

**Rapport du directeur sur l'activité et la gestion
du Bureau international des poids et mesures**
(1^{er} juillet 2005 – 30 juin 2006)

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 2005 – 30 juin 2006)

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 92-822-2217-9

TABLE DES MATIÈRES

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

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

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

Rapport du directeur sur l'activité et la gestion du Bureau international des poids et mesures (1^{er} juillet 2005 – 30 juin 2006) 19

- 1 Introduction **21**
 - 1.1 Introduction générale et résumé des travaux scientifiques **21**
 - 1.2 Le Comité mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM **23**
 - 1.3 Réunion des directeurs **24**
 - 1.4 Réunion du CIPM **24**
 - 1.5 Brochure sur le SI **26**
 - 1.6 Comité commun pour les guides en métrologie **26**
 - 1.7 Comité commun pour la traçabilité en médecine de laboratoire **26**
 - 1.8 Commissions du personnel du BIPM **27**
 - 1.9 Travail scientifique du BIPM **28**
 - 1.10 Publications, conférences et voyages du directeur **37**
 - 1.10.1 Publications extérieures **37**
 - 1.10.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **37**
 - 1.11 Activités du directeur en liaison avec des organisations extérieures **39**
- 2 Longueurs **39**
 - 2.1 Travaux sur le peigne **39**
 - 2.2 Comparaison clé BIPM.L-K11 **40**
 - 2.3 Service d'étalonnage et de mesurage **41**
 - 2.4 Cuves à iode **42**
 - 2.5 Lasers à He-Ne asservis sur l'iode **43**
 - 2.6 Métrologie dimensionnelle **43**
 - 2.6.1 Diffractomètre laser interférentiel **43**
 - 2.6.2 Lasers à l'état solide, pompés par diode, asservis sur l'iode, pour la métrologie dimensionnelle et la gravimétrie absolue **43**

- 2.7 Gravimétrie **44**
 - 2.7.1 La 7^e comparaison internationale de gravimètres absolus ICAG-2005 **44**
 - 2.7.2 Travaux sur le gravimètre absolu FG5-108 **46**
 - 2.7.3 Gravimétrie, théorie **47**
- 2.8 Publications, conférences et voyages : section des longueurs **47**
 - 2.8.1 Publications extérieures **47**
 - 2.8.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **48**
- 2.9 Activités liées au travail des Comités consultatifs **50**
- 2.10 Visiteurs de la section des longueurs **50**
- 2.11 Chercheur invité **51**
- 3 Masse **51**
 - 3.1 Étalonnages **51**
 - 3.2 Sorption de vapeur d'eau sur des échantillons en silicium **52**
 - 3.3 Balances **53**
 - 3.4 Projet de collaboration internationale sur la constante d'Avogadro **53**
 - 3.5 Balance hydrostatique **53**
 - 3.6 Pression **54**
 - 3.7 Balance de torsion pour la mesure de G **54**
 - 3.8 Publications, conférences et voyages : section des masses **55**
 - 3.8.1 Publications extérieures **55**
 - 3.8.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites, formation) **55**
 - 3.9 Activités liées au travail des Comités consultatifs **56**
 - 3.10 Autres activités **56**
 - 3.11 Visiteurs de la section des masses **56**
 - 3.12 Chercheur invité **57**
- 4 Temps **57**
 - 4.1 Temps atomique international (TAI) et Temps universel coordonné (UTC) **57**
 - 4.2 Algorithmes pour les échelles de temps **57**
 - 4.2.1 Stabilité de l'EAL **58**
 - 4.2.2 Exactitude du TAI **58**
 - 4.2.3 Détermination des incertitudes de $[UTC - UTC(k)]$ **59**
 - 4.2.4 Échelles de temps atomique indépendantes **59**
 - 4.3 Étalons primaires de fréquence et représentations secondaires de la seconde **59**

- 4.4 Liaisons horaires **60**
 - 4.4.1 Mesures utilisant le code du Global Positioning System (GPS) et du Global Navigation Satellite System (GLONASS) **61**
 - 4.4.2 Mesures de phase et de code des récepteurs géodésiques **61**
 - 4.4.3 Comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite **62**
 - 4.4.4 Incertitudes sur les liaisons horaires du TAI **62**
 - 4.4.5 Étalonnage des liaisons horaires du TAI **62**
 - 4.5 Comparaisons clés **62**
 - 4.6 Pulsars **63**
 - 4.7 Références spatio-temporelles **63**
 - 4.8 Autres études **63**
 - 4.9 Publications, conférences et voyages : section du temps **64**
 - 4.9.1 Publications extérieures **64**
 - 4.9.2 Publications du BIPM **66**
 - 4.9.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **66**
 - 4.10 Activités en liaison avec des organisations extérieures **69**
 - 4.11 Activités liées au travail des Comités consultatifs **70**
 - 4.12 Visiteurs de la section du temps **70**
- 5 Électricité **71**
- 5.1 Potentiel électrique : effet Josephson **71**
 - 5.1.1 Mesures de réseaux de jonctions de Josephson **71**
 - 5.1.2 Mesures de diodes de Zener **71**
 - 5.2 Résistance électrique et impédance **72**
 - 5.2.1 Mesures de résistance en courant continu et effet Hall quantique **72**
 - 5.2.2 Conservation d'un étalon de référence de capacité **73**
 - 5.3 Détermination des caractéristiques des étalons de tension électroniques **73**
 - 5.4 Analyse des séries temporelles de résultats de mesure **73**
 - 5.5 Thermométrie **74**
 - 5.6 Comparaisons clés continues du BIPM d'étalons électriques **75**
 - 5.7 Étalonnages **76**
 - 5.8 Publications, conférences et voyages : section d'électricité **77**
 - 5.8.1 Publications extérieures **77**
 - 5.8.2 Rapports BIPM **77**
 - 5.8.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **78**

- 5.9 Activités en liaison avec des organisations extérieures **79**
- 5.10 Activités liées au travail des Comités consultatifs **79**
- 5.11 Visiteurs de la section d'électricité **79**

- 6 Rayonnements ionisants **80**
 - 6.1 Rayons x et γ **80**
 - 6.1.1 Étalons et équipements pour la dosimétrie **80**
 - 6.1.2 Comparaisons de dosimétrie **82**
 - 6.1.3 Étalonnage d'étalons nationaux pour la dosimétrie **83**
 - 6.2 Radionucléides **83**
 - 6.2.1 Comparaisons clés internationales de mesures d'activité **83**
 - 6.2.2 Comparaison de mesures d'activité d'une solution de ^{55}Fe **84**
 - 6.2.3 Système international de référence (SIR) pour la mesure d'activité de radionucléides émetteurs de rayonnement gamma **84**
 - 6.2.4 Spectrométrie gamma **86**
 - 6.3 Publications, conférences et voyages : section des rayonnements ionisants **87**
 - 6.3.1 Publications extérieures **87**
 - 6.3.2 Rapports BIPM **89**
 - 6.3.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **89**
 - 6.4 Activités en liaison avec des organisations extérieures **92**
 - 6.5 Activités liées au travail des Comités consultatifs **93**
 - 6.6 Visiteurs de la section des rayonnements ionisants **93**
 - 6.7 Chercheurs invités **94**

- 7 Chimie **94**
 - 7.1 Programme sur la métrologie des gaz **94**
 - 7.1.1 Programme de comparaisons de photomètres mesureurs d'ozone **94**
 - 7.1.2 Équipement pour les étalons primaires de dioxyde d'azote **96**
 - 7.1.3 Équipement pour le titrage en phase gazeuse **97**
 - 7.1.4 Équipement pour les comparaisons d'étalons de monoxyde d'azote **97**
 - 7.1.5 Équipement pour la spectrométrie infrarouge par transformée de Fourier **98**
 - 7.2 Programme d'analyse organique **98**
 - 7.2.1 Installation d'équipements pour le laboratoire d'analyse organique **99**

- 7.2.2 Mise au point de la méthode **99**
- 7.2.3 Coordination de l'étude pilote CCQM-P20 et mise au point de la comparaison clé CCQM-K55 **100**
- 7.2.4 Collaborations extérieures **100**
- 7.3 Activités liées au JCTLM **101**
- 7.4 Formulation du programme de travail **102**
- 7.5 Activités liées au travail des Comités consultatifs **104**
 - 7.5.1 Comités consultatifs et groupes de travail **104**
 - 7.5.2 Comparaisons du CCQM coordonnées par le BIPM **105**
- 7.6 Activités en liaison avec des organisations extérieures **105**
- 7.7 Publications, conférences et voyages : section de chimie **105**
 - 7.7.1 Publications extérieures **105**
 - 7.7.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **106**
- 7.8 Visiteurs de la section de chimie **109**
- 7.9 Chercheurs invités **109**
- 8 La base de données du BIPM sur les comparaisons clés, KCDB **109**
 - 8.1 Informations enregistrées dans la base de données **109**
 - 8.1.1 Comparaisons clés et supplémentaires (annexe B de la base de données) **109**
 - 8.1.2 Aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages « CMCs » (annexe C de la base de données) **111**
 - 8.2 Visites au site de la KCDB, et la faire connaître **112**
 - 8.3 Une nouvelle page dans le site de la KCDB **112**
 - 8.3.1 Accès aux « *KCDB Newsletters* » **112**
 - 8.3.2 Données statistiques **113**
 - 8.4 Un nouveau moteur de recherche pour le site de la KCDB **113**
 - 8.5 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) : KCDB **114**
 - 8.6 Activités en liaison avec des organisations extérieures **114**
 - 8.7 Activités liées au travail des Comités consultatifs **114**
 - 8.8 Visiteurs pour la KCDB **115**
- 9 Le Comité mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM, JCRB **116**
 - 9.1 Meilleure aptitude de mesure et aptitude en matière de mesures et d'étalonnages **116**
 - 9.2 Logo de l'Arrangement du CIPM **116**
 - 9.3 Critères pour le choix des pairs habilités à faire l'audit du Système Qualité et des CMCs des laboratoires nationaux de métrologie **117**
 - 9.4 Date limite pour la mise en place de Systèmes Qualité dans le

- domaine de la métrologie en chimie **117**
- 9.5 JCDCMAS **118**
- 9.6 Publications, conférences et voyages : JCRB **118**
 - 9.6.1 Nouveaux documents de l'Arrangement du CIPM **118**
 - 9.6.2 Révision des documents sur l'Arrangement du CIPM **119**
 - 9.6.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **119**
- 9.7 Activités liées au travail des Comités consultatifs **120**
- 9.8 Visiteurs pour le JCRB **121**
- 10 Système Qualité et relations avec l'ISO et l'ILAC **121**
 - 10.1 Le Système Qualité du BIPM **121**
 - 10.2 Relations avec l'ISO et l'ILAC **121**
 - 10.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) : Système Qualité et relations avec l'ISO et l'ILAC **122**
- 11 Projets spéciaux **122**
 - 11.1 Condensateur calculable **122**
 - 11.2 Balance du watt **123**
 - 11.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) : projets spéciaux **125**
 - 11.4 Visiteurs pour les projets spéciaux **126**
- 12 Publications et informatique **126**
 - 12.1 Rapports du CIPM et de ses Comités consultatifs **126**
 - 12.2 8^e édition de la Brochure sur le SI **127**
 - 12.3 *Metrologia* **127**
 - 12.4 Informatique **129**
 - 12.5 Voyages (conférences et visites) : section publications et informatique **130**
 - 12.6 Visiteurs et stagiaires de la section publications et informatique **131**
- 13 Réunions et exposés au BIPM **131**
 - 13.1 Réunions **131**
 - 13.2 Séminaires externes **132**
 - 13.3 Exposés internes **133**
- 14 Certificats et Notes d'étude **134**
 - 14.1 Certificats **134**
 - 14.2 Notes d'étude **138**

- 15 Finance, administration et services généraux **140**
 - 15.1 Comptes **140**
 - 15.1.1 Compte I : fonds ordinaires **140**
 - 15.1.2 Compte II : caisse de retraite **142**
 - 15.1.3 Compte III : fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique **142**
 - 15.1.4 Compte IV : caisse de prêts sociaux **143**
 - 15.1.5 Compte V : réserve pour les bâtiments **143**
 - 15.1.6 Compte VI : *Metrologia* **144**
 - 15.1.7 Compte VII : fonds de réserve pour l'assurance maladie **144**
 - 15.1.8 Bilan au 31 décembre 2004 **145**
 - 15.2 Personnel **147**
 - 15.2.1 Engagements **147**
 - 15.2.2 Promotions et changements de grade **147**
 - 15.2.3 Changements et transferts de postes **147**
 - 15.2.4 Chercheurs associés **148**
 - 15.2.5 Départs **148**
 - 15.3 Bâtiments **148**
 - 15.3.1 Grand Pavillon **148**
 - 15.3.2 Petit Pavillon **148**
 - 15.3.3 Bâtiment des lasers **148**
 - 15.3.4 Observatoire **149**
 - 15.3.5 Bâtiment des rayonnements ionisants **149**
 - 15.3.6 Nouveau Pavillon **149**
 - 15.3.7 Tous les bâtiments **149**
 - 15.3.7 Extérieurs et parc **149**
 - 15.4 Voyages (conférences et visites) **149**
- 16 Secrétariat **150**
- 17 Atelier de mécanique et entretien du site **150**

Liste des sigles utilisés dans le présent volume 153

**ÉTATS MEMBRES DE LA CONVENTION DU MÈTRE
ET ASSOCIÉS À LA CONFÉRENCE GÉNÉRALE**
au 1^{er} juillet 2006

États membres de la Convention du Mètre

Afrique du Sud	Irlande
Allemagne	Israël
Argentine	Italie
Australie	Japon
Autriche	Malaisie
Belgique	Mexique
Brésil	Norvège
Bulgarie	Nouvelle-Zélande
Cameroun	Pakistan
Canada	Pays-Bas
Chili	Pologne
Chine	Portugal
Corée (Rép. de)	Roumanie
Corée (Rép. pop. dém. de)	Royaume-Uni
Danemark	Russie (Féd. de)
Dominicaine (Rép.)	Serbie
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	Kenya
CARICOM	Lettonie
Costa Rica	Lituanie
Croatie	Malte
Cuba	Panama
Équateur	Philippines
Estonie	Slovénie
Hong Kong, Chine	Taipei chinois
Jamaïque	Ukraine
Kazhakstan	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 de la Convention du Mètre.

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 de la Convention du Mètre et se réunit actuellement tous les quatre ans dans le but :

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

Le Comité international comprend dix-huit membres appartenant à des États différents ; il se réunit actuellement tous les ans. Le bureau de ce Comité

adresse aux Gouvernements des États membres de la Convention du Mètre un rapport annuel sur la situation administrative et financière du Bureau international. La principale mission du Comité international est d'assurer l'unification mondiale des unités de mesure, en agissant directement, ou en soumettant des propositions à la Conférence générale.

Limitées à l'origine aux mesures de longueur et de masse et aux études métrologiques en relation avec ces grandeurs, les activités du Bureau international ont été étendues aux étalons de mesure électriques (1927), photométriques et radiométriques (1937), des rayonnements ionisants (1960), aux échelles de temps (1988) et à la chimie (2000). Dans ce but, un agrandissement des premiers laboratoires construits en 1876-1878 a eu lieu en 1929 ; de nouveaux bâtiments ont été construits en 1963-1964 pour les laboratoires de la section des rayonnements ionisants, en 1984 pour le travail sur les lasers, en 1988 pour la bibliothèque et des bureaux, et en 2001 a été inauguré un bâtiment pour l'atelier, des bureaux et des salles de réunion.

Environ quarante-cinq physiciens et techniciens travaillent dans les laboratoires du Bureau international. Ils y font principalement des recherches métrologiques, des comparaisons internationales des réalisations des unités et des vérifications d'étalons. Ces travaux font l'objet d'un rapport annuel détaillé qui est publié dans le *Rapport du directeur sur l'activité et la gestion du Bureau international des poids et mesures*.

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

Les Comités consultatifs ont un règlement commun (*BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 1963, **31**, 97). Ils tiennent leurs sessions à des intervalles irréguliers. Le président de chaque Comité consultatif est désigné par le Comité international ; il est généralement membre du Comité international. Les Comités consultatifs ont pour membres des laboratoires de métrologie et des instituts spécialisés, dont la liste est établie par le Comité international, qui envoient des délégués de leur choix. Ils comprennent aussi des membres nominativement désignés par le Comité international, et un représentant du Bureau international (Critères pour être membre des Comités consultatifs, *BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 1996, **64**, 6). Ces Comités sont actuellement au nombre de dix :

1. Le Comité consultatif d'électricité et magnétisme (CCEM), nouveau nom donné en 1997 au Comité consultatif d'électricité (CCE) créé en 1927 ;
2. Le Comité consultatif de photométrie et radiométrie (CCPR), nouveau nom donné en 1971 au Comité consultatif de photométrie (CCP) créé en 1933 (de 1930 à 1933 le CCE s'est occupé des questions de photométrie) ;
3. Le Comité consultatif de thermométrie (CCT), créé en 1937 ;
4. Le Comité consultatif des longueurs (CCL), nouveau nom donné en 1997 au Comité consultatif pour la définition du mètre (CCDM) créé en 1952 ;
5. Le Comité consultatif du temps et des fréquences (CCTF), nouveau nom donné en 1997 au Comité consultatif pour la définition de la seconde (CCDS) créé en 1956 ;
6. Le Comité consultatif des rayonnements ionisants (CCRI), nouveau nom donné en 1997 au Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI) créé en 1958 (en 1969, ce Comité consultatif a institué quatre sections : Section I (Rayons x et 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 1^{er} juillet 2006

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, L. Tisserand, L.F. Vitushkin, P. Wolf

Électricité : M. T.J. Witt

M. M. Stock¹

MM. R. Chayramy, F. Delahaye, N. Fletcher, R. Goebel, A. Jaouen,
D. Reymann, S. Solve

Rayonnements ionisants : Mme P.J. Allisy-Roberts

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

Chimie : M. R.I. Wielgosz

Mme A. Daireaux, MM. M. Esler, R. Josephs, P. Moussay, Mme J. Viallon,
M. S. Westwood

Publications et informatique : M. J. Williams

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

Base de données du BIPM sur les comparaisons clés : Mme C. 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, J.-B. Caucheteux, S. Segura

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 2005 – 30 juin 2006)

1 INTRODUCTION

1.1 Introduction générale et résumé des travaux scientifiques

Durant la période 2005-2006, plusieurs projets politiques majeurs ont été finalisés et l'activité scientifique du BIPM a fait l'objet de changements appréciables. De plus, nous avons commencé les préparatifs de la 23^e Conférence générale des poids et mesures, qui se tiendra du 12 au 16 novembre 2007.

