e réunion du comité de COOMET (c'est-à-dire à l'Assemblée générale de COOMET) ;
- Muldersdrift (Afrique du Sud), du 30 avril au 6 mai 2007, pour participer à l'atelier du CIPM pour étendre la participation à l'Arrangement du CIPM (Enhancing Participation in the CIPM MRA) et à la 18^e réunion du JCRB ;
- Londres (Royaume-Uni), du 29 au 31 mai 2007, pour participer à la dernière assemblée générale de l'EUROMET et à la première assemblée générale de l'EURAMET ;
- Madrid (Espagne), le 27 juin 2007, pour participer à la réunion de planification stratégique du CEM.

9.6 Activités liées au travail des Comités consultatifs

P. Espina a participé aux réunions suivantes :

- Groupe de travail du CCAUV sur les organisations régionales de métrologie, le 27 septembre 2006 ;
- réunion d'examen du Système Qualité de l'AIEA, le 5 octobre 2006 ;
- 17^e réunion du JCRB, le 6 octobre 2006 ;
- réunion des directeurs des laboratoires nationaux de métrologie de 2006, les 9 et 10 octobre 2006 ;
- 95^e session du CIPM, le 13 octobre 2006 ;
- Groupe de travail du CCRI sur les organisations régionales de métrologie, les 20 et 21 novembre 2006 ;
- réunion annuelle BIPM-OIML-ILAC, le 7 mars 2007 ;
- réunion annuelle BIPM-ILAC, le 8 mars 2007 ;
- réunion annuelle des organisations régionales de métrologie et des organismes régionaux d'accréditation, le 9 mars 2007 ;
- Groupe de travail du CCQM sur les comparaisons clés, les 13 et 14 avril 2007 ;
- réunion BIPM-OIML-ONUDI, le 17 avril 2007 ;
- Groupe de travail du CCPR sur les CMCs, le 19 juin 2007.

9.7 Visiteurs pour le JCRB

- Mme L. Seehausen (PTB), détachée au BIPM, du 7 au 25 août 2006.
- Une délégation bolivienne : A. Bort Amelunge, J.C. Castillo et G. Muñoz (IBMETRO), le 7 septembre 2006.
- Une délégation de Croatie : E. Nemeroff, Z. Sovic, M. Livazovic, L. Celar, D. Jelic, T. Zupic, M. Vrebcevic, M. Polla, K. Gaca, S. Zima et M. Borsic, le 15 novembre 2006.
- MM. O. Loesener Diaz (ONUDI, JCDCMAS) et P. Reposeur (consultant, France), le 17 avril 2007.
- M. K. Berry (consultant, Royaume-Uni), le 7 juin 2007.
- Mme K. Royss (PTB) et M. W. Schmid (EURAMET, PTB), le 22 juin 2007.

10 SYSTÈME QUALITÉ ET RELATIONS AVEC L'ISO ET L'ILAC, VIM (R. KÖHLER)

10.1 Le Système Qualité du BIPM (R. Köhler)

Nous poursuivons la mise en œuvre du Système Qualité du BIPM, conformément à la norme ISO/CEI 17025. En 2006, s'est déroulée la deuxième série d'examens externes sur site, par les pairs, prévue tous les trois ans. Tous les audits étaient satisfaisants et l'on n'a pas détecté de non-conformités majeures. Il a été de nouveau observé que les échanges d'informations pendant les audits, lors de discussions officielles et officieuses, ont été jugées précieuses à la fois pour les auditeurs et pour ceux qui faisaient l'objet de l'audit. Forts de l'expérience acquise pendant les premières années de mise en œuvre du Système Qualité du BIPM, nous avons entrepris la rédaction d'une nouvelle édition du Manuel Qualité du BIPM, conforme aux exigences de la norme ISO 9000, ainsi qu'à certaines exigences de la norme ISO/CEI 17025 pour les laboratoires.

10.2 Relations avec l'ISO et l'ILAC (R. Köhler)

Le BIPM continue à participer aux activités de l'ISO liées aux normes importantes pour son travail et en qualité de décideur. L'activité la plus récente concernait le suivi et la participation au Groupe de travail 28 de l'ISO CASCO sur l'élaboration d'une norme internationale sur les prescriptions générales en matière de compétence des organismes assurant les essais d'aptitude des laboratoires. Cette norme devrait remplacer le Guide ISO/CEI 43 :1997, Essais d'aptitude des laboratoires par intercomparaison - Partie 1 : Développement et mise en œuvre de systèmes d'essais d'aptitude et Partie 2 : Sélection et utilisation de systèmes d'essais d'aptitude par des organismes d'accréditation de laboratoires.

L'ILAC et le BIPM continuent leurs réunions annuelles bilatérales et participent aux réunions annuelles tripartites BIPM-ILAC-OIML.

10.3 Groupe de travail 2 du JCGM : le VIM (R. Köhler)

Après le départ à la retraite de F. Delahaye, R. Köhler a repris le secrétariat du Groupe de travail 2 du JCGM, qui a produit une nouvelle édition du VIM.

Le groupe de travail s'est réuni deux fois au début de l'année 2007 et a finalisé le document qui est maintenant transmis à l'ISO pour édition et impression.

10.4 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

R. Köhler s'est rendu à :

- Genève (Suisse), les 3 et 4 mai 2007, pour le Groupe de travail 28 de l'ISO CASCO ;
- la PTB, Berlin (Allemagne), du 4 au 8 juin 2007, pour le 3^e atelier sur l'impact de l'informatique en métrologie ;
- Lille (France), les 19 et 20 juin 2007, pour présenter le VIM au Congrès international de métrologie.

11 PUBLICATIONS ET INFORMATIQUE (J. WILLIAMS)

11.1 Rapports du CIPM et de ses Comités consultatifs

(D. Le Coz, J.R. Miles, C. Thomas et J. Williams)

Depuis juillet 2006 ont été publiés :

- *Procès-verbaux du Comité international des poids et mesures, 94^e session (2005)*, 2006, **73**, 242 p.
- *Rapport du directeur sur l'activité et la gestion du Bureau international des poids et mesures (2006)*, 2006, **7**, 301 p.
- *Convocation de la 23^e Conférence générale des poids et mesures.*
- *Programme de travail et budget du BIPM pour les quatre années 2009-2012*, préparé pour la 23^e Conférence générale des poids et mesures.
- *Évolution des besoins dans le domaine de la métrologie pour le commerce, l'industrie et la société et le rôle du BIPM*, préparé pour la 23^e Conférence générale des poids et mesures.

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^e 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.

11.2 *Metrologia* (J.R. Miles, D. Saillard et J. Williams)

Depuis le début de 2003, *Metrologia* est produit en partenariat avec l'Institute of Physics Publishing (IOPP) Ltd., la maison d'édition de l'Institute of Physics.

Les détails techniques de la production de *Metrologia* par le BIPM et l'IOPP continuent à bien fonctionner. 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 collaboration avec le rédacteur au BIPM. Pendant la période couverte par ce rapport, un numéro spécial de *Metrologia* a été publié : Statistical and Probabilistic Methods for Metrology, volume 43(4).

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 (<http://www.iop.org/EJ/journal/Met>).

Le facteur d'impact (FI) de *Metrologia* continue à augmenter. Le facteur d'impact est égal au nombre de fois que des articles parus au cours des deux années précédentes sont cités pendant l'année en cours, par rapport au nombre d'articles publiés au cours de ces deux années.