Sur le plan politique, nous avons publié, en janvier 2006, deux déclarations majeures. La première d'entre elles est une déclaration commune au BIPM, à l'OIML et à l'ILAC à propos de l'intérêt des divers accords internationaux sur la métrologie pour le commerce, la législation et la normalisation. Cette collaboration entre l'OIML, l'ILAC et le BIPM a pour but d'attirer l'attention sur l'intérêt des arrangements de reconnaissance mutuelle qu'ils ont établi et d'encourager leur utilisation. La déclaration a été envoyée à diverses organisations internationales et intergouvernementales, ainsi qu'à un certain nombre d'agences de réglementation et d'organismes législatifs, et nous commençons à avoir des retours positifs. La seconde déclaration a été préparée en collaboration avec l'ILAC ; elle traitait de l'importance des relations entre les laboratoires nationaux de métrologie et les organismes d'accréditation reconnus au niveau national. Cette déclaration est essentiellement une réponse aux discussions tenues lors de la 22^e Conférence générale et aux préoccupations concernant le fait que les normes internationales, comme la norme ISO 17011, sur les exigences générales des organismes d'accréditation, pourraient affaiblir la collaboration fondamentale entre les laboratoires nationaux de métrologie et les organismes d'accréditation reconnus au niveau national. Cette déclaration a aussi été envoyée à un grand nombre d'organisations, pour les encourager à la prendre en compte au moment d'établir la politique nationale.

Comme d'habitude, ce rapport présente un compte rendu détaillé du travail scientifique accompli pendant cette période au BIPM. Un des événements notables est la fermeture de la section des longueurs, décidée par la 22^e Conférence générale et l'intégration de certaines des activités de la section dans celle du temps, maintenant renommée section du temps, des fréquences, et de la gravimétrie. Alors qu'une perte d'une partie des activités passées est inévitable, la combinaison des compétences des deux sections

nous aidera à établir comment la prochaine génération d'étalons optiques de fréquence pourrait contribuer au Temps atomique international (TAI).

Au cours de ces derniers mois, plusieurs redéfinitions éventuelles de certaines unités de base du Système international d'unités (SI), en particulier le kilogramme, ont été proposées. Depuis de nombreuses années, un certain nombre de laboratoires nationaux de métrologie recherchent de nouvelles approches pour remplacer la masse du prototype international comme unité de masse du SI. Les progrès sont constants et il est maintenant envisageable que les deux principales approches – la balance du watt et le projet de collaboration sur la constante d'Avogadro – donneront des résultats convergents, pouvant éventuellement établir les fondements d'une redéfinition d'ici les dix prochaines années. Nous avons maintenant besoin d'étudier quelle est la meilleure approche, et le meilleur moment, pour une redéfinition. De plus, il est important que des consultations aient lieu auprès des communautés qui seraient affectées par de nouvelles définitions ; le CIPM a donc encouragé ses Comités consultatifs et les laboratoires nationaux de métrologie à mettre en œuvre ce processus.

Si le kilogramme était redéfini, ceci aurait aussi des implications sur les autres unités de base du SI, et l'on pense actuellement que les définitions de plusieurs unités pourraient changer en même temps. Le Comité consultatif d'électricité et magnétisme (CCEM), par exemple, étudie actuellement un changement éventuel de la définition de l'ampère, qui pourrait être fondé sur une valeur fixée de la charge de l'électron. Le Comité consultatif de thermométrie (CCT) a souligné que de meilleures mesures de la constante de Boltzmann, en progrès dans le monde entier, pourraient offrir une opportunité de redéfinir le kelvin. Le Comité consultatif pour la quantité de matière (CCQM) est aussi conscient que la mole pourrait être redéfinie, pour tirer parti de la valeur fixée de la constante d'Avogadro. Par conséquent, le CIPM a recommandé lors de sa session d'octobre 2005 un certain nombre d'actions, afin de se préparer à un débat majeur lors de la prochaine Conférence générale.

Le programme de travail du BIPM pour la période 2009 à 2012 sera présenté à la prochaine Conférence générale dans un style différent des fois précédentes, en adoptant une approche structurée, afin de justifier et de mesurer l'impact du programme, tout en définissant clairement les besoins en matière d'activités et de projets nouveaux. Le programme de travail sera présenté aux directeurs des laboratoires nationaux de métrologie pour commentaires lors de leur réunion d'octobre 2006 ; il sera ensuite discuté par

le CIPM, qui fera aussi une proposition sur la dotation du BIPM à présenter à la Conférence générale.

De nombreux membres du personnel du BIPM, et encore plus de collègues des laboratoires nationaux de métrologie et des laboratoires désignés du monde entier, continuent à consacrer beaucoup de temps à l'Arrangement du CIPM. Avec la diffusion de la déclaration commune au BIPM, à l'OIML et à l'ILAC, nous espérons faire mieux connaître l'Arrangement du CIPM des gouvernements, des agences de réglementation et autres, afin de trouver des moyens de les intéresser et de les engager à l'utiliser dans un plus grand nombre d'accords internationaux. La meilleure façon de rester au fait des progrès de l'Arrangement du CIPM et de la base de données du BIPM sur les comparaisons clés (KCDB) est de s'abonner à la *KCDB Newsletter*, disponible gratuitement sur le site Web du BIPM (<http://www.bipm.org>).

Le nombre d'États et d'entités économiques qui souhaitent devenir signataires de l'Arrangement du CIPM, ainsi que le nombre de nouveaux Associés à la Conférence générale, pour lesquels l'Arrangement du CIPM est une opportunité d'acquérir une reconnaissance internationale, est révélateur de son succès. Alors que le nombre des États membres est toujours de 51, nous comptons maintenant 20 Associés. L'Estonie, la Croatie, le Kazakhstan et CARICOM sont tous devenus Associés en 2005. CARICOM est un groupement économique représentant 11 de ses États membres. Quarante-cinq États membres de la Convention du Mètre et l'ensemble des Associés ont signé l'Arrangement du CIPM, ainsi que deux organisations internationales.

1.2 Le Comité mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM

Le Comité mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM (JCRB) s'est réuni en septembre 2005 et en avril 2006. Les principaux points traités concernaient un certain nombre de moyens pour 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 la situation relative aux Systèmes Qualité approuvés. Le JCRB a aussi examiné la définition en cours du terme « CMC », qui avait été approuvée par le JCRB lors de sa 8^e réunion. Il a débuté une collaboration avec l'ILAC afin d'examiner la possibilité d'harmoniser les définitions du terme « CMC » et de l'expression similaire « meilleure aptitude de mesure » (BMC), utilisée par la communauté de l'accréditation. Le JCRB a aussi

examiné l'utilisation du logo de l'Arrangement du CIPM à apposer sur les certificats d'étalonnage émis par les laboratoires nationaux de métrologie et qui sont reconnus internationalement dans le cadre de l'Arrangement du CIPM.

1.3 Réunion des directeurs

Plus de 70 directeurs des laboratoires nationaux de métrologie des États membres de la Convention du Mètre et des États et entités économiques associés à la Conférence générale se sont réunis au BIPM en septembre 2005. Le premier jour de la réunion a été consacré aux procédures utilisées par les laboratoires nationaux de métrologie afin d'établir les priorités de leurs programmes de travail ; les représentants de quatre laboratoires, de taille différente et de diverses régions du globe, y ont fait des présentations. Ensuite, un exposé sur le projet iMERA (implementing Metrology in the European Research Area), de l'EUROMET, a illustré un modèle de collaboration entre les laboratoires d'une région. Le BIPM a aussi présenté ses concepts de plans à long terme et les mesures qui pourraient être prises pour élaborer le programme de travail qui sera présenté à la prochaine Conférence générale en 2007. La seconde journée a été consacrée aux mises à jour et à l'examen des applications de la métrologie et de ses principes à un certain nombre de domaines nouveaux, en mettant l'accent en particulier sur la chimie, la médecine et l'environnement. La réunion s'est terminée par un discours de Mike Peet, l'ancien président de l'ILAC.

1.4 Réunion du CIPM

La 94^e session du CIPM s'est tenue en octobre 2005. Le Comité a examiné et approuvé un certain nombre de documents concernant les activités des laboratoires nationaux de métrologie réalisées sous contrat et le rôle joué par les matériaux de référence certifiés. Ces documents de politique sont maintenant placés sur le site en accès libre du CIPM ainsi que les Recommandations du CIPM. Le CIPM a examiné un certain nombre de questions stratégiques, en particulier le rôle des Comités consultatifs et leur programme de travail futur. Tous les Comités consultatifs sont maintenant aussi encouragés à établir des groupes de travail afin de traiter de leur programme à long terme et de donner au CIPM des conseils d'experts sur le programme de travail du BIPM. Les présidents des Comités consultatifs ont présenté leur rapport habituel au CIPM. Les points les plus notables sont les suivants :

- Le Comité consultatif de thermométrie (CCT) a présenté un certain nombre de recommandations pour clarifier les conditions de réalisation des points fixes dans l'Échelle internationale de température de 1990 (EIT-90) (voir <http://www.bipm.org/fr/publications/its-90.html>), et sur le travail nécessaire à une future redéfinition du kelvin fondée sur de meilleures mesures de la constante de Boltzmann.
- Le Comité consultatif des longueurs (CCL) a présenté les nouvelles valeurs de fréquences recommandées pour les radiations de plusieurs ions et atomes piégés, et il a recommandé que plusieurs d'entre elles soient aussi examinées par le Comité consultatif du temps et des fréquences (CCTF) comme représentations secondaires éventuelles de la seconde. Le CCL a aussi recommandé que son Groupe de travail sur la mise en pratique de la définition du mètre soit fusionné avec le Groupe de travail commun au CCL et au CCTF sur les représentations secondaires de la seconde.
- Le Comité consultatif des unités (CCU), après avoir pris en compte les discussions d'autres Comités consultatifs sur d'éventuelles redéfinitions d'un certain nombre d'unités de base du SI, a encouragé les Comités consultatifs à étudier les implications d'une redéfinition simultanée du kilogramme, de l'ampère, du kelvin et de la mole et à sensibiliser les communautés d'utilisateurs. Ces redéfinitions pourraient avoir lieu lors de la 24^e Conférence générale en 2011. Le CIPM a approuvé une recommandation sur le travail préalable à ces redéfinitions (Recommandation 1 (CI-2005)), que l'on peut consulter sur le site Web du BIPM.

Le CIPM a entendu le rapport de M. Seton Bennett sur d'éventuelles activités à venir concernant la traçabilité des mesures en métrologie des matériaux. Ceci résulte d'une décision du CIPM en 2004 d'examiner la demande de la communauté des matériaux que la réduction des incertitudes de mesure et l'amélioration de la traçabilité au SI soit stimulée par une approche plus officielle dans le cadre des organes de la Convention du Mètre. Après avoir entendu le rapport de M. Bennett, le CIPM a décidé d'établir un groupe de travail *ad hoc* pour étudier cette question plus en détail et identifier un certain nombre de comparaisons liées à la métrologie des matériaux. Le groupe de travail présentera son rapport au CIPM en 2006.

Le futur programme de travail du BIPM et les préparatifs de la Conférence générale de 2007 étaient les principaux sujets de discussion. Le BIPM a préparé des « projections » à dix ans de ses activités dans les domaines

scientifiques actuels, ainsi qu'une analyse des critères à utiliser pour établir les priorités en ce qui concerne le travail technique et les activités de coordination. Ceci a aidé le CIPM à voir comment le programme de travail et le budget quadriennaux se situent dans le cadre d'un projet à plus long terme, dont les directions sont identifiées.

Un membre du CIPM a démissionné du CIPM en 2005, M. Janusz Lusztyk, de l'Institut des étalons nationaux de mesure (IENS) du Conseil national de recherches du Canada. M. Lusztyk a été un membre distingué du comité pendant plusieurs années et nous lui présentons tous nos vœux pour sa carrière future. Pour combler le siège vacant, le CIPM a élu M. James McLaren, lui aussi de l'IENS.

1.5 Brochure sur le SI

La 8^e édition de la Brochure sur le SI a été approuvée par le CIPM et la version imprimée a été publiée le 20 mai 2006, à l'occasion de la Journée mondiale de la métrologie. La Brochure est complétée par deux résumés destinés à une large distribution.

1.6 Comité commun pour les guides en métrologie

En novembre 2005, le Comité commun pour les guides en métrologie (JCGM) s'est réuni pour la première fois depuis de nombreuses années. Il a examiné l'état d'avancement de la révision du *Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie* (le VIM) et des divers suppléments au *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure* (le GUM). Le Comité commun a aussi examiné le programme de travail futur de ses groupes de travail et il les a encouragés à soumettre des propositions qui pourraient être examinées par le JCGM en novembre 2006. Le Comité a approuvé l'esprit de la « Charte » du JCGM, mais a demandé d'y apporter un certain nombre de modifications qui reflètent l'évolution du travail du Comité et l'adjonction d'un nouveau membre, l'ILAC. Les groupes de travail sur le VIM et le GUM devraient produire un projet du VIM pour commentaires à l'été 2006 et divers suppléments au GUM fin 2006.

1.7 Comité commun pour la traçabilité en médecine de laboratoire

Le Comité commun pour la traçabilité en médecine de laboratoire (JCTLM) s'est réuni à plusieurs occasions et continue à faire des progrès rapides. Son bureau s'est réuni en novembre 2005 et a examiné les rapports de ses deux

groupes de travail. Le Groupe de travail 1 a maintenant recommandé plus de 120 matériaux de référence et plus de 100 procédures de référence conformes aux critères établis pour les matériaux de rang hiérarchique supérieur nécessaires à l'industrie des dispositifs *in vitro*, et le Groupe de travail 2 a établi les procédures et les critères nécessaires pour identifier les laboratoires de référence. Les deux groupes continueront à proposer de nouveaux matériaux et laboratoires de référence aux critères établis en 2006.

1.8 Commissions du personnel du BIPM

Le statut du BIPM reconnaît la mise en place de quatre commissions dans le but de faciliter la collaboration entre le directeur et le personnel, ceci afin d'améliorer les conditions de travail et de renforcer les liens entre les membres du personnel. De plus, une commission conseille le directeur sur la gestion de l'assurance maladie et une autre commission est chargée, avec le directeur et l'administrateur, de l'application des règlements de la Caisse de prêts sociaux. Les membres de toutes ces commissions sont élus par le personnel. Toutes les commissions ont rencontré le directeur et l'administrateur à plusieurs occasions au cours de l'année.

Pour la première fois, ce rapport contient un bref résumé des principaux sujets traités par ces quatre commissions. Toutes les commissions sont actives à bien des égards, mais les principaux points qui ressortent sont les suivants :

- La commission des salaires suit l'évolution des salaires du personnel du BIPM par rapport à ceux des organisations coordonnées et de la fonction publique française. La commission joue aussi un rôle actif dans les discussions sur l'évaluation du personnel et dans les procédures utilisées pour informer le personnel sur les performances individuelles.
- La commission de l'information et de la sécurité a discuté d'un grand nombre de questions relatives à la sécurité sur le site du BIPM et à la visite, avec le directeur, tous les laboratoires pour examiner les dispositifs de sécurité. Le manuel de sécurité du BIPM est en cours de révision, avec l'aide d'un consultant externe. Cette commission organise aussi une réunion annuelle du personnel au cours de laquelle toutes les commissions présentent leur bilan ; des questions de nature générale y sont posées. Une part importante du travail de la commission est consacrée à des enquêtes d'opinion auprès du personnel, à la demande du directeur, et à l'organisation des élections des membres des commissions, qui ont eu lieu en décembre 2005.

- La commission du statut a été consultée par le directeur sur les changements à apporter au statut, qui ont ensuite été approuvés par le CIPM en octobre 2005, en particulier un code de conduite pour le personnel du BIPM. Il a aussi été demandé à la commission de commenter les clauses du statut du personnel susceptibles de nécessiter une mise à jour.
- La commission des affaires sociales a organisé un certain nombre d'événements sociaux et de visites pour le personnel.

Le directeur est reconnaissant aux membres des commissions pour leurs avis constructifs et utiles.

1.9 Travail scientifique du BIPM

Comme la 22^e Conférence générale l'avait demandé, la section des longueurs a fermé ses portes pendant la période couverte par le présent rapport. Par conséquent, certaines activités de la section des longueurs ont été transférées à la section du temps et une nouvelle section « Temps, fréquences et gravimétrie » a été créée en mars 2006 ; elle regroupe le personnel des anciennes sections des longueurs et du temps. C'est la dernière fois que les rubriques « Longueurs » et « Temps » sont présentées séparément dans le rapport annuel.

Longueurs : Les équipements du peigne optique du BIPM ont été utilisés pour des étalonnages absolus de fréquence dans la comparaison clé BIPM.L-K11. Les mesures ont été organisées en deux campagnes, en novembre 2005 et mai 2006, et ont permis d'étendre la série de mesures absolues de fréquence à trente-sept lasers. De plus, les lasers participants ont été comparés au laser de référence BIW 167 du BIPM afin de déterminer leurs coefficients de sensibilité à des paramètres tels que la puissance, la pression et les effets de modulation.

Pour préparer la cessation d'activité de la section des longueurs, une consultation a été entreprise auprès des laboratoires intéressés à poursuivre la comparaison BIPM.L-K11, pour savoir notamment s'ils s'engagent à jouer le rôle de laboratoire pilote ou à héberger cette comparaison. Selon les réponses à cette consultation, le personnel de la section des longueurs réorganisera cette comparaison clé et assurera une aide initiale aux futurs laboratoires pilotes.

La section des longueurs offre des services d'étalonnage et de mesure pour certains utilisateurs du BIPM et pour des besoins spécifiques externes, en

particulier pour les lasers asservis en fréquence utilisés dans les gravimètres qui ont participé à la comparaison internationale de gravimètres absolus (ICAG) au BIPM en 2005, étalonnés sur place.

Le BIPM assure un service commercial d'assemblage et de remplissage de cuves à iode pour les lasers asservis et pour la spectroscopie. Pendant la période couverte par ce rapport, dix-huit cuves ont été préparées. Des efforts sont effectués pour améliorer la qualité de ce service et pour répondre aux besoins des clients des laboratoires nationaux de métrologie.

Dans le domaine de la métrologie dimensionnelle, les lasers compacts pompés par diode montrent d'excellentes performances pour servir de sources en interférométrie. À cet effet, une cuve à iode d'un type nouveau a été conçue, fabriquée par une société commerciale et testée au BIPM. Ces cuves seront utilisées pour les projets sur le condensateur calculable et sur la balance du watt, et pour un gravimètre absolu plus fiable, de conception nouvelle. La septième comparaison internationale de gravimètres absolus, ICAG-2005, a eu lieu au BIPM au début de 2005. Seize pays ont participé aux mesures mettant en jeu un total de dix-neuf gravimètres absolus. Des mesures relatives ont aussi été effectuées avec quinze gravimètres relatifs appartenant à dix pays. Le gravimètre absolu du BIPM a été mis à niveau et il sera encore amélioré.