Année	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
FI	0,820	0,945	0,842	0,983	1,314	1,479	1,657

Il est important pour nous d'obtenir et de conserver un facteur d'impact supérieur à 1,0, car c'est précisément le niveau de référence utilisé par les bibliothécaires et les gestionnaires pour décider de la résiliation d'abonnements à certains journaux à facteur d'impact trop faible.

Le *Technical Supplement* à *Metrologia* se porte bien, avec 54 résumés publiés en 2006, 30 sont déjà en ligne en 2007 et bien plus sont en attente.

Le tableau suivant présente le temps nécessaire pour les procédures d'édition des articles soumis à *Metrologia*. Les chiffres démontrent que les procédures d'édition et de publication mises en œuvre par le BIPM et l'IOPP fonctionnent bien.

	2004	2005	2006
Publication d'un manuscrit sur le Web	57,1 jours	35,9 jours	40 jours
Publication d'un manuscrit sur papier	106 jours	96,9 jours	95 jours

11.3 Informatique (L. Le Mée, J.R. Miles et G. Petitgand*)

Pendant la période couverte par ce rapport, le service informatique a continué à rechercher et à identifier les moyens d'améliorer la fiabilité, la sécurité et les performances du réseau informatique du BIPM et de l'internet, et d'installer les nouveaux logiciels et matériels appropriés afin d'atteindre les objectifs souhaités. Par exemple, les améliorations à la fiabilité des éléments majeurs du réseau informatique du BIPM sont fondées sur une répartition géographique des serveurs à différents endroits et sur le partage automatique de la charge entre les serveurs, de manière à ce que si l'un d'entre eux cesse de fonctionner, ses tâches soient automatiquement commutées sur les autres serveurs (balance de charge).

En réponse à la demande du personnel du BIPM, le service informatique examine quels sont les moyens les plus efficaces de travailler à distance du BIPM en utilisant des ordinateurs portables. Le service informatique a identifié la technique la plus appropriée et procédé à son installation afin d'aider les membres du personnel dans leur travail. Les solutions retenues comprennent l'installation et la mise en réseau de cartes VPN (réseau privé virtuel), de cartes de communication de troisième génération (UMTS) et de téléphones mobiles BlackBerry.

À la fin de la période concernée par ce rapport, le service informatique a modifié de manière significative le logiciel et le matériel « parefeu » de protection du réseau du BIPM. De plus, le service informatique a récemment augmenté la capacité de son système de sauvegarde des données stockées au moyen de cartouches magnétiques.

Le service informatique a été étroitement lié au choix et à l'installation du nouveau moteur de recherche, disponible sur le site Web du BIPM et sur celui de la KCDB. Le service informatique a aidé à trouver des solutions à l'indexation des sites Web et à la présentation des résultats trouvés par le moteur de recherche. Il a aussi participé à d'autres aspects du développement

* Jusqu'au 15 juin 2007.

du site Web, notamment la fourniture d'informations sur l'utilisation du logo pour l'Arrangement du CIPM et pour les certificats.

Pendant la période couverte par ce rapport, le service informatique a participé à l'achat, l'installation et à l'administration d'environ 180 ordinateurs de bureau et de laboratoire, et à l'installation et l'intégration au réseau de photocopieurs multifonctions. De plus, le service informatique est responsable de l'installation en réseau des nouvelles salles de réunion créées dans l'ancien atelier.

11.4 Le site Web du BIPM (L. Le Mée et J.R. Miles)

Notre site Web, principal moyen de communication du BIPM, contient des trésors d'information. Des sites à accès restreint ont été établis pour près de 80 groupes d'utilisateurs différents (Comités consultatifs, groupes de travail et autres) afin d'offrir l'accès à leurs documents de travail ; ces documents à accès restreint représentent à eux seuls 2,5 Gbytes d'espace disque.

Parmi les autres nouveaux services offerts cette année, la liste des signataires de l'Arrangement du CIPM a été rendue interrogeable à partir de pages html. Ces pages sont plus faciles à consulter que l'ancien fichier .pdf ; elles comprennent des fonctionnalités supplémentaires comme des liens aux sites externes et à d'autres domaines de notre site Web, et détaillent les domaines de la métrologie couverts par les laboratoires désignés, lorsque nous disposons de cette information (voir <http://www.bipm.org/fr/cipm-mra/>). Selon les directives du CIPM pour l'utilisation du logo de l'Arrangement du CIPM, adoptées en 2006, les directives et la liste des laboratoires autorisés à apposer le logo sur leurs certificats d'étalonnage sont maintenant disponibles dans la section du site Web consacrée à l'Arrangement du CIPM.

Des relations étroites sont maintenues entre le site Web du BIPM et la base de données du BIPM sur les comparaisons clés (KCDB). Des liens aux aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages déclarées par les laboratoires participants et des statistiques sur leur participation aux comparaisons clés et supplémentaires sont fournis dans les pages de notre site Web consacrées aux pays (voir http://www.bipm.org/fr/convention/member_states/). Il est aussi possible d'accéder directement aux résultats publiés dans la KCDB à partir du nouveau portail du BIPM sur la métrologie (voir ci-dessous).

Parmi les nombreuses mises à jour, la section consacrée aux travaux scientifiques a été restructurée afin de refléter les changements intervenus dans les sections scientifiques du BIPM (<http://www.bipm.org/fr/scientific/>),

et l'annexe 2 de la Brochure sur le SI, qui est maintenant publiée uniquement sous forme électronique, sur le site Web du BIPM, a été mise à jour avec une nouvelle mise en pratique du kelvin et de nouveaux textes sur la réalisation pratique des définitions des unités de temps et des grandeurs électriques, et la réalisation de la mole.

11.5 Portail du BIPM sur la métrologie

(L. Le Mée, J.R. Miles et C. Thomas)

L'implantation du nouveau moteur de recherche sur le site Web du BIPM et pour la KCDB a constitué un projet majeur de l'an passé.

Le nouveau moteur de recherche a été lancé publiquement le 6 mars 2007. Il a l'avantage de permettre la recherche en texte intégral et dans plusieurs langues, et de générer dynamiquement des tableaux de contenu à partir de chaque page de résultats de recherche afin d'affiner plus facilement la recherche. Le nouveau portail sur la métrologie (<http://search.bipm.org/>), qui fournit un point de départ commode pour la recherche d'informations pertinentes dans le site Web du BIPM, dans la KCDB, et dans les sites des laboratoires nationaux de métrologie qui participent à l'Arrangement du CIPM, est un des services uniques offerts par le BIPM.

Comme nous l'avons dit précédemment, le petit groupe constitué de M. Le Mée (informatique), de Mme Miles (webmestre) et de Mme Thomas (coordonnatrice de la KCDB) a comparé plusieurs moteurs de recherche du commerce pouvant répondre aux besoins du BIPM. Suite à leur étude, le BIPM a fait l'acquisition du logiciel « exalead:one enterprise » en décembre 2005.

L'installation du moteur de recherche a été effectuée en 2006. Le logiciel comprend sept programmes principaux qui fonctionnent en permanence, et trente-deux programmes qui explorent les sites Web du BIPM et des laboratoires nationaux de métrologie. Nous avons actuellement vingt-cinq sources de données distinctes, couvrant les pages Web, les répertoires de fichiers et les bases de données. La collaboration étroite avec la société EXALEAD, qui a adapté le produit aux besoins spécifiques du BIPM, a demandé beaucoup de temps et plus de 8000 lignes de code.