La section a apporté son aide au Groupe de travail commun au CCL et au CCTF sur les représentations secondaires de la seconde, au sein duquel certains membres de la section exercent des responsabilités. La section est impliquée dans les discussions avec les experts des laboratoires nationaux de métrologie sur la nécessité d'améliorer les performances des techniques de comparaison à distance afin de tirer parti des performances des horloges optiques pour l'échelle de temps international.

Un audit externe du Système Qualité de la section des longueurs a eu lieu en avril 2006. L'auditeur a trouvé que le travail était bien organisé ; il a suggéré seulement quelques petits changements dans les procédures écrites.

Masses : Des certificats d'étalonnage ont été émis pour dix prototypes nationaux de 1 kg et onze étalons en acier inoxydable de 1 kg appartenant à des laboratoires nationaux de métrologie. Nos capacités d'analyse au moyen de l'informatique ont été améliorées de manière significative. Des étalonnages internes de sous-multiples du kilogramme ont été effectués pour nos collègues des sections de chimie et des rayonnements ionisants du BIPM. Nous avons établi un nouveau service d'étalonnage interne des jauges de pression fonctionnant au voisinage de la pression atmosphérique. Nous

effectuons maintenant des étalonnages de routine chaque trimestre et nous avons déjà étalonné les jauges de pression utilisées par toutes les sections techniques du BIPM. Pour valider ce service, nous avons effectué une comparaison bilatérale dont le laboratoire pilote était le LNE. Elle a été suivie d'un examen par les pairs de notre service d'étalonnage par un expert du METAS.

Notre contribution au projet de collaboration internationale sur la constante d'Avogadro continue à être conséquente et bien appréciée. L'installation récente d'une nouvelle balance (Sartorius CCL 1007), qui incorpore la technologie du BIPM sous licence, nous permettra de faire face aux besoins croissants en matière de métrologie des pesées dans le vide. Comme prévu dans notre programme de travail, nous avons réaménagé le laboratoire hébergeant la nouvelle balance et les trois anciennes balances.

Temps : La collaboration avec l'INRIM et l'USNO pour l'estimation des incertitudes des valeurs de $[UTC - UTC(k)]$ se poursuit ; la méthode a été perfectionnée et les incertitudes sont maintenant publiées dans la *Circulaire T* et dans les mises à jour mensuelles des résultats de la comparaison clé CCTF-K2001.UTC. La stabilité du Temps atomique international (TAI), 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. L'exactitude du TAI est fondée sur huit étalons primaires de fréquence qui comprennent, à présent, quatre fontaines de césium (IT CSF1, LNE-SYRTE FO2, NIST F1 et NMIJ F1). Une correction totale de fréquence de -6×10^{-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 de 1×10^{-15} à 2×10^{-15} près. La section du temps travaille étroitement avec le nouveau Groupe de travail du CCTF sur les étalons primaires de fréquence afin d'améliorer l'exactitude du TAI résultant de nouvelles contributions d'étalons primaires de fréquence.

De nouvelles méthodes de comparaisons d'horloges fondées sur les observations des signaux du GPS ont été étudiées pour une application future au calcul du TAI. Différentes techniques et méthodes de comparaisons d'horloges sont comparées régulièrement ; les résultats sont publiés sur l'Internet. Deux groupes d'étude *ad hoc* ont été établis par le Groupe de travail du CCTF sur le TAI afin d'optimiser les liaisons horaires pour le TAI. Des programmes d'étalonnage des récepteurs actuels du GPS ont été organisés et mis en œuvre par la section du temps ; l'étalonnage de nouveaux types de récepteurs du GPS et du GLONASS est à l'étude.

La section a apporté son aide au Groupe de travail commun au CCL et au CCTF sur les représentations secondaires de la seconde, au sein duquel certains membres de la section exercent des responsabilités. La section est impliquée dans les discussions avec les experts des laboratoires nationaux de métrologie sur la nécessité d'améliorer les techniques de comparaison à distance afin de tirer parti des performances des horloges optiques pour l'échelle de temps international.

Le travail de recherche est aussi consacré aux systèmes de référence spatio-temporels, en particulier dans le cadre relativiste nécessaire à la définition et à la réalisation des temps-coordonnées. Un forum de discussion a été ouvert aux utilisateurs dans le cadre de la collaboration entre la section du temps du BIPM et l'USNO (États-Unis) pour le « Conventions Product Centre » du Service international de la rotation terrestre et des systèmes de référence (IERS). Des mises à jour des conventions à utiliser pour établir les systèmes de référence spatio-temporels, les « *Conventions de l'IERS* » (2003), ont été publiées et sont disponibles sur un site Web dédié maintenu au BIPM.

Un audit externe du Système Qualité de la section du temps a eu lieu en avril 2006. L'auditeur a trouvé que le travail était bien organisé ; il a suggéré seulement quelques petits changements dans les procédures et instructions techniques.

Électricité : La formation des nouveaux membres de la section (celle de deux des trois personnes transférées de la section de photométrie et radiométrie et celle d'un nouveau membre du personnel, expérimenté dans les mesures de résistance) aux mesures de tension et d'impédance progresse. Un des nouveaux membres est maintenant qualifié pour effectuer des mesures au moyen de l'étalon de tension de Josephson du BIPM et il a déjà acquis beaucoup d'expérience dans les comparaisons d'étalons de Josephson. Un deuxième membre du personnel fait des progrès constants dans l'apprentissage de l'utilisation de l'étalon à effet Hall quantique du BIPM ; il a été rejoint en mai 2006 par une nouvelle recrue.

Des efforts considérables ont été consacrés à mener à bien six nouvelles comparaisons sur site d'étalons de Josephson avec le BEV, le CEM, l'INETI, l'INMETRO, le NMIA et le NMIJ. Une septième comparaison, avec le KRISS, n'a pas donné de résultats exploitables et elle devra être répétée. Nous avons presque terminé nos activités concernant l'un des deux nouveaux projets en métrologie des tensions : la mise en place d'un équipement entièrement automatisé pour la mesure d'étalons de 1,018 V ; les tests de validation, par rapport à l'ancien équipement qu'il remplace, débiteront prochainement. Les activités sur le deuxième projet, qui concerne un étalon

de Josephson compact et plus aisément transportable, progressent. Actuellement, la nouvelle sonde cryogénique est en cours de construction, ainsi que certains filtres de conception très ardue, qui sont des composantes clés des étalons de Josephson du BIPM.

Dans le domaine de l'impédance, une nouvelle sonde a été vérifiée avec succès dans le pont du comparateur cryogénique de courant de rapport 100/1. Toutes nos mesures de résistance dépendent de la mesure d'une résistance de 100 Ω au moyen de l'étalon à résistance de Hall quantifiée. Nous avons maintenant terminé l'installation d'une nouvelle enceinte thermostatée comportant deux étalons de 100 Ω de première qualité, renforçant ainsi la redondance. Les résultats de nos recherches effectuées en collaboration avec le LNE sur l'étude des qualités métrologiques de réseaux de dispositifs à résistance de Hall quantifiée se sont révélés prometteurs et passionnants. Il semble que ces dispositifs soient capables de fournir un moyen de vérifier les mesures de rapport de résistance à quelques 10^{-9} en valeur relative. Nous réduisons l'incertitude sur le lien entre les dispositifs à résistance de Hall quantifiée et les étalons de capacité en remplaçant les résistances du pont de quadrature par de nouvelles, elles-mêmes dans une enceinte thermorégulée.

Le travail sur la détermination des caractéristiques de bruit des étalons de tension à diodes de Zener et de leur réponse aux variations de l'environnement est arrêté. Notre conclusion sur la limite de l'incertitude liée au bruit en $1/f$ est maintenant globalement acceptée et un manque de personnel nous oblige à cesser les mesures des coefficients de pression et de température des étalons à diodes de Zener. Nous avons mis au point une formule qui permet de calculer l'écart-type de la moyenne des processus de bruit blanc mesurés avec un instrument équipé d'un filtre passe-bas, au moyen de la méthode d'analyse des séries temporelles. Le résultat s'accorde bien avec ceux obtenus au moyen d'une approche plus générale de calcul de l'incertitude de la moyenne des processus stationnaires non-déterministes corrélés, récemment proposée par le NIST.

En **thermométrie**, la comparaison clé de cellules à point triple de l'eau, organisée par le BIPM pour le CCT, est terminée. Cette comparaison a démontré le besoin de définir plus précisément le point triple de l'eau, qui définit le kelvin. Ce problème a été résolu en ajoutant une phrase de clarification, qui spécifie la composition isotopique de l'eau de référence, à la définition du kelvin publiée dans la 8^e édition de la Brochure sur le SI.

Condensateur calculable : L'atelier du BIPM poursuit la fabrication de composants pour les deux condensateurs calculables mis au point en collaboration avec le NMIA. Un nouveau type de cuve à iode pour asservir la

longueur d'onde du laser à fréquence doublée Nd:YVO₄ a été mis au point et intégré au laser. Un deuxième laser sera bientôt terminé. Le travail sur le pont capacitif utilisé pour l'étalonnage des étalons de capacité de 1 pF par rapport au condensateur calculable est terminé. Un interféromètre prototype a été élaboré au BIPM ; les performances de ce système sont à l'étude et sa contribution à l'incertitude est en cours d'évaluation.

Balance du watt : Les caractéristiques principales du circuit magnétique ont été déterminées et nous essayons maintenant de trouver une société capable de fabriquer les parties en fer doux nécessaires ; des tolérances mécaniques très étroites sont requises. Un aimant simplifié a été construit que l'on peut utiliser en attendant que le système définitif soit disponible. La suspension de la balance et le moteur électrostatique pour le déplacement de la bobine ont été assemblés. Le système est équipé de capteurs optiques servant à mesurer sa position. Nous avons commencé à contrôler la position et la vitesse de la bobine au moyen d'un système d'asservissement numérique, qui lit la position et applique des hautes tensions aux électrodes du moteur. La position peut être contrôlée pendant tout le trajet et la vitesse est ainsi asservie à 0,2 mm/s près. Le bruit observé sur la vitesse est cependant élevé. Récemment, un interféromètre a été intégré au système, qui améliorera ses performances de manière significative. Un système optique a été mis au point pour aligner le faisceau vertical de l'interféromètre par rapport à la direction de la pesanteur locale. Différents moyens de bobiner et de coller le fil sur une bobine à 1200 tours ont été essayés.

Rayonnements ionisants : Nous avons conçu une nouvelle méthode pour re-déterminer le volume d'air des chambres à ionisation étalons primaires du BIPM. Cette méthode différentielle implique des mesures dimensionnelles de précision et des calculs de Monte Carlo ; elle a mis en évidence une surestimation du volume actuel. Couplée aux facteurs de correction maintenant publiés pour l'étalon dans les faisceaux de ⁶⁰Co, la nouvelle valeur du BIPM pour le kerma dans l'air sera plus élevée que celle proposée au CCRI en 2005, mais l'incertitude sera plus faible. Les calculs de Monte Carlo pour l'étalon actuel de dose absorbée dans l'eau indiquent aussi un changement significatif. Ces nouveaux étalons seront présentés à la prochaine réunion du CCRI pour approbation. La conception du calorimètre à graphite pour la dose absorbée dans l'eau est calculée par ordinateur. La mesure de la capacité thermique spécifique a été réalisée avec une incertitude de $9,6 \times 10^{-4}$, et une nouvelle méthode différentielle a été mise en œuvre pour améliorer cette valeur, dont le calorimètre dépend. Cinq nouvelles comparaisons de dosimétrie et deux comparaisons pilotes de mammographie

ont été effectuées. L'équipement pour la nouvelle comparaison de curiethérapie a été assemblé. Quatre rapports de comparaisons ont été publiés et la rédaction des autres est en cours. Huit étalons secondaires nationaux ont été étalonnés. Le Système Qualité pour les étalonnages a fait à nouveau l'objet d'un audit, avec succès. Des efforts considérables ont été nécessaires pour se conformer aux dernières réglementations françaises en matière d'environnement dans le cas de sources de ^{60}Co d'activité élevée.

Nous nous sommes conformés à la recommandation de la Section II du CCRI de regrouper les radionucléides par catégorie ; par exemple, la comparaison de ^{55}Fe qui a été choisie, et qui doit se dérouler cette année, a le potentiel d'étayer les mesures de vingt-trois autres radionucléides. Dix-neuf laboratoires ont participé à cette comparaison, dont les résultats sont à analyser. Le transport transfrontalier des matériaux radioactifs a occasionné d'importants retards pour certains laboratoires nationaux de métrologie et a réduit le nombre final de participants. Huit laboratoires ont soumis des ampoules pour douze comparaisons de mesures d'activité en continu, y compris les radionucléides ^{18}F et $^{99\text{m}}\text{Tc}$ à courte durée de vie, dans le Système international de référence (SIR). Trois études pilotes ont aussi été conduites, en particulier pour préparer la comparaison de gaz de ^{85}Kr . Le nouveau système de mesure du SIR donne des résultats prometteurs et le travail progresse bien en ce qui concerne l'intégration dans le SIR de mesures de radionucléides à courte durée de vie pour des laboratoires distants. Au cours des douze derniers mois, seize rapports de comparaisons du SIR ont été publiés. Certains résultats de 2005 et tous les résultats obtenus avant 2005 sont maintenant publiés dans la KCDB tandis que les résultats restants de 2005 ont été analysés ; les projets A et B de rapports correspondants sont en circulation. Les niveaux d'impureté ont été mesurés au moyen du spectromètre Ge(Li) du BIPM pour huit radionucléides soumis pour comparaison. Les résultats de la collaboration avec le NPL sur les courbes d'efficacité du SIR ont été présentés à une conférence internationale et seront publiés sous forme d'une *Monographie BIPM*. Le Système Qualité du BIPM est étendu au SIR, qui doit faire l'objet d'un examen par les pairs avant la fin de 2006.

Chimie : La section de chimie conduit des programmes de laboratoire et coordonne des comparaisons internationales dans les domaines de l'analyse des gaz (étalons de qualité de l'air) et de l'analyse organique (étalonnage primaire pour la médecine de laboratoire). La section assure le secrétariat du JCTLM et coordonne la base de données du JCTLM sur les matériaux de

référence certifiés et les procédures de mesure de référence de rang hiérarchique supérieur.

Le BIPM a coordonné l'étude pilote sur les étalons de référence mesureurs d'ozone (CCQM-P28) ; la version finale du rapport a été approuvée et publiée. Le protocole de la future comparaison clé en continu BIPM.QM-K1 sera finalisé lors de la réunion du Groupe de travail du CCQM sur l'analyse des gaz en novembre 2006. Les documents du Système Qualité pour les comparaisons d'ozone (et les étalonnages futurs) ont été mis à jour pour tenir compte des résultats de l'étude pilote CCQM-P28 et pour préparer la comparaison clé BIPM.QM-K1. La validation du logiciel OzonE à utiliser dans les futures comparaisons clés est en cours. Les résultats de l'étude des écarts systématiques et des incertitudes de mesure des photomètres de référence étalons mesureurs d'ozone sont décrits dans un article écrit en collaboration avec le NIST et soumis pour publication à *Metrologia*. Un laser à argon à fréquence doublée a été installé et des essais préliminaires ont été effectués afin d'établir un programme de travail détaillé visant à construire un photomètre étalon de référence fondé sur un laser. Les équipements pour le titrage en phase gazeuse ont été perfectionnés afin de permettre d'effectuer des mesures d'ozone aux fractions molaires basses (domaine compris entre 150 nmol/mol et 800 nmol/mol), tout en maintenant une incertitude-type relative de mesure de 0,3 %.

Le travail de recherche et de validation sur les équipements primaires de dioxyde d'azote du BIPM se poursuit, avec l'aide de deux scientifiques de laboratoires nationaux de métrologie en détachement au BIPM. La validation du système du BIPM par rapport à la dilution de mélanges de dioxyde d'azote à haute concentration contenus dans des cylindres et par rapport à d'autres équipements de génération dynamique est prévue dans le programme futur. Le BIPM coordonne l'étude pilote sur les étalons de monoxyde d'azote, CCQM-P73, qui a débuté en avril 2006 ; celle-ci demande que des étalons d'une concentration donnée soient envoyés aux treize laboratoires nationaux de métrologie participants. Chaque participant a préparé deux étalons primaires de monoxyde d'azote par gravimétrie dans le domaine compris entre 30 $\mu\text{mol/mol}$ et 70 $\mu\text{mol/mol}$, qui seront analysés au BIPM.

Le BIPM coordonne deux comparaisons approuvées par le CCQM et appartenant à la série CCQM-P20 (comparaisons d'analyse de pureté de substances organiques) : les études pilotes CCQM-P20.e pour la théophylline et CCQM-P20.f pour la digoxine. Il met au point des approches et des méthodologies robustes pour la détermination de la pureté. Un équipement

dédié à la manipulation, au traitement et au stockage de matériaux à plus large échelle a aussi été établi. La rénovation d'un laboratoire pour offrir un environnement adapté au transfert contrôlé de matériaux par gravimétrie et à la préparation de haute exactitude de solutions d'étalonnage a débuté. La mise au point de la méthode et les études de validation nécessaires à la production et à la détermination des caractéristiques des échantillons pour l'étude pilote CCQM-P20.e ont été entreprises, en mettant l'accent sur la détermination des caractéristiques de la théophylline et des composés d'une structure connexe du groupe de la xanthine. Les méthodes mises au point à cet effet comprennent la spectrométrie de masse et la chromatographie liquide avec spectrométrie de masse, la chromatographie liquide avec détection de l'ultraviolet, les techniques de calorimétrie différentielle à balayage, le titrage de Karl Fischer et les protocoles pour la préparation, les essais de stabilité et de vérification de l'homogénéité de matériaux de théophylline contaminés par gravimétrie. Les deux matériaux candidats pour l'étude pilote CCQM-P20.e ont été produits. Ils se présentent sous la forme de sous-échantillons individuels de 1 g placés dans des flacons en verre ambré. Un matériau de digoxine candidat pour l'étude pilote CCQM-P20.f, sous forme de sous-échantillons de 250 mg placés dans des flacons en verre ambré, a aussi été produit. Le programme en cours du BIPM est réalisé en collaboration avec le LGC pour les études liées à la théophylline et à la digoxine, et avec le NMIJ dans le domaine des hormones stéroïdes.

La section de chimie assure le secrétariat du JCTLM. Les troisième et quatrième réunions du comité exécutif du JCTLM se sont tenues en 2005. Une seconde série de matériaux de référence et de procédures de mesure de référence de rang hiérarchique supérieur sélectionnés a été publiée dans la base de données du JCTLM, et un troisième appel à propositions a été fait. Le manuel de procédures du Groupe de travail 2 du JCTLM, sur les réseaux de laboratoires de mesure de référence, a été approuvé et publié ; le premier appel concernant les laboratoires de services de mesures de référence a été lancé. L'élaboration d'une base de données du JCTLM interrogeable sur l'Internet a débuté en mai 2006. Cette application comprendra un module à accès restreint (back-office) au BIPM avec une base de données et des formulaires de gestion et un module public (front-office) sur les sites Web du BIPM et de l'IFCC. Elle a été conçue pour offrir à l'utilisateur un moteur de recherche par mots clés et pour proposer des listes de matériaux de référence et de méthodes et procédures de mesure de référence de rang hiérarchique supérieur.