11.6 Voyages (conférences et visites) : section publications et informatique

J. Williams s'est rendu au NPL (Royaume-Uni), les 23 et 24 janvier 2007, pour travailler avec le rédacteur spécialisé chargé d'un futur numéro spécial de *Metrologia* consacré à la métrologie des radionucléides.

J. Miles s'est rendue à Berlin (Allemagne), du 5 au 7 juin 2007, pour l'atelier organisé par la PTB et le BIPM sur l'impact de l'informatique en métrologie.

12 RÉUNIONS ET EXPOSÉS AU BIPM

12.1 Réunions

Les réunions suivantes ont eu lieu au BIPM :

- Le CCTF s'est réuni les 14 et 15 septembre 2006 ; il a été précédé des réunions de ses groupes de travail du 11 au 13 septembre (y compris le Groupe de travail commun au CCL et au CCTF les 12 et 13 septembre).
- Le CCAUV s'est réuni les 25 et 26 septembre 2006 ; il a été suivi de réunions de son Groupe de travail sur les organisations régionales de métrologie le 27 septembre.
- Une réunion d'examen du Système Qualité pour les organisations internationales a eu lieu le 5 octobre 2006.
- La 17^e réunion du JCRB a eu lieu le 6 octobre 2006.
- La réunion des directeurs a eu lieu les 9 et 10 octobre 2006.
- Le Comité commun pour les guides en métrologie (JCGM) s'est réuni le 3 novembre 2006. Le Groupe de travail 1 (GUM) du JCGM s'est réuni du 25 au 27 octobre 2006 et du 24 au 27 avril 2007, et le Groupe de travail 2 (VIM) du JCGM du 29 janvier au 2 février 2007.
- Le Groupe de travail de la Section II du CCRI sur les comparaisons clés s'est réuni le 17 novembre 2006 et le Groupe de travail du CCRI sur les organisations régionales de métrologie s'est réuni les 20 et 21 novembre 2006.
- Le comité exécutif du JCTLM s'est réuni le 1^{er} décembre 2006.
- Le Groupe de travail du CCEM sur les projets de modifications au SI s'est réuni les 16 et 17 janvier 2007.

- Une réunion technique sur les balances du watt (WBTM'07) a eu lieu du 14 au 16 février 2007.
- Une réunion du groupe de travail commun au CIPM, à l'ILAC et à l'OIML a eu lieu le 7 mars 2007. Elle a été suivie d'un atelier commun au BIPM et à l'ILAC le 8 mars et d'une réunion entre le BIPM et l'ILAC le 9 mars.
- Le CCEM s'est réuni les 15 et 16 mars 2007 ; il a été précédé des réunions de ses groupes de travail du 12 au 14 mars.
- Le CCM s'est réuni le 23 mars 2007 ; il a été précédé d'une réunion des présidents de ses groupes de travail le 22 mars.
- Le CCQM s'est réuni les 19 et 20 avril 2007 ; il a été précédé des réunions de ses groupes de travail du 13 au 18 avril.
- Le CCRI s'est réuni le 31 mai 2007 ; il a été précédé des réunions de ses groupes de travail du 14 au 31 mai.
- Le CCU s'est réuni du 11 au 13 juin 2007.
- Une réunion du CODATA Task Group on Fundamental Constants a eu lieu le 14 juin 2007.
- Le CCPR s'est réuni les 21 et 22 juin 2007, précédé des réunions de ses groupes de travail du 18 au 20 juin.

12.2 Séminaires externes

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

- B. Chauvenet et J. Chavandra (LNE-LNHB) : Les accélérateurs linéaires en radiothérapie : Intérêt clinique et problèmes métrologiques associés, le 20 septembre 2006.
- M. Moldover (NIST) : Progress toward a primary pressure standard based on the dielectric permittivity of helium, le 17 octobre 2006.
- P. Giacomo : VIM 3 : Pourquoi ? Comment ?, le 29 novembre 2006.
- M. Desenfant et N. Fischer (LNE, Trappes) : Le supplément 1 du GUM, le 19 décembre 2006.
- S. Guellati-Khelifa (Laboratoire Kastler Brossel, Paris) : A new determination of the fine structure constant based on Bloch oscillations of ^{87}Rb atoms in a vertical optical lattice, le 24 janvier 2007.
- E.R. Williams (NIST) : Experimental progress toward an SI based on fundamental constants, le 28 février 2007.

- L. Palafox (PTB) : AC voltage standards based on programmable Josephson arrays at PTB, le 18 juin 2007.

12.3 Exposés internes

- G. Petitgand : Étude sur la mise en place d'une stratégie de gestion électronique de documents au sein du BIPM, le 22 janvier 2007.
- C. Goyon et P. Barat : Le nouveau système d'étalonnage des manomètres du BIPM, le 30 janvier 2007.
- J. Miles, L. Le Mée et C. Thomas : Implantation du moteur de recherche EXALEAD sur les sites web du BIPM et de la KCDB, le 28 mars 2007.
- « An Inconvenient Truth », de D. Guggenheim (film documentaire sur le changement climatique, et en particulier sur le réchauffement global).

13 CERTIFICATS ET NOTES D'ÉTUDE

Du 1^{er} juillet 2006 au 30 juin 2007, 81 Certificats et 2 Notes d'étude ont été délivrés.

13.1 Certificats

2006

N ^{os}		
29.	Étalon de capacité de 10 pF, n° 45*	INM, Roumanie.
30.	Étalon de capacité de 100 pF, n° 46*	Id.
31.	10 pF capacitance standard, No. 01067*	CENAM, Mexico.
32.	10 pF capacitance standard, No. 01068*	Id.
33.	100 pF capacitance standard, No. 01070*	Id.
34.	100 pF capacitance standard, No. 01071*	Id.

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

35.	1 pF capacitance standard, No. 01015	CEM, Spain.
36.	10 pF capacitance standard, No. 01014*	Id.
37.	100 pF capacitance standard, No. 01008	Id.
38.	10 000 Ω resistance standard, No. J 202 089 130 104	NML-SIRIM, Malaysia.
39.	1 pF capacitance standard, No. 01210*	INMETRO, Brazil.
40.	10 pF capacitance standard, No. 01209*	Id.
41.	100 pF capacitance standard, No. 01163*	Id.
42.	1 pF capacitance standard, No. 01201	UME, Turkey.
43.	1 pF capacitance standard, No. 01203	Id.
44.	10 pF capacitance standard, No. 01076*	Id.
45.	10 pF capacitance standard, No. 01077*	Id.
46.	100 pF capacitance standard, No. 01196*	Id.
47.	100 pF capacitance standard, No. 01197*	Id.
48.	Ionization chamber in ^{60}Co gamma-ray, No. 261	KRISS, Rep. of Korea.
49.	Ionization chamber in medium-energy x-rays, No. 3169*	LNE-LNHB, France.
50.	Ionization chamber in medium-energy x-rays, No. 3170*	Id.
51.	Helium-neon laser at 633 nm, IPQ3, cell No. 445	IPQ, Portugal.
52.	Helium-neon laser at 633 nm, CEM2, cell No. 181S	CEM, Spain.
53.	Helium-neon laser at 633 nm, NML-SIRIM1, cell No. 336S	NML-SIRIM, Malaysia.
54.	1 kg mass standard in stainless steel, No. 1K3	Id.
55.	1 kg mass standard in stainless steel, No. 1kr	Id.