Afin de préparer la Conférence générale de 2007, un certain nombre de documents ont été élaborés pour aider à formuler le programme de travail de la section de chimie pour les années futures. Un projet à dix ans sur la métrologie en chimie et ses implications pour le programme de travail du BIPM a été présenté au CIPM en octobre 2005. Il a ensuite été étendu à des propositions d'activités à mener pendant la période 2009-2012, en tenant compte des réponses à un questionnaire élaboré par le BIPM sur les tendances futures et les programmes en métrologie en chimie et en biologie, qui a été distribué aux laboratoires nationaux de métrologie au début de 2006. Les propositions pour le programme de métrologie en chimie du BIPM pour la période 2009-2012 s'articulent selon trois thèmes majeurs, suivant les conseils du CCQM, notamment : la métrologie des gaz qui relève du domaine de la qualité de l'air et du changement climatique ; un programme de chimie organique concernant certains étalons primaires de référence pour l'analyse organique, en vue d'applications dans les domaines de l'alimentation, de la santé et de la médecine légale ; et des programmes de coordination et de relations internationales. Le CCQM a conseillé au BIPM de développer des activités de coordination dans le domaine de la bioanalyse, mais pas de programme de laboratoire pour le moment.

1.10 Publications, conférences et voyages du directeur

1.10.1 Publications extérieures

1. Wallard A.J., News from the BIPM – 2005, *Metrologia*, 2006, **43**, 175-182.
2. Wallard A.J., Improving worldwide traceability of measurements: How BIPM and ILAC are collaborating, *Measure*, 2006, **1**(1), 42-45.
3. Le monde de la métrologie au service du monde, message pour la Journée mondiale de la métrologie, mai 2006 (disponible en ligne, sur le site Web du BIPM).

1.10.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

A.J. Wallard s'est rendu à :

- Londres (Royaume-Uni), le 21 juillet 2005, pour une réunion du conseil de l'Institute of Physics (IOP) ;

- Washington DC (États-Unis), le 8 août 2005, pour une visite au NIST, et du 9 au 11 août, pour le NCSLI Board of Management et pour une conférence NCSLI ;
- Daejeon (Rép. de Corée), le 6 septembre 2005, pour visiter les nouveaux laboratoires du KRISS et pour assister à la conférence annuelle et à l'assemblée générale de l'Asia/Pacific Metrology Programme ;
- Londres (Royaume-Uni), le 21 septembre 2005, pour présider le Membership and Qualifications Board de l'IOP et pour une présentation à l'assemblée générale ;
- Port of Spain (Trinidad et Tobago), du 9 au 12 octobre 2005, pour une conférence à l'assemblée générale de l'Inter-American Metrology System et pour la signature de l'Arrangement du CIPM par CARICOM ;
- Londres (Royaume-Uni), le 29 novembre 2005, au DTI, pour une réunion du Quantum Metrology Programme Committee du NPL ;
- Berlin (Allemagne), le 1^{er} décembre 2005, pour une présentation à un symposium pour le lancement du projet iMERA de l'EUROMET ;
- Helsinki (Finlande), le 11 janvier 2006, pour un discours à l'occasion de l'inauguration du laboratoire de métrologie finlandais ;
- San Antonio (États-Unis), du 15 au 19 janvier 2006, pour participer au bureau de NCSLI ;
- Braunschweig (Allemagne), les 7 et 8 février 2006, pour une conférence lors d'un atelier sur la métrologie, en l'honneur du départ à la retraite de M. Kochsiek, et pour des discussions avec M. E.O. Göbel ;
- Johannesburg (Afrique du Sud), les 23 et 24 mars 2006, pour une présentation sur le BIPM et la Convention du Mètre lors du lancement de l'organisation régionale de métrologie AFRIMETS ;
- Berlin (Allemagne), les 20 et 21 avril 2006, pour la 16^e réunion du JCRB ;
- Washington DC (États-Unis), le 5 mai 2006, pour visiter le NIST et le Département d'État du Gouvernement américain ;
- Madrid (Espagne), le 10 mai 2006, pour l'atelier du Comité d'accréditation de l'ILAC ;
- Genève (Suisse), le 31 mai 2006, pour visiter l'OMM ;
- Vienne (Autriche), le 1^{er} juin 2006, pour s'adresser à l'assemblée générale de l'EUROMET ;
- Bruxelles (Belgique), le 7 juin 2006, pour une réunion avec l'IRMM.

1.11 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 et il est membre du conseil de l'Institut des étalons nationaux de mesure du Conseil national de recherches du Canada. Il est professeur associé de l'Institute of Mathematics and Physical Sciences de l'université du Pays de Galles à Aberystwyth. Jusqu'à la fin de son mandat en octobre 2005, il fut vice-président chargé du « Membership and Qualifications » de l'Institute of Physics (IOP, Royaume-Uni), membre du conseil de l'IOP, président du « Membership and Qualifications Board » et membre du « Professional Standards Committee ». Il est membre du bureau de la National Conference of Standards Laboratories International (NCSLI) ; membre de l'Académie scientifique de Turin et président du JCRB et du JCGM.

2 LONGUEURS (A.J. WALLARD*, E.F. ARIAS**)

2.1 Travaux sur le peigne

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

Les expériences ayant pour but de vérifier les limites de la technique des peignes ont débuté en 2003 en collaboration avec le NIST et l'East China Normal University (ECNU). Ces essais ont été poursuivis en collaboration avec le NIST en 2004 et 2005. Les résultats de cette étude systématique sur l'incertitude des peignes de fréquence à impulsions femtosecondes asservis sur un laser dans le visible ont été présentés dans un article soumis pour publication.

* Responsable de la section des longueurs jusqu'au 31 décembre 2005.

** Responsable de la section du temps, des fréquences et de la gravimétrie depuis le 1^{er} janvier 2006.

*** En détachement de l'INRIM depuis janvier 2006.

Le peigne #2 a été optimisé pour être utilisé autour de 543 nm et de 515 nm en se servant d'un tube laser comme tampon intermédiaire, auparavant utilisé dans un laser à hélium-néon asservi sur l'iode. Ce genre de laser délivre une puissance d'environ 100 μ W si bien que le battement entre ce laser tampon et la raie du peigne présente un signal sur bruit de 30 dB dans une largeur de bande de 300 kHz.

Un nouveau modèle de peigne compact et stable a été mis au point ; un laser femtoseconde a été fabriqué et est prêt à être soumis à des essais. Parmi les améliorations, le socle du laser femtoseconde est maintenant thermorégulé.

Des études préliminaires ont été entreprises afin de valider les techniques de comptage lorsque l'oscillateur est affecté d'un bruit blanc de phase. Le compteur de fréquence est le dernier maillon de la chaîne de mesure : il permet d'obtenir le résultat final en comparant la fréquence inconnue à la fréquence de référence pour un temps d'intégration donné ; les résultats sont enregistrés sur ordinateur. Dans un compteur réciproque, la résolution est limitée par le comptage de la fréquence de référence. Il est possible de l'améliorer en utilisant un interpolateur qui mesure aussi la fraction du cycle de référence. Nous avons modulé un synthétiseur avec un bruit blanc de phase et envoyé le signal à des compteurs, utilisant différentes techniques de comptage. Lorsque la stabilité de la fréquence est supérieure à la résolution du compteur, nous constatons que la stabilité finale, représentée par un écart type d'Allan, dépend fortement de l'algorithme de comptage interne.

2.2 Comparaison clé BIPM.L-K11

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

La série de mesures qui a commencé au BIPM en 2002, afin de fournir des étalonnages de lasers à la communauté des longueurs au moyen de lasers étalons, s'est poursuivie pendant la période couverte par ce rapport. Deux campagnes ont eu lieu, au printemps et à l'automne, avec des lasers appartenant à l'Espagne, à l'Inde, à la Malaisie et au Portugal. Le nombre total de lasers maintenant étalonnés est de trente-six, appartenant à vingt-sept pays. Ces mesures permettent non seulement d'établir une traçabilité directe pour ces étalons, mais elles offrent aussi un réseau de traçabilité de haut niveau qui permet d'étendre aux plus petits laboratoires nationaux de métrologie une incertitude réduite pour la mise en pratique de la définition du mètre. De plus, les informations que ces mesures ont permis d'accumuler donnent de meilleures valeurs pour les radiations recommandées à inclure

dans la mise en pratique, apportant une amélioration par rapport aux différentes comparaisons de fréquence de la comparaison clé BIPM.L-K10.

En 2003, la 22^e Conférence générale a approuvé la proposition du CIPM de fermer la section des longueurs du BIPM en 2006. Par conséquent, le BIPM ne peut plus jouer le rôle de laboratoire pilote de la comparaison clé BIPM.L-K11 et il faut trouver une autre solution pour répondre à la demande du CCL et aux besoins des laboratoires nationaux de métrologie. Un questionnaire a donc été préparé et distribué aux États membres. Les réponses indiquent qu'un besoin subsiste et il a été proposé de répartir les tâches afin de poursuivre la comparaison BIPM.L-K11. Selon cette proposition, un petit nombre de laboratoires nationaux de métrologie serviront de laboratoires hôtes dans les organisations régionales de métrologie et un laboratoire national de métrologie jouera le rôle de laboratoire pilote. Il est envisagé de mettre en place cette nouvelle organisation au début de 2007, avec éventuellement l'aide initiale du BIPM, afin d'assurer la continuité.

Il est intéressant de noter qu'après l'introduction de la technologie du peigne dans de plus petits laboratoires nationaux de métrologie, la participation à la comparaison BIPM.L-K11 a été vécue comme un moyen de valider la technique du peigne à un niveau adapté aux aptitudes de mesure déclarées.

2.3 Service d'étalonnage et de mesurage

(R. Felder, J. Labot, L.-S. Ma, L. Robertsson et M. Zucco)

En plus de la comparaison BIPM.L-K11, la section fournit un service d'étalonnage et de mesurage pour des besoins internes et externes spécifiques. En particulier, ceci concerne les comparaisons internationales de gravimètres absolus (ICAG) qui ont lieu tous les quatre ans au BIPM. Les gravimètres modernes sont équipés de sources laser asservies en fréquence, utilisées pour déterminer la position de la masse d'essai pendant la chute. En ce qui concerne ICAG-2005, un système dédié a été mis au point pour les étalonnages de fréquence sur place, évitant de démonter les lasers du gravimètre et le réalignement des systèmes qui s'ensuit, ce qui prend du temps et est susceptible d'introduire des erreurs supplémentaires. Pendant l'ICAG-2005, quelque vingt-deux lasers ont été étalonnés aux longueurs d'onde 532 nm et 633 nm. En plus du service d'étalonnage, l'assistance technique générale pour les lasers constitue une contribution fondamentale à cette comparaison, car tous les gravimétristes ne sont pas des spécialistes des lasers.

Par ailleurs, des mesures d'un type nouveau de laser étalon, mis au point au LNE-INM (France), ont été faites l'an passé. Le système est fondé sur une fibre laser délivrant un signal à une longueur d'onde proche de 1030 nm. D'excellentes performances ont été obtenues par doublage de fréquence de cette radiation, et en asservissement sur des raies étroites de l'iode moléculaire. De plus, des déterminations de la fréquence absolue de certaines transitions de l'iode moléculaire, ainsi que des mesures de structure hyperfine, ont été effectuées.

Pendant les campagnes de l'automne 2005 et du printemps 2006 de la comparaison BIPM.L-K11, outre les étalonnages absolus de fréquence effectués avec le peigne du BIPM, nous avons mesuré, en comparant la fréquence de tous les lasers participants à notre laser de référence (BIW 167), les coefficients de sensibilité à certains paramètres tels que la pression, la puissance et les effets de modulation.

2.4 Cuves à iode (R. Felder, J. Labot, L. Robertsson et M. Zucco)

Nous continuons à recevoir des demandes, de la part des laboratoires nationaux de métrologie et d'autres laboratoires, de cuves à iode pour les lasers asservis et pour la spectroscopie. Cette année, nous avons vendu dix-huit cuves à iode. Il est important de noter que cette demande concerne, en grande partie, des cuves de conception particulière présentant des géométries spécifiques.

Les problèmes techniques d'assemblage, de soudure et de remplissage de la cuve d'une longueur de 1,8 m ont finalement été résolus ; cette cuve est maintenant utilisée dans l'étalon à Nd:YAG. Certains laboratoires nationaux de métrologie ont fait part de leur intérêt à utiliser cette cuve longue dans leurs étalons à Nd:YAG.

En réponse aux problèmes de pompage, le système à vide utilisé pour le remplissage des cuves à iode a été entièrement démonté et reconstruit.

Des études préliminaires sur un nouveau type de cuve à iode ont été effectuées. Cette cuve est fondée sur une fibre optique creuse, qui a été vidée et remplie d'iode. Il a été suggéré qu'il serait possible d'obtenir une meilleure reproductibilité en utilisant le mode guidé de la fibre pour définir la distribution du champ électromagnétique, plutôt que la position du miroir ; en utilisant des fibres plus longues, on pourrait envisager une meilleure stabilité à court terme.

2.5 Lasers à He-Ne asservis sur l'iode

(R. Felder, J. Labot, L. Robertsson et M. Zucco)

Les cuves à iode que nous produisons sont contrôlées par comparaison de fréquence à notre laser de référence BIW 167. Les cuves à iode sont donc placées dans la cavité d'un laser auxiliaire, BIPM7. L'assemblage mécanique de ce laser a été modifié.

Le laser BIPM4, un de nos lasers de référence alimentant le laser BIW 167, a été endommagé et les tentatives pour le réparer se sont avérées insatisfaisantes.

Afin de mieux estimer l'effet bien connu de lentille dans les gaz, observé dans les étalons à hélium-néon, nous avons mis au point une expérience pour analyser le signal résiduel de troisième harmonique à la sortie du détecteur du laser asservi, en balayant transversalement le faisceau de sortie. Les résultats sont à l'étude, mais il n'est pas évident que l'effet soit reproductible.

2.6 Métrologie dimensionnelle

(J. Labot, V.N. Navilaev*, O.A. Orlov** et L.F. Vitushkin)

2.6.1 Diffractomètre laser interférentiel

La construction du diffractomètre se poursuit avec la réparation du laser à argon ionisé et l'installation d'une caméra CCD. Le système optique à lentille asphérique est à l'étude. Le logiciel pour l'analyse de l'homogénéité du schéma d'interférence, fondé sur le logiciel FRINGER, est en préparation. Le nouveau logiciel pour le calcul automatique de la période du réseau à mesurer par la méthode des trois longueurs d'onde, en utilisant diverses combinaisons de longueurs d'onde d'un laser à argon ionisé, est aussi en cours de mise au point.

Des essais de mesure d'un réseau de diffraction spécial pour la métrologie, BIPM-HOLOGRATE, ont été effectués.

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

Une cuve à iode d'un type nouveau a été conçue et fabriquée par HELLMA. Cette cuve est entièrement faite de PIREX avec des fenêtres en verre

* Chercheur invité.

** VNIIM.

borosilicaté. La taille de la cuve permet de l'utiliser dans les lasers compacts. Les premières cuves de ce type ont été remplies d'iode et ont subi les tests avec succès.

Le premier essai de cette cuve à iode dans le laser compact modifié Nd:YVO₄/KTP/I₂ à 532 nm avec une modulation de fréquence accrue à 10 kHz a été effectué au VNIIM.

2.7 Gravimétrie

(Z. Jiang*, V. Nalivaev, L. Robertsson et L.F. Vitushkin)

2.7.1 La 7^e comparaison internationale de gravimètres absolus ICAG-2005

Mesures absolues

La 7^e comparaison internationale de gravimètres absolus ICAG-2005 a été organisée au BIPM par le groupe d'étude 2-1-1 de l'Association internationale de géodésie (AIG) sur les comparaisons de gravimètres absolus, par le Groupe de travail sur la gravimétrie du Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées (CCM) et par le BIPM. Le comité d'organisation de l'ICAG-2005 était composé de L. Vitushkin (BIPM), M. Becker (IPG DTU, Allemagne), O. Francis (ECGS, Luxembourg), A. Germak (INRIM, l'ancien IMGIC, Italie), Z. Jiang (BIPM) et Wangxi Ji (NIM, Chine).

Pour la première fois, le protocole technique de l'ICAG a été mis au point par le « Discussion Group on Technical Protocol » (présidé par A. Germak de l'INRIM, Italie) et par le laboratoire pilote (BIPM), selon les directives pour les comparaisons clés mises en oeuvre dans le cadre de l'Arrangement de reconnaissance mutuelle.

Le protocole technique précise en détail la procédure à suivre pour la comparaison, le traitement des données et la présentation des résultats de la comparaison avec les incertitudes.

Conformément à ce qui avait été décidé lors de la réunion du Groupe de travail sur la gravimétrie du CCM et du groupe d'étude 2-1-1 de l'AIG sur les comparaisons de gravimètres absolus, les membres de ces groupes de travail, après consultation de leur laboratoire, ont informé le président du CCM de leur décision concernant la comparaison ICAG-2005. Considérant l'avis largement partagé pour le choix d'un statut à l'ICAG-2005, le comité d'organisation a recommandé au CCM que cette comparaison soit une étude

* À temps partiel dans la section des longueurs jusqu'au 31 décembre 2005.

pilote. Cette recommandation a été approuvée lors de la réunion du CCM, qui s'est tenue à Sèvres les 27 et 28 avril 2005.

Le comité d'organisation a recommandé que l'étude pilote ICAG-2005 soit organisée conformément aux directives pour les comparaisons clés.

Dix-neuf gravimètres absolus appartenant à seize pays (Allemagne, Autriche, Belgique, Canada, Espagne, États-Unis, Finlande, France, Italie, Japon, Luxembourg, Russie, République tchèque, Suisse, Taipei chinois et Ukraine) et au BIPM ont participé à la comparaison. Parmi ces gravimètres, il y avait deux gravimètres du type JILA (fabriqués par le JILA, États-Unis), deux gravimètres FG5-1##, dix gravimètres FG5-2##, un gravimètre A10 (tous fabriqués par Micro-g Solutions, États-Unis), FGC-1 (un nouveau gravimètre du JILA piloté par caméra), le gravimètre IMG2-2 (Italie), le gravimètre GABL-G (Russie) et le gravimètre TBG (Ukraine).