2007

N ^{os}		
1.	Volume magnetic susceptibility, EIM-Alac	EIM, Greece.
2.	Volume magnetic susceptibility, EIM-Ti	Id.
3.	1 pF capacitance standard, No. 01358*	NIMT, Thailand.
4.	10 pF capacitance standard, No. 01359*	Id.
5.	100 pF capacitance standard, No. 01360*	Id.
6.	10 pF capacitance standard, No. 01289*	EIM, Greece.
7.	10 pF capacitance standard, No. 01290*	Id.
8.	100 pF capacitance standard, No. 01291*	Id.
9.	100 pF capacitance standard, No. 01292*	Id.
10.	10 pF capacitance standard, No. 01194*	MIKES, Finland.
11.	10 pF capacitance standard, No. 01195*	Id.
12.	100 pF capacitance standard, No. 01192*	Id.
13.	100 pF capacitance standard, No. 01193*	Id.
14.	Ionization chamber in ⁶⁰ Co gamma-ray, No. 229*	NIS, Egypt.
15.	Ionization chamber in medium-energy x-rays, No. 229*	Id.
16.	Ionization chamber in ⁶⁰ Co gamma-ray, No. 2016	Id.
17.	Ionization chamber in medium-energy x-rays, No. 2016	Id.
18.	Ionization chamber in low-energy x-rays, No. 1250	Id.
19.	Ionization chamber in gamma-ray, No. 467*	CRRD, Argentina.
20.	1 kg mass standard in stainless steel, No. 33*	ZMDM, Serbia.
21.	1 Ω resistance standard, No. 1 915 096*	NIMT, Thailand.
22.	10 000 Ω resistance standard, No. 1 917 542*	Id.
23.	1 Ω resistance standard, No. 1 915 322*	BEV, Austria
24.	1 Ω resistance standard, No. 1 611 312*	Id.
25.	10 000 Ω resistance standard, No. 1 784 815*	Id.
26.	1 Ω resistance standard, No. 1 681 958*	NIS, Egypt.
27.	1 Ω resistance standard, No. 1 684 330*	Id.
28.	1 Ω resistance standard, No. 1 749 269*	ZMDM, Serbia.
29.	1 Ω resistance standard, No. 1 755 134*	Id.

30.	1 Ω resistance standard, No. 1 758 735*	ZMDM, Serbia.
31.	1 Ω resistance standard, No. 1 758 737*	Id.
32.	10 000 Ω resistance standard, No. 270 356*	Id.
33.	100 pF capacitance standard, No. 01135*	BEV, Austria.
34.	10 pF capacitance standard, No. 01335	Id.
35.	100 pF capacitance standard, No. 01469	Id.
36.	Helium-neon laser at 633 nm, INRIM 4/P	INRIM, Italy.
37.	Helium-neon laser at 633 nm, INM 125, cell No. 9	INM, France.
38.	Helium-neon laser at 633 nm, KRISS R061, cell No. 385	KRISS, Rep. of Korea.
39.	Helium-neon laser at 633 nm, NIS 165, cell No. 299s	NIS, Egypt.
40.	Helium-neon laser at 633 nm, UME-L3	UME, Turkey
41.	Prototype de masse, n° 48*	Danemark.
42.	Prototype de masse, n° 72*	Rép. de Corée.
43.	Zener diode voltage standard, No. 8 140 006*	NIS, Egypt.
44.	Zener diode voltage standard, No. 9 170 714	ZMDM, Serbia
45.	10 000 Ω resistance standard, No. J 203 07 91 30104*	DFM, Denmark.
46.	10 pF capacitance standard, No. 01181*	CMI, Czech Rep.
47.	100 pF capacitance standard, No. 01323*	Id.
48.	100 pF capacitance standard, No. 01326*	Id.
49.	Ionization chamber in ^{60}Co gamma-ray, No. 211*	IAEA.
50.	Ionization chamber in ^{60}Co gamma-ray, No. 132*	Id.
51.	Ionization chamber in low-energy x-rays, No. 1128*	Id.
52.	Ionization chamber in low-energy x-rays, No. 0844*	Id.
53.	Ionization chamber in medium-energy x-rays, No. 265*	Id.
54.	Ionization chamber in medium-energy x-rays, No. 145	Id.

13.2 Notes d'étude**2007**

N ^{os}		
1.	10 pF capacitance standard, No. 304	PTB, Germany.
2.	Zener diode voltage standard, No. 780	EIM, Greece.

14 FINANCES, ADMINISTRATION ET SERVICES GÉNÉRAUX (B. PERENT)

La section finances, administration et services généraux du BIPM est responsable du bon fonctionnement d'un vaste domaine de services de soutien comme les finances, les achats d'équipements, les services juridiques et autres. Pendant l'année passée, les personnels administratifs de la section ont déménagé dans un même bâtiment afin de travailler plus efficacement. La section a aussi joué un rôle majeur dans les projets de mise à jour du Statut du personnel du BIPM et des règles de fonctionnement des commissions du personnel plus efficaces, dans la préparation de la 23^e Conférence générale, en particulier de la Convocation et de la rédaction des projets de Résolutions, du Programme de travail et budget du BIPM pour les années 2009-2012 et du rapport « Kaarls ».

14.1 Comptes

Les tableaux suivants sont la reproduction des tableaux qui figurent dans le *Rapport annuel aux Gouvernements des Hautes parties contractantes sur la situation administrative et financière du Bureau international des poids et mesures* relatif à l'exercice 2006.

14.1.1 Compte I : fonds ordinaires*

Actif au 1 ^{er} janvier 2006		7 405 481,57	
Recettes			
Recettes budgétaires		11 064 504,92	
Différences de change		1 926,15	
Taxes sur les achats remboursées		428 991,73	
Total des recettes		11 495 422,80	
Dépenses			
Dépenses budgétaires		10 360 300,10	
Taxes sur les achats remboursables		368 884,78	
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 2006		136 115,63	
Total des dépenses		10 865 300,51	
Actif au 31 décembre 2006		8 035 603,86	
Détail des recettes budgétaires			
Versement de contributions par les États membres :			
Au titre de l'exercice 2006	8 597 831,34	} 9 998 011,51	} 10 088 951,51
Au titre de l'exercice 2005	668 090,59		
Au titre de l'exercice 2004	140 892,50		
Au titre de l'exercice 2003 et antérieurs	442 183,08		
Au titre de l'exercice 2007	149 014,00		
Prélèvement sur le compte « Remboursement aux États »	90 940,00		
Versement de la contribution supplémentaire discrétionnaire :			
Au titre de l'exercice 2006	88 244,00	} 98 170,00	
Au titre de l'exercice 2005	7 995,00		
Au titre de l'exercice 2007	1 931,00		
Versement de souscriptions par les Associés :			
Au titre de l'exercice 2006	150 600,57	} 191 015,60	
Au titre de l'exercice 2005	16 250,00		
Au titre de l'exercice 2004	4 589,81		
Au titre de l'exercice 2003	4 480,00		
Au titre de l'exercice 2007	15 095,22		
Intérêts des fonds			424 825,72
Abonnements à <i>Metrologia</i>			90 588,46
Recettes diverses			170 953,63
Total des recettes			11 064 504,92

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

Versement des contributions par les États membres. — Les versements de contributions effectués au cours de l'année 2006 s'élèvent à 9 998 011,51 euros, dont 8 597 831,34 euros au titre de l'exercice 2006, 149 014 euros au titre de l'exercice 2007 et 1 251 166,17 euros au titre des exercices antérieurs. Des versements pour un montant de 98 170 euros ont été également effectués au titre de la contribution supplémentaire discrétionnaire votée par le 22^e Conférence générale des poids et mesures pour les années 2005 à 2007.

Versements des souscriptions par les Associés. — Les versements des souscriptions effectués au cours de l'année 2006 s'élèvent à 191 015,60 euros.

Dépenses du Compte I. — Les dépenses budgétaires en 2006 se sont élevées à 10 360 300,10 euros pour un budget voté s'élevant à 10 853 000 euros.

Détail des dépenses budgétaires

Chapitres	Dépenses de l'exercice	Budget voté	Économies	Dépassements		
<i>A. Dépenses de personnel :</i>						
1. Traitements	4 367 301,20	4 403 000	35 698,80	-		
2. Allocations familiales et sociales	986 602,94					
3. Charges sociales (a)	467 203,74					
		5 821 107,88	1 033 000	5 912 500	46 397,06	-
		476 500			9 296,26	-
<i>B. Contribution à la Caisse de retraite (b) :</i>						
	1 740 000,00	1 740 000	-	-		
<i>C. Services généraux :</i>						
1. Chauffage, eau, électricité	178 562,77	187 700	9 137,23	-		
2. Assurances	35 586,52					
3. Publications	61 018,56					
4. Frais de bureau	146 330,20	138 400	-	7 930,20		
5. Frais de réunions	80 495,02	1 082 424,90	75 000	1 114 800	-	5 495,02
6. Voyages et transports de matériel	392 834,51	346 700	-	46 134,51		
7. Bibliothèque	157 077,55	176 000	18 922,45	-		
8. Bureau du Comité	30 519,77	29 000	-	1 519,77		
<i>D. Dépenses de laboratoires :</i>	1 246 532,79	1 720 000	473 467,21	-		
<i>E. Dépenses de bâtiments (travaux d'entretien et de rénovation) :</i>						
	401 954,52	279 000	-	122 954,52		
<i>F. Frais divers et imprévus (c) :</i>	68 280,01	86 700	18 419,99	-		
Totaux	10 360 300,10	10 853 000	676 733,92	184 034,02		

(a) Comprenant un virement de 52 625,10 euros au Compte II (Caisse de retraite).

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

(c) Comprenant un virement de 2 304 euros au Compte IV (Caisse de prêts sociaux).

14.1.2 Compte II : caisse de retraite

Actif au 1 ^{er} janvier 2006	11 872 421,60
Recettes	
Retenues sur les traitements	388 537,80
Virement du Compte I*	1 826 392,83
Intérêts des fonds	632 418,54
Total des recettes	2 847 349,17
Dépenses	
Pensions servies	2 213 583,33
Remboursement de cotisations	212 521,53
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 2006	204 807,53
Total des dépenses	2 630 912,39
Actif au 31 décembre 2006	12 088 858,38

* Comprenant un virement de 52 625,10 euros provenant des économies réalisées sur l'assurance maladie (*BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 1994, **62**, 19).

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

Ce compte n'a enregistré aucun mouvement en 2006.

14.1.4 Compte IV : caisse de prêts sociaux

Actif au 1 ^{er} janvier 2006 hors créances	103 825,93
Recettes	
Amortissements partiels des prêts	
Capital	35 569,00
Intérêts	2 420,20
Virement du Compte I	2 304,00
Intérêts des fonds	4 679,06
Total des recettes	44 972,26
Dépenses	
Prêts consentis en cours d'année	53 979,00
Total des dépenses	53 979,00
Actif au 31 décembre 2006 hors créances	94 819,19
Créances de la caisse de prêts sociaux	
Créances au 1 ^{er} janvier 2006	125 486,32
Créances nouvelles en cours d'année	53 979,00
Amortissements partiels des prêts (capital)	– 35 569,00
Créances au 31 décembre 2006	143 896,32
Actif au 31 décembre 2006 créances incluses	238 715,51

14.1.5 Compte V : réserve pour les bâtiments

Ce compte, alimenté par virement du Compte I. — Fonds ordinaires, a été utilisé au cours de cet exercice en vue de l'aménagement de salles de réunion dans le Petit Pavillon.

Actif au 1 ^{er} janvier 2006	365 499,97
Recettes	
Intérêts des fonds	13 710,40
Total des recettes	13 710,40
Dépenses	
Dépenses d'aménagement du Petit Pavillon	262 670,56
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 2006	1 937,46
Total des dépenses	264 608,02
Actif au 31 décembre 2006	114 602,35

14.1.6 Compte VI : *Metrologia*

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

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

Actif au 1 ^{er} janvier 2006	581 222,28
Recettes	
Intérêts des fonds	28 116,93
Total des recettes	28 116,93
Dépenses	
Subvention des cotisations des retraités	44 543,13
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 2006	9 405,51
Total des dépenses	53 948,64
Actif au 31 décembre 2006	555 390,57

14.1.8 Bilan au 31 décembre 2006

Compte I « Fonds ordinaires »	8 035 603,86
Compte II « Caisse de retraite »	12 088 858,38
Compte III « Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique »	0,00
Compte IV « Caisse de prêts sociaux »	238 715,51
Compte V « Réserve pour les bâtiments »	114 602,35
Compte VI « <i>Metrologia</i> »	0,00
Compte VII « Fonds de réserve pour l'assurance maladie »	555 390,57
Actif net	21 033 170,67
Cet actif net se décompose comme suit :	
<i>a. Fonds déposés en banque :</i>	
1° En euros	13 450 826,36
2° En dollars américains (1,317 USD = 1 EUR)	2 273 652,31
3° En francs suisses (1,6069 CHF = 1 EUR)	59 941,25
4° En livres sterling (0,6715 GBP = 1 EUR)	1 642 424,56
5° En dollars canadiens (1,5281 CAD = 1 EUR)	719 903,81
6° En couronnes suédoises (9,0404 SEK = 1 EUR)	35,37
7° En couronnes norvégiennes (8,238 NOK = 1 EUR)	1 195 678,56
8° En couronnes danoises (7,456 DKK = 1 EUR)	1 548 377,46
Total des fonds déposés en banque	20 890 839,68
<i>b. Espèces en caisse :</i>	
1° En euros	5 036,20
2° En dollars américains (1,317 USD = 1 EUR)	1 095,67
3° En francs suisses (1,6069 CHF = 1 EUR)	255,15
4° En livres sterling (0,6715 GBP = 1 EUR)	307,39
5° En yens (156,93 JPY = 1 EUR)	144,80
6° En dollars canadiens (1,5281 CAD = 1 EUR)	146,93
7° En dollars australiens (1,6691 AUD = 1 EUR)	209,69
8° En couronnes norvégiennes (8,238 NOK = 1 EUR)	91,53
9° En couronnes danoises (7,456 DKK = 1 EUR)	13,41
10° En dollars de Singapour (2,0202 SGD = 1 EUR)	86,13
11° En couronnes slovaques (34,435 SKK = 1 EUR)	471,90
12° En zlotys (3,831 PLN = 1 EUR)	10,44
13° En yuans RMB (10,2793 CNY = 1 EUR)	93,94
14° En tolars (239,64 SIT = 1 EUR)	22,12
15° En ringitts (4,649 MYR = 1 EUR)	70,98
16° En livres égyptiennes (7,521 21 EGP = 1 EUR)	39,02
17° En réals (2,8125 BRL = 1 EUR)	75,38
18° En wons (1 224,81 KRW = 1 EUR)	103,10
19° En rands (9,2124 ZAR = 1 EUR)	22,80
20° En forints (251,77 HUF = 1 EUR)	32,94
21° En roupies indiennes (58,3123 INR = 1 EUR)	18,86
22° En couronnes tchèques (27,485 CZK = 1 EUR)	69,57
Total des espèces en caisse	8 417,95
Actif brut (a + b)	20 899 257,63
<i>c. Créances de la Caisse de prêts sociaux</i>	143 896,32
<i>d. Provision pour remboursement aux États à déduire (1)</i>	-9 983,28
Actif net	21 033 170,67