Le BIPM a construit deux nouveaux sites extérieurs pour les mesures relatives et absolues et a établi neuf stations gravimétriques, deux situées sur des piliers indépendants à l'extérieur et sept situés sur le pilier spécial de 80 tonnes dans un bâtiment du BIPM. Les deux gravimètres absolus FG5-108 (BIPM) et FG5-202 (Observatoire royal de Belgique) ont été utilisés la nuit pour contrôler la stabilité du champ gravitationnel pendant la comparaison. Neuf points sur le site du BIPM ont été utilisés pour les mesures absolues. Le BIPM a étalonné la fréquence des lasers et des horloges à rubidium de tous les gravimètres et a fourni la mesure en continu de la pression atmosphérique.

Les mesures absolues ont été effectuées du 3 au 25 septembre 2005.

Deux types de résultats de la comparaison sont en cours d'analyse. Le premier type de résultats transmis par les opérateurs est constitué de données brutes (mesures des paires de coordonnées d'espace et de temps du corps en chute), qui sont toutes retraitées avec le même logiciel. Dans certains cas, cependant, les opérateurs n'ont pas pu fournir les données brutes parce que celles-ci ne sont pas disponibles, en raison de la manière dont les gravimètres sont conçus. Pour la première fois, il a été demandé à toutes les équipes d'établir les bilans d'incertitude de leurs gravimètres absolus.

Il est utile de noter que les résultats des mesures du champ gravitationnel obtenus à partir des gravimètres de contrôle (ceux de Belgique et du BIPM) sont restés stables, dans les limites de l'incertitude de mesure, pendant toute la comparaison.

Actuellement, tous les opérateurs ont présenté leurs résultats au laboratoire pilote et toutes les données brutes ont été retraitées par O. Francis (ECGS).

L'ajustement par la méthode des moindres carrés de tous les résultats des mesures, absolues et relatives, aux onze sites du réseau gravimétrique est la dernière étape de l'évaluation des résultats.

Une réunion d'une journée, sur le thème « Instrumentation and Metrology in Gravimetry », a été organisée au BIPM le 19 septembre 2005. Une cinquantaine de participants venant de quinze pays et du BIPM ont participé à cette réunion.

La deuxième réunion du Groupe de travail sur la gravimétrie du CCM et du groupe d'étude 2-1-1 de l'AIG sur les comparaisons de gravimètres absolus a été organisée au METAS les 7 et 8 juin 2006. Les résultats préliminaires et anonymes d'ICAG-2005 ont été discutés. La réunion a recommandé que la 8^e ICAG soit organisée au BIPM en septembre 2009.

Nivellement de précision et mesures relatives de l'accélération due à la pesanteur

Le BRGM a effectué un nivellement de haute précision. Les mesures relatives des gradients et des liaisons gravimétriques (différences entre les valeurs de g aux différents sites) sur le réseau gravimétrique du BIPM ont été effectuées du 4 au 28 juillet 2005 et le 12 septembre 2005 par douze laboratoires appartenant à dix pays différents, avec huit gravimètres Scintrex CG3 et CG5, six gravimètres LCR modèles G, D et EG, plus un gravimètre ZLS.

Un logiciel (GravSoft) a été mis au point pour l'analyse et l'ajustement des résultats absolus et relatifs.

2.7.2 Travaux sur le gravimètre absolu FG5-108

Lors de la comparaison ICAG-2005, le gravimètre FG5-108 a été utilisé avec la même électronique, fondée sur l'analyseur d'intervalle de temps SR-620 et le logiciel Newton.220, qui avait été utilisée dans les précédentes comparaisons ICAG-1994, ICAG-1997 et ICAG-2001.

Après l'ICAG-2005, le gravimètre a été mis à niveau au moyen d'un dispositif électronique d'acquisition d'intervalle de temps (fabriqué par Micro-g Solutions, États-Unis), fondé sur la carte d'acquisition rapide G-Tech GT-650 (6 millions d'échantillons par seconde) et sur le logiciel Newton.312.

Après réparation de la chambre de chute et changement de la pompe ionique, le nouveau système d'acquisition rapide du signal du photodétecteur sensible à la position a été mis au point et vérifié. Ce système permet un alignement

plus précis, et moins dépendant de l'opérateur, de la verticalité du mouvement du chariot et de la chute libre du corps d'essai.

Les améliorations ultérieures d'un nouveau système d'acquisition d'intervalles de temps pendant la chute libre du corps d'essai, fondé sur la carte d'acquisition rapide NI-5112 (100 millions d'échantillons par seconde), ont permis l'acquisition simultanée des signaux analogiques et TTL du photodétecteur de l'interféromètre du gravimètre, permettant ainsi l'acquisition de toutes les données, incluant environ 640 000 franges d'interférence pendant une chute libre d'environ 220 ms. Les algorithmes et le logiciel de calcul des intervalles de longueur et de temps à partir des données enregistrées sont en cours de mise au point au BIPM et au VNIIM. Des essais comparatifs préliminaires des algorithmes et des logiciels mis au point au BIPM et à l'INRIM ont été effectués.

Un nouveau logiciel NewtonViewer pour des essais de retraitement et de troncature des fichiers de données brutes enregistrées avec les logiciels Newton.220 et Newton.312 a été mis au point. Ce nouveau logiciel permet l'analyse des résultats de mesures du gravimètre absolu.

2.7.3 Gravimétrie, théorie

Les progrès des instruments pour la gravimétrie absolue ont, au cours des dix dernières années, permis de mesurer la valeur absolue de l'accélération terrestre gravitationnelle, g , avec une précision sans précédent. Les comparaisons internationales de gravimètres absolus montrent aujourd'hui des écarts-types entre les instruments de seulement quelques 10^{-9} . Un des objectifs majeurs de ces comparaisons est l'identification d'effets systématiques non contrôlés, et parfois même inconnus, que pourraient présenter certains instruments individuels ou des groupes d'instruments. Un formalisme fondé sur les techniques classiques des moindres carrés a été mis au point ; il permet d'obtenir des expressions analytiques pour étudier l'influence des perturbations en gravimétrie absolue (*voir* référence 4).

2.8 Publications, conférences et voyages : section des longueurs

2.8.1 Publications extérieures

1. Hamid R., Sahin E., Celik M., Özen G., Zucco M., Robertsson L., Ma L.-S., 10^{-12} level reproducibility of an iodine-stabilized He-Ne laser endorsed by absolute frequency measurements in the BIPM and UME, *Metrologia*, 2006, **43**, 106-108.

2. Notcutt M., Ma L.-S., Ludlow A., Foreman S., Ye J., Hall J.L., A systematic study of thermal noise limited stability of rigid Fabry-Perot cavities, *CLEO Conf. 2006* (Long Beach, CA), *Technical Digest*, 2006, CD-Rom (fichier CMO2.pdf).
3. Notcutt M., Ma L.-S., Ludlow A.D., Foreman S.M., Ye J., Hall J.L., Contribution of thermal noise to frequency stability of rigid optical cavity via Hertz-linewidth lasers, *Phys. Rev. A* (Rapid Communications), 2006, **73**, 031804.
4. Robertsson L., Absolute gravimetry in a shifted Legendre basis, *Metrologia*, 2005, **42**, 458-463.
5. Robertsson L., Zucco M., Ma L.-S., Henningsen J., Hald J., Bandis C., Duta A., Boiciuc D., Georgescu D., Fira R., Dorsic P., Results from the CI-2005 campaign at the BIPM of the BIPM.L-K11 ongoing key comparison, *Metrologia*, 2005, **42**, *Tech. Suppl.*, 04004.
6. Robertsson L., Zucco M., Ma L.-S., Jin Q., Liu X., Liu Z., Wallerand J.-P., Van den Berg S., Johansson R., Skoogh H., Results from the CII-2004 campaign at the BIPM of the BIPM.L-K11 ongoing key comparison, *Metrologia*, 2005, **42**, *Tech. Suppl.*, 04003.
7. Robertsson L., Zucco M., Ma L.-S., Terra O., Saraiva F., Gentil S., Chekirda C., Zakharenko Y., Fedorin V., Mostert L., Results from the CI-2004 campaign at the BIPM of the BIPM.L-K11 ongoing key comparison, *Metrologia*, 2005, **42**, *Tech. Suppl.*, 04002.
8. Wallerand J.-P., Robertsson L., Ma L.-S., Zucco M., Absolute frequency measurement of molecular iodine lines at 514.7 nm, interrogated by a frequency-doubled Yb-doped fibre laser, *Metrologia*, 2006, **43**, 294-298.

2.8.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

R. Felder s'est rendu :

- chez Fichou, Fresnes (France), le 13 juillet 2005, pour la livraison des parties mécaniques conçues pour la construction des tubes laser et pour des discussions techniques ; le 21 septembre 2005, pour viser la construction (contrôle et réception) de verres pour plusieurs tubes de lasers ;
- au Blanc-Mesnil (France), du 12 au 14 juin 2006, pour une formation à LabView chez National Instruments.

Z. Jiang s'est rendu à Berne (Suisse), du 7 au 9 juin 2006, pour présenter des rapports sur le traitement des données de l'ICAG-2005 à la deuxième réunion

commune du Groupe de travail sur la gravimétrie du CCM et du groupe d'étude de l'AIG sur les comparaisons de gravimètres absolus.

L.-S. Ma s'est rendu à :

- Long Beach (États-Unis), du 21 au 26 mai 2006, pour la conférence CLEO-2006 ;
- Boulder (États-Unis), du 29 mai au 2 juin 2006, pour visiter le JILA.

L.-S. Ma, L. Robertsson et M. Zucco se sont rendus à la PTB (Allemagne), du 27 au 30 mars 2006, pour la 20^e réunion de l'EFTF.

L. Robertsson s'est rendu à :

- Gothenburg (Suède), les 2 et 3 juin 2006, pour la conférence « Modern Trends in Atomic Physics II » ;
- Noordwijk (Pays-Bas), du 27 au 30 juin 2006, pour la 6^e « International Conference on Space Optics ».

L.F. Vitushkin s'est rendu :

- au VNIIM, Research Institute « Elektropribor », Saint-Pétersbourg (Féd. de Russie), du 30 novembre au 14 décembre 2005 et du 18 au 20 et le 22 avril 2006 ;
- au Schmidt Institute for the Physics of the Earth, Moscou (Féd. de Russie), le 21 avril 2006 ;
- Warrenton (États-Unis), du 21 au 24 mai 2006, pour la conférence « From quantum to cosmos » ;
- au METAS (Suisse), les 7 et 8 juin 2006, pour la deuxième réunion commune du Groupe de travail sur la gravimétrie du CCM et du groupe d'étude de l'AIG sur les comparaisons de gravimètres absolus.

M. Zucco s'est rendu :

- au LNE-SYRTE, Observatoire de Paris, Paris (France), le 6 décembre 2005 et le 14 juin 2006 ;
- au LPL, Villetaneuse (France), le 14 décembre 2005 ;
- au CNAM, LNE-INM, Paris (France), le 14 juin 2006.

2.9 Activités liées au travail des Comités consultatifs

R. Felder est secrétaire exécutif du CCL ; il est aussi co-secrétaire du Groupe de travail commun au CCL et au CCTF sur les représentations secondaires de la seconde.

La 12^e réunion du CCL s'est tenue au BIPM, du 12 au 16 septembre 2005. Les réponses des laboratoires participant au CCL et à ses groupes de travail (sur la métrologie dimensionnelle, sur la mise en pratique de la définition du mètre et le Groupe de travail commun au CCL et au CCTF) y ont été analysées et présentées aux délégués.

Le rapport du CCL est terminé ; il sera placé sur le site Web du BIPM dès que nous aurons reçu les rapports de tous les groupes de travail. La liste des radiations recommandées pour la mise en pratique de la définition du mètre approuvée par le CCL, publiée sur le site Web du BIPM, sera mise à jour prochainement.

Nous organisons la réunion du Groupe de travail commun au CCL et au CCTF sur les représentations secondaires de la seconde, qui doit se tenir au BIPM les 11 et 12 septembre 2006.

L.F. Vitushkin est président du Groupe de travail du CCM sur la gravimétrie et du groupe d'étude sur les comparaisons de gravimètres absolus de la Commission 2 « Gravity field » de l'AIG.

2.10 Visiteurs de la section des longueurs

- M. J.-P. Wallerand (LNE-INM), le 5 juillet 2005.
- M. M. Van Ruymbeke (ORB), le 20 juillet 2005.
- MM. A. Onae (NMIJ/AIST) et R. Hamid (UME), le 16 septembre 2005.
- Deux groupes de visiteurs de Météo France, le 21 octobre 2005.
- Mme R. Sharma (NPLI), du 21 au 25 novembre 2005 (BIPM.L-K11).
- M. O. Tengblad (Instituto Estructura de la Materia, Madrid, Espagne), le 2 février 2006.
- M. G. Barwood (NPL), les 24 et 25 avril 2006, pour un audit.
- M. E. Prieto et Mme M. Pérez Hernández (CEM), du 9 au 12 mai 2006 (BIPM.L-K11).
- M. A.M. Dahlan (SIRIM), du 9 au 19 mai 2006 (BIPM.L-K11).

- M. V. Melnikov (VNIIMS), le 10 mai 2006.
- Mme F. Saraiva (IPQ), du 15 au 19 mai 2006 (BIPM.L-K11).
- M. D. Rovera (LNE-SYRTE), le 16 mai 2006.
- M. J. Faller (NIST/JILA), le 12 juin 2006.
- M. E. Boyarsky, Mme L. Afanassieva, M. O. Yu. (Schmidt Institute for the Physics of the Earth, Moscou, Féd. de Russie), le 14 juin 2006.

2.11 Chercheur invité

- M. G. D'Agostino (INRIM), du 17 septembre au 8 octobre 2005.

3 MASSE (R.S. DAVIS)

3.1 Étalonnages (P. Barat, R.S. Davis et C. Goyon-Taillade)

Pendant l'année passée, nous avons émis des certificats pour les prototypes de 1 kg en platine iridié suivants : n° 2 (Roumanie) ; n° 3 (Espagne) ; n° 28 (Belgique) ; n° 44 (Australie) ; n° 46 (Indonésie) ; n° 49 (Autriche) ; n° 56 (Afrique du Sud) ; n° 75 (SCL, Hong Kong, Chine) ; n° 76 (Italie) ; n° 78 (ITRI, Taipei chinois).

Des certificats pour des étalons de 1 kg en acier inoxydable ont été émis pour : l'EIM (Grèce) (deux) ; l'INM (Roumanie) (un) ; l'INTI (Argentine) (deux) ; le MSL (Nouvelle Zélande) (un) ; le NMi (Pays-Bas) (deux) ; le SIRIM (Malaisie) (deux) ; SPF Economie (Belgique) (un).

Nous avons aussi effectué des étalonnages de sous-multiples du kilogramme pour les sections de chimie et des rayonnements ionisants du BIPM.

En plus de nos services courants d'étalonnage, nous avons déterminé la différence de masse et de volume entre deux masses spéciales placées dans une balance à suspension magnétique utilisée par la section de chimie.

À la demande de l'équipe LISA-Pathfinder, nous avons aussi mesuré la susceptibilité magnétique d'une masse d'essai de 2 kg ([voir http://www.esa.int/esaSC/120397_index_0_m.html](http://www.esa.int/esaSC/120397_index_0_m.html)).

Les logiciels utilisés par la section des masses ont été modernisés et améliorés grâce au travail de M. Jan Hald, qui a été détaché par le DFM au BIPM pour une période de six mois. Le DFM a développé un logiciel d'analyse original et M. Hald a pu adapter la méthode du DFM aux besoins particuliers du BIPM. Le BIPM a conclu un arrangement avec le DFM pour pouvoir continuer à utiliser ces nouveaux logiciels.

3.2 Sorption de vapeur d'eau sur des échantillons en silicium (H. Fang et A. Picard)

Nous rappelons que l'objet de ce travail est d'étudier les effets réversibles de la sorption de vapeur d'eau (physisorption) sur des échantillons en silicium dans le cadre du projet international sur la constante d'Avogadro (*voir* Section 3.4). Comme nous l'avons indiqué l'an passé, une collaboration entre le NPL et le BIPM est en cours pour trouver quelle est l'origine de la différence entre les effets de sorption mesurés dans ces deux laboratoires. Les recherches effectuées l'an passé montrent que cette différence semble attribuable aux mesures de masse initiales du NPL, qui ont été utilisées pour la détermination gravimétrique de l'eau adsorbée.

Pour confirmer cette hypothèse, des mesures par gravimétrie ont été effectuées sur les artefacts du NPL, au moyen de la balance FB2 du BIPM. Seule l'adsorption de vapeur d'eau lors du passage du vide à l'air a été étudiée. Quatre séries de mesures ont été effectuées, chacune d'entre elle comprenant plusieurs comparaisons successives dans le vide et dans l'air. Les résultats obtenus mettent en évidence une adsorption négative d'une couche d'eau (0,3 nm), ce qui est bien sûr contraire au sens commun. Pour découvrir les sources d'erreur potentielles, des pesées ont été effectuées dans de l'azote sec à différentes pressions. On a trouvé que la différence de masse entre les deux artefacts de sorption du NPL est une fonction linéaire de la masse volumique de l'azote, ce qui implique une erreur d'environ 16 mm^3 sur la différence des volumes approuvés des deux artefacts. Si nous utilisons cette valeur pour corriger les comparaisons dans l'air, nous obtenons une adsorption positive d'environ 0,7 nm lors du passage du vide à l'air, à une humidité relative de 50 %. Il a été nécessaire au BIPM d'introduire de petites masses additionnelles aux artefacts du NPL, afin de s'approcher du point d'équilibre de la balance. Les volumes de ces masses additionnelles ont été mesurés par pesée hydrostatique au moyen d'un système de détermination de la masse volumique du commerce adapté à une balance Mettler-Toledo AT201. Les essais suggèrent qu'une erreur de 16 mm^3 sur l'évaluation du

volume des masses additionnelles est peu probable. Donc, les volumes des artefacts en silicium qui avaient été approuvés sont suspects.

Des recherches seront effectuées pour étudier la sorption de vapeur d'eau irréversible sur le silicium. Il est prévu d'effectuer des pesées avec la nouvelle balance Sartorius (voir section 3.3). Des mesures seront effectuées sur deux sphères en silicium de 1 kg obtenues auprès de Okamoto Optical (Japon). Les masses volumiques et les volumes de ces sphères ont été déterminés par nos collègues du NMIJ/AIST, qui se sont aussi chargés des arrangements techniques auprès d'Okamoto pour leur fabrication.

3.3 **Balances** (H. Fang et A. Picard)

Une rénovation complète de la salle 105 a été effectuée en avril et juin 2006. Pendant cette période, la balance FB2 a été protégée dans une caisse en bois et aucune mesure n'a été possible.

Le nouveau comparateur Sartorius CCL 1007, fondé en partie sur une technologie transférée par le BIPM, a été livré à la fin du mois de juin 2006. Les prochaines étapes comprendront les essais de la balance proprement dite et des systèmes de mesure associés.