(1) Compte « Remboursement aux États »

Situation au 1 ^{er} janvier 2006	100 923,28
Versements	–
Total des versements	–
Remboursements aux États	
Compensation du remboursement d'avances faites pour l'Indonésie (2004)	45 470,00
Compensation du remboursement d'avances faites pour le Venezuela (2004)	45 470,00
Total des remboursements	90 940,00
Situation au 31 décembre 2006	9 983,28

14.2 Personnel

14.2.1 Engagements

- M. Edgar Flores Jardines, né le 7 juillet 1977 à Mexico (Mexique), de nationalité mexicaine, précédemment étudiant en doctorat à l'Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Atmosphärische Umweltforschung (IMK-IFU) et à l'Universidad Nacional Autónoma (Mexique), a été engagé au grade de *chimiste* dans la section de chimie à dater du 3 janvier 2007.
- M. Bruno Vincent, né le 4 novembre 1961 à Deuil-la-Barre (France), de nationalité française, précédemment mécanicien dans une société privée française, a été engagé au grade de *mécanicien* à l'atelier de mécanique à dater du 1^{er} mars 2007.
- M. Guillaume Thibaudeau, né le 17 mars 1967 à Toulon (France), de nationalité française, précédemment consultant dans une société privée française, a été engagé au grade d'*assistant* dans la section du temps, des fréquences et de la gravimétrie à dater du 1^{er} avril 2007.

14.2.2 Promotions et changements de grade

- Mme Céline Fellag-Ariouet, *secrétaire*, a été promue au grade de *secrétaire principale* à dater du 1^{er} janvier 2007.
- M. Alain Jaouen, *technicien* dans la section d'Électricité, a été promu au grade de *technicien principal* à dater du 1^{er} janvier 2007.
- Mme Claudine Thomas*, *physicien principal*, coordonnatrice de la base de données du BIPM sur les comparaisons clés, a été promue au grade de *physicien chercheur principal* à dater du 1^{er} janvier 2007.
- M. Robert I. Wielgosz*, *chimiste principal*, responsable de la section de chimie, a été promu au grade de *chimiste chercheur principal* à dater du 1^{er} janvier 2007.

* Ces promotions résultent d'un vote du CIPM lors de sa 95^e session en octobre 2006.

14.2.3 Départs

- M. Dominique Reymann, *physicien principal* dans la section d'électricité, a pris sa retraite le 30 septembre 2006 après 33 ans de service.

- M. Jean-Bernard Caucheteux, *mécanicien principal* à l'atelier de mécanique, a pris sa retraite le 31 décembre 2006 après 19 ans de service.
- M. François Delahaye, *physicien chercheur principal* dans la section d'électricité, a pris sa retraite le 31 décembre 2006 après 20 ans de service.
- M. Thomas Joseph Witt, *physicien chercheur principal*, responsable de la section d'électricité, a pris sa retraite le 30 juin 2007 après 35 ans de service.

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

- M. Michael B. Esler, *chimiste* depuis le 4 février 2002 dans la section de chimie, a quitté le BIPM le 20 octobre 2006.
- M. Peter Wolf, *physicien* depuis le 1^{er} janvier 1998 dans la section du temps, des fréquences et de la gravimétrie, a quitté le BIPM le 31 décembre 2006.
- M. Gérald Petitgand, *technicien* depuis le 15 février 2000 dans la section des publications, a quitté le BIPM le 15 juin 2007.

14.3 Bâtiments

14.3.1 Grand Pavillon

- Rénovation de trois bureaux au 1^{er} étage.
- Rénovation de trois bureaux au rez-de-chaussée.
- Peinture de la Grande Salle.
- Réfection des installations électriques.
- Entretien de la toiture.

14.3.2 Petit Pavillon

- Rénovation de l'ancien atelier afin d'offrir des salles de réunion supplémentaires.
- Aménagement d'une salle d'archives.

14.3.3 Observatoire

- Peinture des salles 3, 11 et 12.

- Rénovation de la salle 105.
- Remplacement partiel du système de conditionnement d'air des salles 6, 14 et 105.
- Entretien de la toiture.

14.3.4 Bâtiment des rayonnements ionisants

- Remplacement partiel du système de conditionnement d'air des salles S6 et S7.
- Remplacement du système de conditionnement d'air des salles R15 et S2.
- Rénovation des salles S2 et R11.

14.3.5 Nouveau Pavillon

- Élagage de l'allée des tilleuls.
- Recherche de l'origine d'une fuite au niveau -2.

14.3.6 Pavillon du Mail

- Remplacement partiel du système de conditionnement d'air.

14.3.7 Extérieurs et parc

- Réparation d'une partie de la clôture.

14.4 Voyages : section finance, administration et services généraux

B. Perent s'est rendue à :

- Turin (Italie), du 7 au 9 juillet 2006, pour une réunion du bureau du Comité ;
- Louvain (Belgique), le 15 juin 2007, pour assister à un séminaire sur les prestations vieillesse et santé.

B. Perent et R. Cèbe se sont rendus à :

- Noordwijk (Pays-Bas), les 10 et 11 mai 2007, pour assister à un atelier sur les retraites dans les organisations internationales ;
- Turin (Italie), les 15 et 16 mai 2007, pour assister à un atelier sur les privilèges et immunités dans les organisations internationales.

R. Cèbe s'est rendu à Washington DC (États-Unis), le 27 mars 2007, pour assister à un colloque sur les tribunaux administratifs internationaux et la règle de droit.

15 **SECRETARIAT (F. JOLY)**

La charge de travail du secrétariat reste lourde en raison du nombre élevé de réunions au BIPM. Il s'agit principalement des réunions des Comités consultatifs et de leurs groupes de travail (certains sont complexes et se tiennent à différents endroits en même temps, avec des sessions en parallèle, au BIPM ou à l'extérieur, comme le CCQM). La lourde charge de travail liée à l'organisation des réunions au BIPM a été exacerbée cette année par le travail de préparation et d'organisation de la Conférence générale, qui s'est tenue en novembre 2007. De plus, la réunion des directeurs des laboratoires nationaux de métrologie, qui s'est tenue à l'occasion de la Conférence générale, a demandé une attention toute particulière, car de nombreux délégués se sont joints aux directeurs pour visiter les sections scientifiques du BIPM.

Parmi les autres responsabilités qui lui incombent, le secrétariat du BIPM est chargé de maintenir une base de données d'un grand nombre de contacts internationaux. Cette base a été modifiée et peut maintenant être intégrée aux autres bases du BIPM. Le secrétariat, avec l'aide de la section administration, assure le bon fonctionnement d'un nombre de plus en plus élevé de réunions au BIPM.