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

Le BIPM participe activement au Groupe de travail du CCM sur la constante d'Avogadro. De plus, dans le cadre du projet de collaboration internationale sur la constante d'Avogadro, le BIPM a été chargé de coordonner la détermination des masses des sphères en silicium utilisées pour redéterminer la valeur de la constante d'Avogadro en visant une incertitude relative de 2×10^{-8} . Une comparaison internationale est en cours pour évaluer la procédure de pesée et révéler les difficultés expérimentales rencontrées dans la détermination de la masse d'une sphère en silicium. Cinq laboratoires sont engagés dans cette comparaison, dont le BIPM, qui en est le laboratoire pilote.

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

Cet appareil est utilisé pour déterminer la masse volumique et le volume des étalons de masse, nécessaires pour effectuer des corrections exactes de la poussée de l'air.

Cette année, nous avons déterminé la masse volumique de deux étalons de masse en acier inoxydable appartenant à l'EIM (Grèce).

En juin 2006, nous avons enfin reçu les deux cylindres de 500 g de monocristal de silicium qui seront utilisés à l'avenir comme étalons de masse volumique au BIPM. Comme pour les sphères décrites dans la section 3.2, nous sommes reconnaissants à nos collègues du NMIJ/AIST de leur aide pour avoir organisé la fabrication de ces cylindres et, en particulier, pour la détermination de leur masse volumique et de leur volume.

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

Notre nouveau service d'étalonnage de jauges de pression fonctionnant à des pressions voisines de la pression atmosphérique est maintenant opérationnel. L'étalon est une balance de pression du commerce ; la pression « zéro » est mesurée par notre jauge à diaphragme. Nous avons vérifié le fonctionnement de notre système dans une comparaison bilatérale dont le LNE est le laboratoire pilote. Les résultats seront présentés comme comparaison supplémentaire de l'EUROMET. Notre laboratoire et les procédures opératoires ont aussi fait l'objet avec succès d'un examen par les pairs par un expert du METAS. À ce jour, nous avons émis 25 certificats d'étalonnage internes au BIPM avec ce système. Le service d'étalonnage de routine est effectué tous les trois mois. Nous avons déjà étalonné des jauges appartenant à toutes les sections techniques du BIPM. Typiquement, les incertitudes-types pour ces étalonnages sont bien en dessous de 1 Pa.

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

Cette expérience est terminée, à l'exception de l'analyse finale et de l'étalonnage des divers sous-systèmes. Les résultats seront préparés pour publication dans un journal à comité de rédaction.

* Directeur honoraire du BIPM.

** Université de Birmingham (Royaume-Uni).

3.8 Publications, conférences et voyages : section des masses

3.8.1 Publications extérieures

1. Davis R.S., Possible new definitions of the kilogram, *Phil. Trans. Royal Soc. A*, 2005, 2249-2264.
2. Picard A., Mass determinations of a 1 kg silicon sphere for the Avogadro project, *Metrologia*, 2006, **43**, 46-52.
3. Picard A., Primary mass calibration of silicon spheres, *Meas. Sci. Technol.*, 2006, **17**, 2540-2544.

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

P. Barat et C. Goyon-Taillade se sont rendues au LNE, Paris (France), du 10 au 12 janvier 2006, pour une comparaison d'étalons primaires de pression.

R.S. Davis s'est rendu :

- au NPL (Royaume-Uni), le 5 juillet 2005 et le 19 avril 2006, pour assister à la réunion du NPL sur les balances du watt ;
- au LNE-INM/CNAM (France), le 31 octobre 2005, comme rapporteur pour la soutenance de thèse de Z. Silvestri ;
- à l'INRIM (Italie), du 27 février au 3 mars 2006, pour la réunion de l'EUROMET des personnes à contacter dans le domaine des masses (accompagné de A. Picard) ;
- au SMU (Slovaquie), les 25 et 26 mai 2006, pour la validation du service d'étalonnage des masses (organisée par le SNAS) ;
- au METAS (Suisse), les 7 et 8 juin 2006, pour assister à la deuxième réunion commune du Groupe de travail sur la gravimétrie du CCM et du groupe d'étude de l'AIG sur les comparaisons de gravimètres absolus (accompagné de Z. Jiang et L. Vitushkin).

A. Picard s'est rendu :

- à la PTB (Braunschweig), du 24 au 26 octobre 2005, pour assister au « PTB Seminar on Precision Density Measurements of Solids and Liquids » ;
- à l'IRMM, Geel (Belgique), les 27 et 28 octobre 2005, pour assister au comité de la collaboration internationale sur la constante d'Avogadro.

3.9 Activités liées au travail des Comités consultatifs

R.S. Davis est secrétaire exécutif du CCM.

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 3.5).

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

Au nom du CCM, R.S. Davis, A. Picard, K. Fujii (NMIJ/AIST) et M. Gläser (PTB) ont co-signé une proposition au CIPM pour amender et mettre à jour la formule actuelle pour la masse volumique de l'air humide. Cette proposition a été approuvée à titre provisoire, en attendant les résultats de l'étude en cours au LNE.

3.10 Autres activités

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

3.11 Visiteurs de la section des masses

- M. Z. Silvestri (LNE-INM/CNAM), le 6 juillet 2005.
- M. G. Popa (INM), le 7 juillet 2005.
- MM. T. Fehling et T. Fröhlich (Sartorius, Göttingen, Allemagne), et M. D. Heydenbluth (TU-Ilmenau, Allemagne), le 11 juillet 2005.
- MM. Abdurochman et Hery Harjoko (Directorate of Metrology, Indonésie), le 15 juillet 2005.
- M. Sheau-Shi Pan (ITRI), le 16 août 2005.
- M. T.K. Chan (SCL), le 26 octobre 2005.
- M. N. Bignell (NMIA), le 3 novembre 2005.
- M. J. Faller (JILA), le 2 décembre 2005.
- M. C.C. Speake (Université de Birmingham, Royaume-Uni), le 5 avril 2006.
- Un groupe de techniciens (Mettler-Toledo, Greifensee, Suisse), le 9 juin 2006.
- M. M. Hueller (Université de Trente, Italie), les 12 et 13 juin 2006.

- MM. S. Vitale (Université de Trente, Italie) et F. Nappo (CG Space, Milan, Italie), le 13 juin 2006.
- M. G. Popa (INM), le 27 juin 2006.

3.12 Chercheur invité

- M. J. Hald (DFM), 7 avril – 7 octobre 2006 (*voir* section 3.1).

4 TEMPS (E.F. ARIAS*)

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

Les échelles de temps de référence TAI et UTC sont régulièrement établies, à partir des données fournies au BIPM par les laboratoires horaires qui maintiennent des réalisations locales de l'UTC, et publiées chaque mois dans la *Circulaire T. Le Rapport annuel de la section du temps du BIPM (2005)*, volume **18**, complété par des fichiers informatiques accessibles par le réseau Internet sur le site Web du BIPM (<http://www.bipm.org>), donne les résultats définitifs de l'année 2005.

4.2 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 à la section du temps a pour but d'améliorer la stabilité à long terme de l'EAL et l'exactitude du TAI.

* Responsable de la section du temps, des fréquences et de la gravimétrie depuis le 1^{er} janvier 2006.

** À temps partiel dans la section du temps jusqu'au 31 décembre 2005.

4.2.1 Stabilité de l'EAL

Environ 85 % des horloges utilisées pour le calcul des échelles de temps sont des horloges à césium du commerce du type HP/Agilent 5071A et des masers à hydrogène auto-asservis actifs. Pour améliorer la stabilité de l'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 2005. 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 $0,4 \times 10^{-15}$ 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.

4.2.2 Exactitude du TAI

L'exactitude du TAI est caractérisée par l'estimation de la différence relative, et de son incertitude, entre la durée de l'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 2005, huit étalons primaires de fréquence ont délivré des mesures ponctuelles de la fréquence du TAI, dont quatre fontaines à césium (IT CSF1, LNE-SYRTE FO2, NIST F1 et NMIJ F1). Des rapports sur le fonctionnement des étalons primaires de fréquence sont publiés régulièrement dans le *Rapport annuel de la section du temps du BIPM* 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 2005, de $+1,9 \times 10^{-15}$ à $+5,9 \times 10^{-15}$, avec une incertitude-type d'environ 1×10^{-15} à 2×10^{-15} . Depuis octobre 2005, nous utilisons pour ce calcul une nouvelle estimation de la stabilité de l'échelle atomique libre EAL. Au cours de l'année douze corrections de pilotage ont été appliquées, avec une correction totale de $[f(EAL) - f(TAI)]$ de -6×10^{-15} .

Un groupe de travail du CCTF sur les étalons primaires de fréquence a été établi pour optimiser la contribution des étalons primaires de fréquence à l'exactitude du TAI.

4.2.3 Détermination des incertitudes de $[UTC - UTC(k)]$

Les valeurs des incertitudes de $[UTC - UTC(k)]$ sont publiées dans la *Circulaire T* du BIPM. La méthode de calcul originelle a été améliorée en incluant toutes les informations disponibles sur les étalonnages, des détails supplémentaires sur la corrélation entre les liaisons horaires, des méthodes pour optimiser leur structure, compte tenu des incertitudes, du comportement non Gaussien et des différentes propriétés des corrélations de certaines composantes de l'incertitude dues aux étalonnages ou au bruit aléatoire. Ce travail a été effectué en collaboration avec l'INRIM et l'USNO.

4.2.4 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(BIPM2005), valable jusqu'en décembre 2005. 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.

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

Les membres de la section du temps 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.

En parallèle, d'autres transitions atomiques micro-ondes ou optiques (Rb, Hg⁺, Yb⁺, Sr⁺) sont proposées comme représentations secondaires de la seconde par le Groupe de travail commun au CCL et au CCTF sur les représentations secondaires de la seconde. Une comparaison de mesures d'étalons primaires de fréquence (fontaines à césium), d'une fontaine à rubidium, et d'un étalon optique à ion ytterbium, a été effectuée pendant six

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 de 10^{-17} , voire en dessous. C'est un domaine d'activités en évolution très rapide.

4.4 Liaisons 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 des satellites du GPS utilisant des récepteurs à une seule fréquence et des mesures du code C/A ; observations simultanées des satellites du GPS géodésiques à deux fréquences et à canaux multiples (de type P3) ; comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite. Le nombre croissant des liaisons obtenues avec des récepteurs de type P3 (douze liaisons horaires en juin 2006, auxquelles viennent s'ajouter d'autres liaisons redondantes), ainsi que l'augmentation de la fréquence 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 observations satellitaires à canaux multiples, utilisant des récepteurs 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 est devenu plus fiable.

La section du temps du BIPM 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 bénéfices de ce changement, qui sera opérationnel avant la fin de 2006. Les résultats des comparaisons effectuées au moyen de différentes méthodes et techniques sont disponibles sur le site Web du BIPM.

4.4.1 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.

4.4.2 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. De juillet 2005 à juin 2006, douze étalonnages de récepteurs ont été effectués dans sept laboratoires. En 2006, des étalonnages du nouveau récepteur Septentrio PolaRx2 ont aussi été effectués, et d'autres types de récepteurs sont à l'étude en collaboration avec les laboratoires qui en sont équipés. Le second récepteur Ashtech Z12-T du BIPM sert de référence locale pour le récepteur voyageur Ashtech Z12-T entre les campagnes d'étalonnage.

Les données des récepteurs de type géodésique du 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 2005, dix-sept laboratoires fournissaient régulièrement les données des récepteurs P3. Les liaisons horaires calculées à partir de ces données sont comparées systématiquement à celles générées au moyen des autres techniques disponibles, notamment par comparaisons 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 ces 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 complète la stabilité de chacune de ces techniques.

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

Trois réunions sur les comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite ont eu lieu depuis juillet 2005. 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.

4.4.4 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 des informations sur les types de liaisons horaires utilisés pour chaque calcul mensuel.

4.4.5 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 2005 à juin 2006, les récepteurs horaires du GPS de cinq laboratoires et les récepteurs P3 du GPS de sept laboratoires ont été étalonnés. De plus, le personnel de la section du temps met au point des méthodes pour étalonner les récepteurs de temps du GPS et du GLONASS. Le BIPM participe aussi à l'organisation des campagnes d'étalonnage des équipements pour les comparaisons de temps et de fréquence par aller et retour sur satellite.

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

Des mises à jour mensuelles de la comparaison clé CCTF-K2001.UTC, dans le domaine du temps, sont effectuées après publication de la *Circulaire T*. Seuls les résultats des laboratoires de temps qui appartiennent aux États membres ou aux Associés à la Conférence générale, et qui participent à

l'Arrangement du CIPM, sont publiés dans la base de données du BIPM sur les comparaisons clés.

4.6 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 la capacité potentielle des pulsars-milliseconde à contrôler la stabilité à très long terme du temps atomique. La section du temps fournit à ces groupes sa réalisation en temps différé du temps terrestre.

4.7 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 premières 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.

4.8 Autres études (P. Wolf)

Peter Wolf a été détaché à l'Observatoire de Paris (OP) jusqu'en août 2005. Une partie du travail présenté ci-dessous a été réalisé dans le cadre de sa contribution aux programmes de l'OP.

Un nouveau test de l'invariance de Lorentz réalisé en étudiant le spin d'atomes polarisés dans une horloge atomique à fontaine de césium au LNE-SYRTE (OP) a fait l'objet d'une publication. Il teste la dépendance de la fréquence de transition des atomes en fonction de l'orientation de leur spin par rapport à un cadre hypothétique choisi. Les résultats montrent une

amélioration de onze à treize ordres de grandeur par rapport aux limites précédentes obtenues sur les mêmes paramètres par la théorie.

P. Wolf supervise le travail d'un étudiant en doctorat à l'Observatoire de Paris sur la mise au point, la modélisation et l'analyse des données du système de transfert de temps par liaison micro-onde de la future mission ACES (Atomic Clock Ensemble in Space). Cette liaison micro-onde permettra de comparer des horloges à distance avec une incertitude de 1×10^{-16} pour un temps d'intégration d'un jour, supérieure d'un ordre de grandeur aux meilleures performances des systèmes actuels. C'est un pas essentiel vers la comparaison des horloges à venir à ce niveau d'exactitude, voire mieux.

4.9 Publications, conférences et voyages: section du temps

4.9.1 Publications extérieures

1. Arias E.F., Guinot B., Coordinated Universal Time: historical background and perspectives, *Actes des Journées Systèmes de Référence Spatio-temporels 2004*, 2005, 254-259.
2. Arias E.F., The metrology of time, *Phil. Trans. Royal Soc. A*, 2005, **363**, 2289-2305.
3. Arias E.F., Petit G., Estimation of the duration of the scale unit of TAI with primary frequency standards, *Proc. 2005 Joint IEEE FCS and PTTI Systems and Applications Meeting*, 2005, 244-246.
4. Arias E.F., Jiang Z., Lewandowski W., Petit G., BIPM comparison of time transfer techniques, *Proc. 2005 Joint IEEE FCS and PTTI Systems and Applications Meeting*, 2005, 312-315.
5. Arias E.F., The Iberoamerican contribution to international time keeping, *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica*, 2006, **25**, 21-23.
6. Arias E.F., The rotation of the Earth: new models and concepts, in *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica*, 2006, **25**, 24-26.
7. Arias E.F., Guinot B., Avenir du Temps universel coordonné (UTC), *Navigation*, 2006, **54**, 214, 59-78.
8. Bize S., Wolf P. *et al.*, Advances in ^{133}Cs Fountains: Control of the Cold Collision Shift and Observation of Feshbach Resonances, *Atomic Physics 19, ICAP 2004* (Marcassa L.G., Helmerson K., Bagnato V.S. eds.), AIP, 2005, 93-102.

9. Foks A., Lewandowski W., Nawrocki J., Frequency biases calibration of GLONASS P-code time receivers, *Proc. 19th EFTF*, 2005, CD-Rom.
10. Lemonde P., Wolf P., Optical lattice clock with atoms confined in a shallow trap, *Phys. Rev. A*, 2005, **72**, 033409, arXiv: physics/0504080.
11. Lemonde P., Wolf P., An optical clock with neutral atoms confined in a shallow trap, *Proc. 19th EFTF*, 2005, 45-50.
12. Lemonde P., Wolf P., Minimizing the Required Trap Depth in Optical Lattice Clocks, *Proc. 2005 Joint IEEE FCS and PTTI Systems and Applications Meeting*, 2005, 947-955.
13. Lewandowski W., Matsakis D., Panfilo G., Tavella P., The evaluation of uncertainties in $[UTC - UTC(k)]$, *Metrologia*, **43**, 2006, 278-276.
14. Lewandowski W., Matsakis D., Panfilo G., Tavella P., Refining the evaluation of uncertainties in $[UTC - UTC(k)]$, *Proc. 2005 Joint IEEE FCS and PTTI Systems and Applications Meeting*, 2005, 383-391.
15. Lewandowski W., Foks A., Jiang Z., Nawrocki J., Nogas P., Recent progress in GLONASS time transfer, *Proc. 2005 Joint IEEE FCS and PTTI Systems and Applications Meeting*, 2005, 728-734.
16. Lewandowski W., Matsakis D., Panfilo G., Tavella P., On the evaluation of uncertainties in $[UTC - UTC(k)]$, *Proc. 19th EFTF*, 2005, CD-Rom.
17. Petit G., Long-term stability and accuracy of TAI, *Proc. 19th EFTF*, 2005, 79-82.
18. Petit G., Jiang Z., Redundancy and correlation in TAI time links, *Proc. 2005 Joint IEEE FCS and PTTI Systems and Applications Meeting*, 2005, 346-349.
19. Stanwix P.L., Wolf P. *et al.*, Rotating Michelson-Morley experiment based on a dual-cavity cryogenic sapphire oscillator, *Proc. 2004 IEEE International Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control 50th Anniversary Joint Conference*, 2005, 757-761.
20. Stanwix P.L., Wolf P. *et al.*, Test of Lorentz Invariance in Electrodynamics Using Rotating Cryogenic Sapphire Microwave Oscillators, *Phys. Rev. Lett.*, 2005, **95**, 040404, arXiv: hep-ph/0506074.
21. Stanwix P.L., Wolf P. *et al.*, Rotating Michelson-Morley experiment based on a dual cavity cryogenic sapphire oscillator, *Proc. 19th EFTF*, 2005, 138-142.
22. Tobar M.E., Wolf P., Stanwix P.L., Comment on "Test of constancy of speed of light with rotating cryogenic optical resonators", *Phys. Rev. A*, 2005, **72**, 066101.

23. Tobar M.E., Wolf P. *et al.*, Long Term Operation, Performance and Applications of Cryogenic Sapphire Oscillators, *Proc. 2005 Joint IEEE FCS and PTI Systems and Applications Meeting*, 2005, 350-354.
24. Wolf P., Chapelet F., Bize S., Clairon A., Testing Lorentz invariance using Zeeman transitions in atomic fountains, *Proc. 2005 Joint IEEE FCS and PTI Systems and Applications Meeting*, 2005, 117-121, arXiv: hep-ph/0509329.
25. Wolf P., Chapelet F., Bize S., Clairon A., Cold Atom Clock Test of Lorentz Invariance in the Matter Sector, *Phys. Rev. Lett.*, 2006, **96**, 060801.