Le secrétariat continue à se former aux outils informatiques. Ainsi les documents principaux des Comités consultatifs et ceux assurant la communication avec les États membres, les Associés à la Conférence générale et avec les directeurs des laboratoires nationaux de métrologie sont accessibles par l'intermédiaire du site Web du BIPM.

16 ATELIER DE MECANIQUE 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 ; en effet la mission essentielle de l'atelier 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 par le BIPM 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. De plus, l'atelier du BIPM est le seul au monde à fabriquer des prototypes du kilogramme en platine iridié, en exclusivité pour les signataires de la Convention du Mètre ; il utilise pour cela l'équipement spécialisé et les compétences uniques du personnel de l'atelier.

Pendant l'année, l'atelier a contribué avec succès :

- à la fabrication d'un grand nombre d'éléments du condensateur calculable, en collaboration avec le NMIA (Australie) et le NRC (Canada) ; ces composants ont été envoyés en Australie ;
- au projet de balance du watt du BIPM, pour lequel il a fabriqué un certain nombre de composants ;
- à la fabrication d'un certain nombre de prototypes de masse en platine-iridié et en acier inoxydable ;
- à un nouveau comparateur de masse, dont la fabrication est bien avancée ; et
- à la fabrication de détecteurs complexes en graphite pour la section des rayonnements ionisants.

De plus, les membres du personnel de l'atelier ont participé à un certain nombre de tâches liées à la maintenance du site.

LISTE DES SIGLES UTILISÉS DANS LE PRÉSENT VOLUME

1 Sigles des laboratoires, commissions et conférences*

A*STAR	(l'ancien SPRING) Agency for Science, Technology and Research (Singapour)
AACC	American Association for Clinical Chemistry, Washington DC (États-Unis)
ADMET	International Conference on Advances in Metrology
AFNOR	Association française de normalisation, La Plaine Saint-Denis (France)
AGU	American Geophysical Union, Washington DC (États-Unis)
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
AOAC	Association of Analytical Communities
AOS	Astrogeodynamical Observatory, Borowiec (Pologne)
APLAC	Asia Pacific Laboratory Accreditation Cooperation
APMP	Asia/Pacific Metrology Programme
ARPANSA	Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency, Sydney et Melbourne (Australie)
ASN	Autorité de sûreté nucléaire, Paris (France)
ATF	Asia Pacific Time and Frequency Workshop
BAM	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin (Allemagne)
BARC	Bhabha Atomic Research Centre, Trombay (Inde)
BEV	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Vienne (Autriche)
BIPM	Bureau international des poids et mesures
CCAUV	Comité consultatif de l'acoustique, des ultrasons et des vibrations
CCEM	Comité consultatif d'électricité et magnétisme
CCL	Comité consultatif des longueurs

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

CCM	Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées
CCMAS	Codex Committee on Methods of Analysis and Sampling
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
CEM	Centro Español de Metrología, Madrid (Espagne)
CENAM	Centro Nacional de Metrología, Querétaro (Mexique)
CETIAT	Centre technique des industries aéronautiques et thermiques, Villeurbanne (France)
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
CIE	Commission internationale de l'éclairage
CIEMAT	Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Madrid (Espagne)
CIML	Comité international de métrologie légale
CIMO	Commission des instruments et méthodes d'observation de l'OMM, voir OMM
CIPM	Comité international des poids et mesures
CMI	Český Metrologický Institut/Czech Metrological Institute, Prague et Brno (Rép. tchèque)
CMI-IIR	Český Metrologický Institut/Czech Metrological Institute, Inspectorate for Ionizing Radiation, Prague et Brno (Rép. tchèque)
CNAM*	Conservatoire national des arts et métiers, Paris (France), voir LNE
CNES	Centre national d'études spatiales, Toulouse (France)
CODATA	Committee on Data for Science and Technology
Codex Alimentarius	: Commission créée par la FAO et l'OMS
CONICET	Argentine Council of Research/Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Buenos Aires (Argentine)

COOMET	Euro-Asian Cooperation of National Metrological Institutions
CPEM	Conference on Precision Electromagnetic Measurements
CRRD	Centro Regional de Referencia para la Dosimetria, Buenos Aires (Argentine)
DFM	Danish Institute of Fundamental Metrology, Lyngby (Danemark)
DMDM	(l'ancien ZMDM) Directorate of Measures and Precious Metals, Belgrade (Serbie)
DTI	Department of Trade and Industry (Royaume-Uni)
EC-JRC	European Community, Joint Research Centre, Bruxelles (Belgique)
EFTF	European Frequency and Time Forum
EIM	Hellenic Institute of Metrology, Athènes (Grèce)
ENEA	Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Rome (Italie)
ENFSI	European Network of Forensic Science Institutes
ENSAM	École nationale supérieure d'arts et métiers, Paris (France)
ESA	Agence spatiale européenne/European Space Agency
ESA-ESTEC	European Space Agency, European Space Research and Technology Centre, Noordwijk (Pays-Bas)
EURAMET	European Association of National Metrology Institutes
EUROMET	European Collaboration in Measurement Standards
FAO	Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
FCS	Frequency Control Symposium
GGOS	Global Geodetic Observing System of the International Association of Geodesy (IAG)
GUM	Central Office of Measures/Główny Urząd Miar, Varsovie (Pologne)
IAC	International Avogadro Coordination
IAEA	International Atomic Energy Agency, voir AIEA
IAM	Inter-agency Meeting
IBMETRO	Instituto Boliviano de Metrología, La Paz (Bolivie)
ICAG	International Comparison of Absolute Gravimeters
ICRM	International Committee for Radionuclide Metrology
ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurements
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, Piscataway, NJ (États-Unis)

IERS	Service international de la rotation terrestre et des systèmes de référence/International Earth Rotation and Reference Systems Service
IFCS	International Frequency Control Symposium
IFIN	Institute of Physics of the Romanian Academy, Bucarest (Roumanie)
IGS	International GNSS Service
IKZ	Institut für Kristallzüchtung, Berlin (Allemagne)
ILAC	International Laboratory Accreditation Cooperation
iMERA	implementing Metrology in the European Research Area, projet de l'EUROMET
INM	Institut national de métrologie, Bucarest (Roumanie)
INM*	Institut national de métrologie, voir LNE-INM
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, Rio de Janeiro (Brésil)
INRIM	Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica, Turin (Italie)
ION	Institute of Navigation, Alexandria, VA (États-Unis)
IOP	Institute of Physics, Londres (Royaume-Uni)
IOPP	Institute of Physics Publishing, Londres (Royaume-Uni)
IPQ	Instituto Português da Qualidade, Lisbonne (Portugal)
IRA-METAS	Institut universitaire de radiophysique appliqué du METAS, voir METAS
IRMM	Institut des matériaux et mesures de référence, Commission européenne/Institute for Reference Materials and Measurements, European Commission
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
ITN	Instituto Tecnológico e Nuclear, Savacém (Portugal)
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 for Traceability in Laboratory Medicine
JILA	Joint Institute for Laboratory Astrophysics, Boulder CO (États-Unis)
KRISS	Korea Research Institute of Standards and Science, Daejeon (Rép. de Corée)
LATU	Laboratorio Tecnológico del Uruguay, Montevideo (Uruguay)
LGC	Laboratory of the Government Chemist, Teddington (Royaume-Uni)
LISA	Laser Interferometer Space Antenna, ESA mission
LNE	(ancien BNM) Laboratoire national de métrologie et d'essais, Paris (France)
LNE-CETIAT	Laboratoire national de métrologie et d'essais, Centre technique des industries aéronautiques et thermiques, Villeurbanne (France)
LNE-CNAM	Laboratoire national de métrologie et d'essais, Conservatoire national des arts et métiers, Paris (France)
LNE-INM	Laboratoire national de métrologie et d'essais, Institut national de métrologie, Paris (France)
LNE-LNHB	Laboratoire national de métrologie et d'essais, Laboratoire national Henri Becquerel, Gif-sur-Yvette (France)
LNE-SYRTE	Laboratoire national de métrologie et d'essais, Systèmes de référence temps espace, Paris (France)
LNHB*	Laboratoire national Henri Becquerel, voir LNE
LNMRI	Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes, Rio de Janeiro (Brésil)
LNMRI-IRD	Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes, Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Rio de Janeiro (Brésil)
LSDG	Laboratory for Standard Dosimetry, Gand (Belgique)
MAC	UK Department of Trade and Industry Measurement Advisory Committee
METAS	Office fédéral de métrologie, Bern-Wabern (Suisse)
MetChem	Comité technique sur la métrologie en chimie d'EUROMET