4.9.2 Publications du BIPM

26. *Rapport annuel de la section du temps du BIPM (2005)*, 2006, **18**, 96 p.
27. *Circulaire T* (mensuelle), 7 p.

4.9.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

E.F. Arias s'est rendue à :

- Vancouver (Canada), du 28 août au 1^{er} septembre 2005, pour la réunion jointe de l'IEEE FCS et du PTI 2005, comme présidente de séance, pour des présentations orales et des posters, et pour les réunions des groupes de travail du CCTF sur le TAI et sur les étalons primaires de fréquence, ainsi que pour la réunion des stations participant aux comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite ;
- Varsovie (Pologne), les 21 et 22 septembre 2005, pour les Journées Systèmes de référence spatio-temporels, conférence invitée ;
- Paris (France), le 29 septembre 2005, pour la consultation du LNE sur le prochain programme de travail sur le temps et les fréquences à l'Observatoire de Paris, conférence invitée ;
- Genève (Suisse), du 7 au 11 novembre 2005, pour la réunion du Groupe de travail 7A de l'Union internationale des télécommunications (UIT) ;
- Vienne (Autriche), les 1^{er} et 2 décembre 2005, le 2 mars et le 6 juin 2006, pour les réunions préparatoires du Comité international sur le GNSS ;

- Herrsching (Allemagne), le 5 décembre 2005, pour la réunion des services temps-fréquences en liaison avec le programme Galileo, conférence invitée ;
- Paris (France), le 6 mars 2006, pour l'atelier T2L2 au CNES, conférence invitée ;
- la PTB (Allemagne), du 27 au 30 mars 2006, pour la 20^e réunion de l'EFTF, comme présidente de séance, et pour la réunion du Groupe de travail du CCTF sur les étalons primaires de fréquence et celle des stations participant aux comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite ;
- Madrid (Espagne), les 18 et 19 avril 2006, pour une conférence invitée à l'Universidad Complutense de Madrid et pour une visite du CEM ;
- Turin (Italie), le 5 mai 2006, comme membre du jury d'une thèse de doctorat au Politecnico di Torino ;
- Darmstadt (Allemagne), le 12 mai 2006, pour la réunion du conseil de l'IGS.

Z. Jiang s'est rendu à :

- Vancouver (Canada), du 28 août au 1^{er} septembre 2005, pour des présentations orales à la réunion jointe de l'IEEE FCS et du PTTI 2005, et pour les réunions des groupes de travail du CCTF sur le TAI, sur les étalons primaires de fréquence, et sur les comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite ;
- Linton et Beijing (Chine), les 8-9 et du 14 au 17 février 2006, pour des visites au NTSC, au BIRM et au NIM, et pour des conférences ;
- la PTB (Allemagne), du 27 au 30 mars 2006, pour des présentations orales et des posters, à la 20^e réunion de l'EFTF, et pour les réunions du Groupe de travail du CCTF sur les étalons primaires de fréquence et sur les comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite.

W. Lewandowski s'est rendu à :

- Varsovie (Pologne), pour plusieurs voyages de quelques jours au Space Research Centre ;
- Vancouver (Canada), du 29 août au 1^{er} septembre 2005, pour la réunion des stations participant aux comparaisons de temps et de fréquences par

- aller et retour sur satellite, et pour une présentation orale à la 37^e réunion du PTTI ;
- Long Beach (Californie, États-Unis), du 12 au 16 septembre 2005, pour la 45^e réunion du Civil GPS Service Interface Committee (pour présider le sous-comité sur le temps), et pour l'ION GNSS ;
 - Bruxelles (Belgique), le 10 octobre 2005 et le 23 mai 2006, pour des réunions sur le GNSS à la Commission européenne ;
 - Genève (Suisse), les 10 et 11 novembre 2005, pour une réunion du Groupe de travail sur l'avenir de la seconde intercalaire dans l'UTC à l'UIT ;
 - Delft (Pays-Bas), du 14 au 17 novembre 2005, pour une présentation orale à la 13^e réunion du Groupe de travail du CCTF sur les comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite ;
 - la PTB (Allemagne), du 27 au 30 mars 2006, pour une présentation orale à la 20^e réunion de l'EFTF.

G. Petit s'est rendu à :

- Nançay (France), le 11 août 2005, pour participer à des observations de pulsars ;
- Vancouver (Canada), du 28 août au 1^{er} septembre 2005, pour des présentations orales et des posters, à la réunion jointe de l'IEEE FCS et du PTTI 2005, et pour les réunions des groupes de travail du CCTF sur le TAI et sur les étalons primaires de fréquence ;
- San Francisco (États-Unis), du 3 au 6 décembre 2005, pour des réunions du conseil de l'IGS et du directoire de l'IERS et pour la réunion plénière d'automne de l'AGU ;
- Paris (France), les 16 et 17 janvier 2006, pour un atelier intitulé « Pulsars theories et observations » et pour une conférence ;
- la PTB (Allemagne), du 27 au 30 mars 2006, pour la 20^e réunion de l'EFTF, comme président de séance et pour des présentations orales, et pour la réunion du Groupe de travail du CCTF sur les étalons primaires de fréquence ;
- Vienne (Autriche), du 5 au 8 avril 2006, pour l'assemblée générale de l'European Geophysical Union, conférence invitée, et pour une réunion du directoire de l'IERS ;

- Paris (France), le 17 mai 2006, pour un groupe d'étude du CNES.

P. Wolf s'est rendu à :

- Vancouver (Canada), du 29 au 31 août 2005, pour des présentations orales à la réunion jointe de l'IEEE FCS et du PTTI 2005 ;
- Paris (France), du 12 au 14 octobre 2005, pour une présentation orale aux « Journées gravitation et expériences » ;
- PTB (Allemagne), le 30 novembre 2005, pour la réunion du comité scientifique de l'EFTF ; du 27 au 30 mars 2006, pour une présentation orale et des posters à la 20^e réunion de l'EFTF ;
- Paris (France), le 17 mai 2006, pour la réunion du Groupe de physique fondamentale du CNES.

4.10 Activités en liaison avec des organisations extérieures

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

G. Petit est co-directeur du Conventions Product Centre de l'IERS, et le représente au directoire de l'IERS. Il est membre du Groupe de travail de l'UAI sur la relativité en mécanique céleste, en astrométrie et dans le domaine de la métrologie (RCMAM), membre de l'IGS Working Group on Clock Products et du groupe de physique fondamentale du CNES.

P. Wolf est membre du RCMAM, du GREX (Groupe de recherche du CNRS : Gravitation et expériences), du Groupe de physique fondamentale du CNES et du comité scientifique de l'EFTF.

4.11 Activités liées au travail des Comités consultatifs

E.F. Arias est secrétaire exécutive du CCTF. Elle est co-secrétaire du Groupe de travail commun au CCL et au CCTF sur les représentations secondaires de la seconde. Elle est membre du Groupe de travail du CCTF sur les comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite et du groupe d'étude sur l'optimisation des liaisons horaires du Groupe de travail du CCTF sur le TAI.

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).

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.

P. Wolf est membre du Groupe de travail du CCTF sur les étalons primaires de fréquence.

4.12 Visiteurs de la section du temps

- M. D. Valat (OP), le 18 août 2005.
- Mme A. Foks (SRC), du 10 au 28 février 2006 et du 15 mai au 3 juin 2006.
- M. D.N. Matsakis (USNO), du 3 au 5 avril 2006, pour un audit.
- M. Z. Junqueira (ONRJ), du 3 au 7 avril 2006.
- Mme Zhang Aimin, MM. Lin Pingwei et Gao Xiaoxun (NIM), le 5 avril 2006.
- MM. Wang Yuling, Li Huanxin et Li Zhigang (NTSC), le 7 avril 2006.

5 ÉLECTRICITÉ (T.J. WITT)

5.1 Potentiel électrique : effet Josephson

(R. Chayramy, D. Reymann et S. Solve)

5.1.1 Mesures de réseaux de jonctions de Josephson

Nous avons poursuivi cette année le nouveau programme pour mettre à niveau notre équipement à effet Josephson et pour mettre au point un étalon de Josephson plus facile à transporter pour les comparaisons sur site.

Les filtres pour les nouveaux supports de sondes ont été en partie assemblés et devraient fournir une bonne protection contre les interférences électromagnétiques.

Nous testons actuellement une nouvelle source à ondes millimétriques programmable compacte pour les mesures de réseaux de jonctions de Josephson supraconducteur-isolant (SIS) de 10 V.

5.1.2 Mesures de diodes de Zener

L'assemblage du nouveau système de mesure de diodes de Zener à 1,018 V, utilisant un réseau supraconducteur-isolant métal-normal-isolant-supraconducteur (SINIS) comme étalon de référence de tension, est presque terminé. Il incorpore deux sous-systèmes importants, construits et programmés par le personnel de la section. Le premier est un multiplexeur programmable qui utilise des connecteurs rotatifs actionnés par des moteurs pas à pas, afin de sélectionner l'étalon à diode de Zener à mesurer, d'inverser la polarité de la tension mesurée à la sortie de la diode de Zener et d'inverser la polarité du détecteur. La partie critique du circuit de mesure de la tension a été construite de manière à obtenir des forces thermo-électromotrices faibles ; les forces résiduelles restantes sont inversées si bien que leur influence sur les résultats de mesure est négligeable. Le second sous-système est une source de polarisation programmable construite autour d'une boucle asservie en courant qui offre une stabilité suffisante pour permettre la polarisation de six segments indépendants de jonctions de Josephson. Le logiciel pour cette alimentation automatique a été écrit et testé. Nous espérons comparer les résultats des mesures de diodes de Zener réalisées avec le nouveau système aux anciennes mesures réalisées avec l'ancien système à la fin du mois de juin 2006. Un rapport est en préparation pour la CPEM 2006.

5.2 Résistance électrique et impédance

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

Nous avons terminé cette année la fabrication de la sonde du nouveau comparateur de courant cryogénique. La sonde comprend une bobine avec différents enroulements dans un blindage supraconducteur, un détecteur à interféromètre quantique supraconducteur (SQUID) en courant continu, un transformateur de flux couplant la bobine au SQUID, et un blindage global supraconducteur. Nous avons apporté un soin particulier pour assembler de manière rigide ces éléments, afin de réduire le niveau de bruit microphonique affectant le SQUID. La nouvelle sonde a été testée avec succès dans un pont du comparateur de courant cryogénique de rapport 100/1.

Une nouvelle enceinte thermorégulée contenant deux résistances de 100Ω a été construite. Ces résistances pourront être utilisées pour des comparaisons *in situ* ou comme étalons voyageurs pour des comparaisons bilatérales.

Dans le domaine des mesures de résistance de Hall quantifiée, nous avons effectué des recherches sur les réseaux de résistances de Hall quantifiées. Ces dispositifs consistent en un grand nombre de barres de Hall individuelles en série ou en parallèle sur une seule puce. La technique de connexion utilise des connexions série ou parallèle triples afin de réduire au troisième ordre l'influence des résistances de contact imparfaites dans le réseau (en pratique, pas plus que quelques 10^{-9} en valeur relative). Les réseaux ont la particularité d'être des résistances de Hall quantifiées qui sont des multiples ou des sous-multiples de $R_H(2)$, la résistance quantifiée du plateau $i = 2$ d'une seule barre. Nous avons testé trois réseaux différents qui nous ont été prêtés par le LNE : un réseau série d'une valeur nominale égale à $100 R_H(2)$ sur le plateau $i = 2$, un réseau parallèle d'une résistance nominale égale à $R_H(2)/100$, un réseau combinant des connexions en série et en parallèle de valeur nominale $16 R_H(2)/2065$, valeur égale à 100Ω à environ 12×10^{-6} en valeur relative. Nous avons constaté que la résistance du premier réseau est quantifiée à 1×10^{-8} près en valeur relative et celles des deux dernières à quelques 1×10^{-9} près en valeur relative. Ceci suggère que des réseaux, et des barres individuelles de Hall, peuvent être utilisés comme un ensemble de résistances quantifiées de référence, pour la validation ou la comparaison de ponts de rapports de résistance, en particulier les ponts de rapports 100/1 et 129/1 qui sont cruciaux dans le domaine de la métrologie des résistances. Un rapport sur ce travail est en préparation pour la CPEM 2006.

5.2.2 Conservation d'un étalon de référence de capacité

(R. Chayramy, F. Delahaye et R. Goebel)

La chaîne de mesure du BIPM reliant les étalons de capacité à la résistance de Hall quantifiée, en utilisant un pont à quadrature, a une incertitude-type globale d'environ 3×10^{-8} en valeur relative. Une part importante de l'incertitude provient de l'instabilité résiduelle à court terme des résistances utilisées dans le pont à quadrature. Afin d'y remédier, nous avons commencé à construire un nouvel ensemble de deux résistances de valeur nominale $4 R_H(2)$, placé dans une enceinte scellée hermétiquement et thermorégulée, dont l'étanchéité et la stabilité en température sont optimisées.

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

Nous avons terminé la détermination du bruit en $1/f$ des étalons de tension électroniques fondés sur des diodes de Zener et les résultats ont été publiés. Les conclusions sont bien acceptées et ont influencé les déclarations de CMCs et les bilans d'incertitude des comparaisons clés en établissant une limite inférieure d'environ 1×10^{-8} à l'écart-type relatif des mesures des diodes de Zener. En raison du départ à la retraite imminent de trois physiciens, du travail de la section sur le condensateur calculable et de la participation au projet de balance du watt, nous avons dû prendre la décision d'abandonner nos activités sur la détermination des caractéristiques des étalons de tension électroniques pour ce qui concerne les effets de la pression et de la température. Nous avons démontré dans certaines de nos comparaisons de diodes de Zener que des erreurs pouvant atteindre 50 fois l'incertitude de mesure peuvent être évitées en mesurant et en corrigeant les effets de pression. Nous espérons qu'un laboratoire national de métrologie pourra assurer de tels services dans l'avenir.

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

Le BIPM a étudié diverses méthodes analytiques pour détecter et quantifier les corrélations présentes dans les résultats de mesure électriques en courant continu, provenant de processus incluant des corrélations non-déterministes. Les corrélations non-déterministes peuvent avoir un effet très significatif sur ce qui est probablement la spécification la plus commune de l'incertitude de mesure statistique, à savoir l'écart-type de la moyenne d'une série d'observations. En partant d'une approche générale, applicable aux données

de n'importe quel processus stationnaire, non-déterministe, nous utilisons les fonctions d'autocorrélation afin d'établir une expression mathématique pour la variance de la moyenne des observations corrélées du bruit blanc mesuré au moyen d'un filtre passe bas. Nous avons démontré comment ceci peut être utilisé en pratique pour calculer la variance de la moyenne des mesures de tension du bruit thermique effectuées avec un nanovoltmètre équipé d'un tel filtre. En estimant la largeur de bande du bruit à partir du spectre expérimental, nous évaluons le nombre effectif de mesures indépendantes. Ce travail pourrait avoir une application immédiate pour les mesures associées à la balance du watt. Nos résultats ont été comparés à ceux obtenus par une méthode générale, applicable à la plupart des domaines de la métrologie, pour estimer l'incertitude de l'écart-type de la moyenne, récemment proposée par N.F. Zhang du NIST (*voir* le Rapport du directeur 2004-2005). Non seulement nos résultats sont en bon accord, mais nous avons aussi été capables de confirmer de manière expérimentale certains présupposés de base de M. Zhang.

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

Le rapport final de la comparaison clé de cellules à point triple de l'eau (CCT-K7), organisée et mise en œuvre par le BIPM, a été publié. Ceci met fin à une comparaison très réussie qui a démontré qu'un manque de précision dans la définition du point triple de l'eau occasionne une dispersion significative entre les réalisations nationales du point triple de l'eau, et donc du kelvin. Certains laboratoires nationaux de métrologie utilisent des cellules contenant de l'eau ayant la composition isotopique de l'eau de l'océan alors que d'autres laboratoires nationaux de métrologie utilisent des cellules contenant de l'eau de la surface des continents. Les températures des points triples des deux types de cellules diffèrent typiquement de 100 μK en raison de leur composition isotopique différente. L'eau à la surface des continents contient moins d'isotopes lourds, ^2H , ^{17}O et ^{18}O , que l'eau de l'océan, et donc correspond à des températures de points triples plus basses.

Le CCT a analysé les résultats et a recommandé de préciser la composition isotopique de l'eau de référence dans le texte de la 8^e édition de la Brochure sur le SI, en liaison avec la définition du kelvin. Le CIPM a approuvé cette recommandation. Une mise en pratique de la définition du kelvin est en préparation, qui contient les mêmes informations.

La formation d'un technicien, R. Chayramy, pour effectuer les étalonnages internes de thermomètres dans le domaine compris entre 0 °C et 30 °C, se poursuit.

5.6 Comparaisons clés continues du BIPM d'étalons électriques

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

En 2004, le BIPM a proposé aux laboratoires nationaux de métrologie un nouveau type de comparaison d'étalons de tension de Josephson, à laquelle il était fait référence comme « option B ». La procédure consiste à mesurer une référence de tension stable produite par le réseau du BIPM au moyen de l'étalon de tension à réseau de Josephson de l'autre participant, en utilisant les instruments et les procédures habituels de ses étalonnages de routine. Par contraste avec l'ancienne procédure pour la comparaison d'étalons de tension à réseau de Josephson, la nouvelle procédure demande que la tension de sortie du réseau du BIPM, mais pas celle du réseau de l'autre participant, reste stable pendant les quelques minutes nécessaires pour effectuer une seule mesure complète. Dans le cadre du programme de la comparaison clé du BIPM en continu BIPM.EM-K10.b, nous avons participé à sept nouvelles comparaisons d'étalons de tension à réseau de Josephson de 10 V : avec le CEM (Espagne) en septembre 2005, avec le NMIJ (Japon) en octobre 2005, avec le BEV (Autriche) en novembre 2005, avec le KRISS (Rép. de Corée) en décembre 2005, avec l'INETI (Portugal) en mars 2006, avec l'INMETRO (Brésil) en avril 2006 et avec le NMIA (Australie) en mai 2006.

Toutes les comparaisons se sont achevées avec succès à l'exception de celle avec le KRISS qui n'a pas donné de résultats utilisables ; cette comparaison devra être répétée. Les résultats des comparaisons avec l'INMETRO et le NMIA ne sont pas encore disponibles.