MIKES	Mittatekniikan Keskus/Centre for Metrology and Accreditation, Helsinki (Finlande)
MITI	Ministry of International Trade and Industry, Tokyo (Japon)
MKEH	(l'ancien OMH) Hungarian Trade Licensing Office, Budapest (Hongrie)
MRA	Arrangement de reconnaissance mutuelle/ Mutual Recognition Arrangement
MSL	Measurement Standards Laboratory of New Zealand, Lower Hutt (Nouvelle-Zélande)
NCM	National Centre of Metrology, Sofia (Bulgarie)
NCSLI	National Conference of Standards Laboratories, Boulder CO (États-Unis)
NIM	National Institute of Metrology, Beijing (Chine)
NIMT	National Institute of Metrology, Bangkok (Thaïlande)
NIS	National Institute for Standards, Le Caire (Égypte)
NIST	National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg MD (États-Unis)
NMi VSL	Nederlands Meetinstituut, Van Swinden Laboratorium, Delft (Pays-Bas)
NMIA	National Measurement Institute, Australia, Lindfield (Australie)
NMIJ/AIST	National Metrology Institute of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Tsukuba (Japon)
NMISA	National Metrology Institute of South Africa, Pretoria (Afrique du Sud)
NMIT	National Measurement Institute of Thailand, Bangkok (Thaïlande)
NML	National Metrology Laboratory, Dublin (Irlande)
NML-SIRIM	National Metrology Laboratory, Standards and Industrial Research Institute, Shah Alam (Malaisie)
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Department of Commerce, Washington DC (États-Unis)
NPL	National Physical Laboratory, Teddington (Royaume-Uni)
NRC	Conseil national de recherches du Canada, Ottawa (Canada)
NRC-IENS	Conseil national de recherches du Canada, Institut des étalons nationaux de mesure, Ottawa (Canada)
NTSC	National Time Service Centre, Lintong (Chine)
OIML	Organisation internationale de métrologie légale

OMH*	Országos Mérésügyi Hivatal/National Office of Measures, Budapest (Hongrie), <i>voir</i> MKEH
OMM	Organisation météorologique mondiale
OMM-CIMO	Organisation météorologique mondiale, Commission des instruments et méthodes d'observation
OMP	Observatoire Midi-Pyrénées, Toulouse (France)
OMS	Organisation mondiale de la santé
ON	Observatoire de Neuchâtel (Suisse)
ONERA	Office national d'études et de recherches aérospatiales, Châtillon (France)
ONUDI	Organisation des Nations unies pour le développement industriel
ORB	Observatoire royal de Belgique, Bruxelles (Belgique)
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig et Berlin (Allemagne)
PTTI	Precise Time and Time Interval Applications and Planning Meeting
RSC	Royal Society of Chemistry
RWTH	École supérieure polytechnique de Rhénanie-Westphalie/Rheinische-Westfälische Technische Hochschule, Aix-la-Chapelle (Allemagne)
SADCMET	Southern African Development Community Cooperation in Measurement Traceability
SIM	Système interaméricain de métrologie/ Sistema Interamericano de Metrología
SIRIM*	Standards and Industrial Research Institute, Shah Alam (Malaisie), <i>voir</i> NML
SPIE	International Society for Optical Engineering
SPRING*	Standards, Productivity and Innovation Board, Singapore (Singapore), <i>voir</i> A*STAR
SRC	Synchrotron Radiation Centre, Stoughton WI (États-Unis)
SUNAMCO	Symbols, Units, Nomenclature, Atomic Masses and Fundamental Constants, Commission de l'UIPPA, <i>voir</i> UIPPA
SYRTE*	Systèmes de référence temps espace, <i>voir</i> LNE
TC	Comité technique/Technical Committee
TCEM	Technical Committee on Electricity and Magnetism
TempMeko	International Symposium on Temperature and Thermal Measurements in Industry and Science
UAI	Union astronomique internationale

UIT	Union internationale des télécommunications
UKAS	United Kingdom Accreditation Service (Royaume-Uni)
UME	Ulusal Metroloji Enstitüsü/National Metrology Institute, Marmara Research Centre, Gebze-Kocaeli (Turquie)
UNIDO	United Nations Industrial Development Organization
USNO	U.S. Naval Observatory, Washington DC (États-Unis)
VERMI	Virtual European Radionuclide Metrology Institute
VNIIFTRI	All-Russian Research Institute for Physical, Technical and Radiophysical Measurements, Rostekhregulirovaniye de Russie, Moscou (Féd. de Russie)
VNIIM	Institut de métrologie D.I. Mendelév, Rostekhregulirovaniye de Russie, Saint-Pétersbourg (Féd. de Russie)
VNIIMS	Russian Research Institute for Metrological Service, Rostekhregulirovaniye de Russie, Moscou (Féd. de Russie)
VSL*	Van Swinden Laboratorium, voir NMi VSL
WBTM	Watt Balance Technical Meeting
ZMDM*	Bureau des mesures et métaux précieux, Belgrade (Serbie), voir DMDM

2 Sigles des termes scientifiques

BMC	Meilleure aptitude de mesure/Best Measurement Capability
CMC	Aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages/ Calibration and Measurement Capabilities
EAL	Échelle atomique libre
FTIR	Fourier Transform Infrared Technique
GLONASS	Global Navigation Satellite System
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GUM	<i>Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure/ Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement</i>
IVS	International VLBI Service
KCDB	Base de données du BIPM sur les comparaisons clés/ BIPM key comparison database
KCRV	Valeur de référence de la comparaison clé/Key Comparison Reference Value
KTP	Potassium Titanyle Phosphate
NMR	Résonance magnétique nucléaire/Nuclear Magnetic Resonance
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
SQUID	Interféromètre quantique supraconducteur/ Superconducting Quantum Interference Device
SRP	Photomètre étalon de référence/Standard Reference Photometer
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
UV	Ultraviolet
VIM	<i>Vocabulaire international de métrologie – Concepts fondamentaux et généraux et termes associés</i> (3 ^e édition)
VLBI	Interférométrie à très longue base/Very Long Baseline Interferometry
YAG	Grenat d'yttrium-aluminium/Yttrium Aluminium Garnet