Les résultats, exprimés sous la forme de la différence relative entre les valeurs attribuées au réseau de Josephson étalon de 10 V par les laboratoires (U_{LAB}) et sa valeur théorique (U_{BIPM}), sont les suivants :

$$(U_{\text{CEM}} - U_{\text{BIPM}})/U_{\text{BIPM}} = +0,4 \times 10^{-10}, \quad u_c/U_{\text{BIPM}} = 1,5 \times 10^{-10}$$

$$(U_{\text{NMIJ}} - U_{\text{BIPM}})/U_{\text{BIPM}} = -1,20 \times 10^{-10}, \quad u_c/U_{\text{BIPM}} = 1,3 \times 10^{-10}$$

$$(U_{\text{BEV}} - U_{\text{BIPM}})/U_{\text{BIPM}} = +1,1 \times 10^{-10}, \quad u_c/U_{\text{BIPM}} = 3,5 \times 10^{-10}$$

$$(U_{\text{INETI}} - U_{\text{BIPM}})/U_{\text{BIPM}} = +0,8 \times 10^{-10}, \quad u_c/U_{\text{BIPM}} = 4,6 \times 10^{-10}$$

où u_c est l'incertitude-type globale composée.

Ces résultats sont excellents (l'accord et l'incertitude se situent à quelques 10^{-10} en valeur relative). De plus, puisque le bruit du réseau de tension du BIPM est négligeable comparé au bruit intrinsèque d'un étalon à diode de Zener, ces comparaisons révèlent des sources d'erreurs potentielles qui autrement auraient été mélangées au bruit.

Les quatre résultats des comparaisons ci-dessus ont été approuvés par le CCEM pour être inclus dans la comparaison clé BIPM.EM-K10.b publiée dans la base de données du BIPM sur les comparaisons clés.

Les comparaisons de tension en continu du BIPM utilisant des étalons de tension électroniques ont été effectuées à 10 V avec le NML (Irlande) et à 1,018 V et 10 V avec le NCM (Bulgarie) en mai-juin 2006.

Le résultat de la comparaison avec le NML, exprimé sous la forme de la différence entre les valeurs attribuées à un étalon de 10 V par le NML (U_{NML}) et sa valeur théorique (U_{BIPM}), est le suivant :

$$U_{\text{NML}} - U_{\text{BIPM}} = +0,87 \mu\text{V}, \quad u_c = 1,4 \mu\text{V}$$

où u_c est l'incertitude-type globale composée.

Le résultat de cette comparaison a été approuvé par le CCEM pour être inclus dans la comparaison clé BIPM.EM-K11.b publiée dans la base de données du BIPM sur les comparaisons clés.

Les résultats de la comparaison avec le NCM ne sont pas encore disponibles.

Une comparaison du BIPM de résistance de 10 k Ω avec l'INM, Bucarest, est en cours. Le projet A de rapport est en préparation.

5.7 **Étalonnages** (R. Chayramy, F. Delahaye, R. Goebel, A. Jaouen, D. Reymann 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 la Belgique, la Malaisie et la Roumanie ; étalons de résistance de 1 Ω pour l'Afrique du Sud, la Belgique, le Brésil, la Malaisie, la Pologne, la Roumanie et la Thaïlande ; étalons de résistance de 100 Ω pour la Belgique ; étalons de résistance de 10 k Ω pour la Belgique, le Brésil, le Danemark, la Pologne, la Roumanie et la Thaïlande ; étalons de capacité de 1 pF pour l'Afrique du Sud et la Thaïlande ; étalons de capacité de 10 pF pour l'Afrique du Sud, l'Allemagne, la Belgique, la Grèce, les Pays-Bas et la Thaïlande ; et étalons de capacité de 100 pF pour l'Afrique du Sud, la Belgique, la Grèce, les Pays-Bas et la Thaïlande.

5.8 Publications, conférences et voyages : section d'électricité

5.8.1 Publications extérieures

1. Bonnier G., Stock M. *et al.*, Uncertainty budgets for SPRT calibrations at the defining fixed points, *Proc. TempMeko 2004, 2005*, 1119-1134.
2. Stock M., Solve S. *et al.*, CCT-K7: Key comparison of water triple point cells, *Metrologia*, 2006, **43**, *Tech. Suppl.*, 03001.
3. Goebel R., Yamada Y., Stock M., Thermodynamic temperature measurements of metal-carbon eutectic fixed points, *Proc. TempMeko 2004, 2005*, 91-99.

5.8.2 Rapports BIPM

4. Reymann D., Solve S., Hernandez R., Perez S., Raso F., Comparison of the Josephson Voltage Standards of the CEM and the BIPM (part of the ongoing BIPM key comparison BIPM.EM-K10.b), September 2005, *Rapport BIPM-2005/12*, 2005, 7 p.
5. Reymann D., Solve S., Urano C., Marayama Y., Yoshida H., Comparison of the Josephson Voltage Standards of the NMIJ-AIST and the BIPM (part of the ongoing BIPM key comparison BIPM.EM-K10.b), October 2005, *Rapport BIPM-2005/13*, 2005, 9 p.
6. Reymann D., Solve S., Waldmann W., Heine G., Scheibenreiter P., Pribil J., Comparison of the Josephson Voltage Standards of the BEV and the BIPM (part of the ongoing BIPM key comparison BIPM.EM-K10.b), November 2005, *Rapport BIPM-2005/14*, 2005, 7 p.
7. Reymann D., Solve S., Nunes M.C., Ribeiro L.F., Comparison of the Josephson Voltage Standards of the INETI and the BIPM (part of the ongoing BIPM key comparison BIPM.EM-K10.b), March 2006, *Rapport BIPM-2006/03*, 2005, 12 p.
8. Power O., Reymann D., Witt T.J., Bilateral Comparison of 10 V Standards between the NML (Ireland) and the BIPM (part of the ongoing BIPM key comparison BIPM.EM-K11.b), June 2006, *Rapport BIPM-2006/04*, 2006, 6 p.

5.8.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

D. Reymann et S. Solve se sont rendus à :

- Madrid (Espagne), du 14 au 22 septembre 2005, pour une comparaison d'étalons de tension de Josephson avec le CEM ;
- Tsukuba (Japon), du 13 au 19 octobre 2005, pour une comparaison d'étalons de tension de Josephson avec le NMIJ ;
- Vienne (Autriche), du 9 au 16 novembre 2005, pour une comparaison d'étalons de tension de Josephson avec le BEV ;
- Daejeon (Rép. de Corée), du 14 au 22 décembre 2005, pour une comparaison d'étalons de tension de Josephson avec le KRISS ;
- Lisbonne (Portugal), du 9 au 15 mars 2006, pour une comparaison d'étalons de tension de Josephson avec l'INETI ;
- Rio de Janeiro (Brésil), du 6 au 13 avril 2006, pour une comparaison d'étalons de tension de Josephson avec l'INMETRO ;
- Lindfield (Australie), du 11 au 18 mai 2006, pour une comparaison d'étalons de tension de Josephson avec le NMIA.

T.J. Witt s'est rendu à :

- Jeju et Daejeon (Rép. de Corée), du 4 au 7 septembre 2005, pour une réunion du comité technique de l'APMP sur l'électricité et le magnétisme et pour visiter les laboratoires d'électricité du KRISS. Il y a fait deux présentations, l'une résumant les travaux de la 24^e session du Comité consultatif d'électricité et magnétisme (17-18 mars 2005) et l'autre sur les comparaisons clés en électricité : études de cas du BIPM ;
- Rio de Janeiro (Brésil), du 21 au 23 septembre 2005, invité pour une présentation à la conférence internationale VI SEMETRO. Il y a fait une présentation sur les activités récentes de la section d'électricité du BIPM. Il a visité le laboratoire de métrologie des étalons de tension de Josephson de l'INMETRO le 22 septembre ;
- Berne (Suisse), les 13 et 14 octobre 2005, pour assister à la réunion du comité technique de l'EUROMET sur l'électricité et le magnétisme. Il y a présenté un rapport résumant les travaux de la 24^e session du Comité consultatif d'électricité et magnétisme et y a fait une présentation sur les activités récentes de la section d'électricité du BIPM ; le 14 octobre il a visité les laboratoires d'électricité et de métrologie des masses du METAS.

5.9 Activités en liaison avec des organisations extérieures

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

T.J. Witt et F. Delahaye sont membres du comité technique de la CPEM 2006.

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

5.10 Activités liées au travail des Comités consultatifs

T.J. Witt est secrétaire exécutif du CCEM. Il a assisté avec M. Stock aux réunions inaugurales de deux nouveaux groupes de travail du CCEM : le Groupe de travail sur le programme stratégique, le 2 octobre 2005, et le Groupe de travail du CCEM sur les propositions de modification au SI, le 5 mars 2006.

M. Stock est secrétaire exécutif du CCT et du CCPR et membre des groupes de travail du CCPR sur les CMCs et du nouveau Groupe de travail du CCT sur la redéfinition du kelvin.

5.11 Visiteurs de la section d'électricité

- M. M. Himbert (CNAM), le 18 juillet 2005, pour une présentation du rapport sur l'état d'avancement de la thèse de S. Solve.
- M. H. Schechter (INMETRO), le 1^{er} août 2005, pour une visite de la section d'électricité.
- MM. D. Woldman et A. Gilla (NIST), le 4 octobre 2005, pour des discussions sur les travaux de la section d'électricité ; M. Woldman est le conseiller scientifique de M. W. Anderson.
- Une vingtaine de visiteurs du « WMO Metrology Workshop », le 21 octobre 2005.
- M. M. Florin (INM), le 15 mai 2006, pour rendre les étalons voyageurs de résistance du BIPM et reprendre des étalons de tension et de capacité après étalonnage.
- Mme R. Vasconcellos (INMETRO), le 9 juin 2006.

- Mme U. Ivanova (NCM), le 12 juin 2006, pour une visite et des discussions sur les comparaisons d'étalons de tension et pour emporter des étalons voyageurs du BIPM.

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

6.1 Rayons x et γ

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

6.1.1 Étalons et équipements pour la dosimétrie

Une nouvelle méthode pour redéterminer le volume d'air des chambres d'ionisation à cavité étalons primaires du BIPM a été mise au point ; les mesures sont presque terminées. La méthode est de nature différentielle, avec l'assemblage à répétition d'une chambre dont on peut faire varier de manière exactement quantifiable le volume interne. L'expérience comprend des mesures dimensionnelles, avec une résolution micrométrique, et la détermination expérimentale de la recombinaison des ions, des effets de polarité et du rayonnement diffusé par la tige pour chaque configuration de la chambre. Des calculs de Monte Carlo de haute précision de k_{wall} et de k_{an} ont aussi été nécessaires ; ils sont maintenant terminés. La méthode a démontré que l'on est capable d'effectuer une détermination robuste du volume effectif de la chambre à environ 3×10^{-4} près en valeur relative. Les résultats initiaux suggèrent que le volume de l'étalon actuel pourrait être surestimé d'environ 2×10^{-3} en valeur relative.

Les résultats des calculs des facteurs de correction de l'étalon de ^{60}Co pour le kerma dans l'air par la méthode de Monte Carlo sont maintenant publiés dans *Physics in Medicine and Biology*. Comme ceci a été approuvé par le CCRI lors de sa réunion de 2005, la modification de l'étalon sera appliquée après présentation et adoption de la proposition finale au CCRI en 2007. Cette proposition inclura aussi les changements résultant de la nouvelle détermination du volume de la chambre. On a profité de ce travail pour calculer les facteurs k_{wall} et k_{an} pour deux autres chambres, celle de type CC01 utilisée comme étalon national dans un certain nombre de laboratoires et celle du LNE-LNHB (France).

Jusqu'à l'adoption officielle du nouvel étalon de kerma dans l'air du BIPM, l'ancienne source de ^{60}Co restera la référence ; les mesures se poursuivent en parallèle dans les deux faisceaux. Après correction de toutes les différences connues, les coefficients d'étalonnage dans les deux champs diffèrent d'environ 5×10^{-4} en valeur relative. La possibilité que cette différence résulte de la sensibilité de k_{wall} au spectre photonique de la chambre soumise à étalonnage a été étudiée par des calculs de Monte Carlo. Nous n'avons constaté aucun effet. Il reste la possibilité que, pour l'étalon du BIPM, k_{an} soit sensible à la géométrie de la source ; c'est difficile à déterminer au niveau d'incertitude requis.

Les calculs de Monte Carlo des facteurs de correction de l'étalon de dose absorbée dans l'eau pour le ^{60}Co sont terminés et indiquent un changement global de quelques 10^{-4} en valeur relative par rapport aux valeurs constatées pour l'étalon de kerma dans l'air, mais pour des raisons différentes. Ces résultats seront publiés dans *Physics in Medicine and Biology* et présentés au CCRI en 2007.

En ce qui concerne l'étalon calorimétrique de dose absorbée du BIPM, la capacité thermique spécifique du graphite a été mesurée entre 292 K et 298 K avec une incertitude-type relative de $9,6 \times 10^{-4}$. L'exactitude est limitée par les effets systématiques. Ceci fait l'objet d'une longue série de mesures de l'échantillon en graphite, dont la taille est progressivement réduite. Une fois les mesures terminées, cette méthode différentielle devrait produire une valeur plus robuste de la capacité thermique spécifique avec une incertitude plus faible.

Entre temps, nous avons débuté le travail sur le calorimètre lui-même : la conception et les dimensions nominales ont été décidées ; des plans préliminaires ont été réalisés ; la fabrication des premiers éléments débutera bientôt. Les effets dus aux impuretés qui peuvent survenir pendant le façonnage du graphite ont été estimés. Des méthodes d'éléments finis sont en cours d'utilisation pour stimuler le comportement thermique du calorimètre irradié, afin de mieux comprendre le flux thermique et d'estimer les effets systématiques.

Les précédentes simulations pour les étalons à rayons x du BIPM, selon la méthode de Monte Carlo, au moyen d'un modèle simplifié, ont été suivies de l'emploi d'un modèle plus complet qui tient compte des effets de transmission à l'ouverture et de dispersion. Les résultats sont en cours d'évaluation, mais ils indiquent qu'un facteur de correction combiné de l'ordre de 0,1 % pourrait être nécessaire aux plus hautes énergies. Les calculs préliminaires effectués au moyen de ce modèle pour l'étalon du NMIJ

(Japon) donnent des résultats différents de ceux calculés par le NMIJ ; il reste à découvrir quelle est l'origine de cette différence.

Afin de faire la lumière sur la différence entre le spectre de photons de 10 kV du BIPM mesuré au moyen d'un spectromètre Compton du commerce et au moyen du spectromètre du NMi, nous avons étendu les calculs spectraux par la méthode de Monte Carlo à 10 kV. Les résultats sont en bon accord avec ceux obtenus au moyen du spectromètre du NMi, indiquant que les résultats du spectromètre Compton à 10 kV ne devraient pas être utilisés pour déterminer des facteurs de correction spectrale.

Les mesures primaires et les étalonnages des chambres de référence se poursuivent pour tous les faisceaux de rayons x et de rayonnement γ de référence, y compris les qualités de rayonnement pour la mammographie. Comme le Système Qualité du BIPM le demande, des efforts conséquents ont été consacrés à l'étalonnage et à la maintenance des équipements pour les étalonnages et les comparaisons.

Le rétablissement des étalons de kerma dans l'air et d'équivalent de dose ambiant pour le faisceau de ^{60}Co du BIPM pour la radioprotection a fait l'objet d'une publication dans un *Rapport BIPM*. Les résultats de la comparaison de dosimétrie du CCRI sur le traitement des radiations industrielles à des niveaux de dose absorbée élevés (kGy), dont le BIPM est le laboratoire pilote, ont été publiés en ligne dans *Radiation Physics and Chemistry*.

6.1.2 Comparaisons de dosimétrie

Des comparaisons de dose absorbée dans l'eau pour le rayonnement γ du ^{60}Co ont été effectuées en septembre et octobre 2005, respectivement, avec le NMi (Pays-Bas) et avec la PTB (Allemagne). Des mesures complémentaires ont été effectuées en janvier 2006 pour la comparaison de kerma dans l'air pour les rayons x aux basses énergies avec le NMIJ (Japon). Des comparaisons de kerma dans l'air dans le rayonnement γ du ^{60}Co ont été effectuées en février et avril 2006, respectivement, avec l'OMH (Hongrie) et avec le GUM (Pologne). Des projets de rapports ont été rédigés pour ces cinq comparaisons. Des rapports ont été publiés sur les précédentes comparaisons de kerma dans l'air dans le rayonnement γ du ^{60}Co avec l'ENEA (Italie) et avec le LNE-LNHB (France), et dans le rayonnement γ du ^{60}Co et du ^{137}Cs et la dose absorbée dans l'eau avec la PTB (Allemagne). Un projet B du rapport résumé de toutes les comparaisons de kerma dans l'air dans le ^{60}Co a été préparé pour être soumis à la Section I du CCRI. Un certain nombre de

rapports de comparaisons connexes avec le BARC (Inde), le NIM (Chine) et le NPL (Royaume-Uni) sont encore en préparation. Le rapport de la comparaison de rayons x aux moyennes énergies avec le NIST (États-Unis) sera bientôt publié comme rapport du NIST ; celui de la comparaison de rayons x aux basses énergies avec le NMIJ est presque terminé. Les rapports des précédentes comparaisons de rayons x avec l'ARPANSA (Australie), le BEV (Autriche), le NIM (Chine) 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 « puits » procurée par le LNE-LNHB, pour la prochaine comparaison du CCRI de dosimétrie pour la curiethérapie avec des sources de ^{192}Ir , dont le BIPM sera le laboratoire pilote.

6.1.3 Étalonnage d'étalons nationaux pour la dosimétrie

Un audit interne des services d'étalonnage s'est achevé en novembre 2005. Il n'a pas été relevé de non-conformité.

Deux séries d'étalonnages d'étalons nationaux ont été effectuées pour les rayons x aux moyennes énergies pour le CRRD (Argentine).

Six étalonnages d'étalons nationaux ont été effectués dans les faisceaux de rayonnement gamma du BIPM pour le kerma dans l'air et la dose absorbée dans l'eau, à la demande du CRRD (Argentine) et du METAS (Suisse).

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 .

6.2 Radionucléides (S. Courte, C. Michotte, M. Nonis et G. Ratel)

6.2.1 Comparaisons clés internationales de mesures d'activité

Une part importante des comparaisons internationales est consacrée à la circulation de matériaux radioactifs à mesurer par les laboratoires nationaux de métrologie. Pendant l'année passée, beaucoup de temps a été consacré à la production des documents et des systèmes exigés par les autorités françaises pour permettre au BIPM de continuer à importer et à exporter des sources radioactives conformément aux nouvelles réglementations françaises. Ceci a aussi impliqué d'établir un système de suivi rigoureux de toutes les transactions concernant ces sources, ainsi que la rénovation d'une partie de

nos anciennes installations. Afin de réduire, comme prévu, la charge de travail associée aux comparaisons de la Section II du CCRI, une seule comparaison nouvelle a été organisée pendant l'année.

Les rapports des résultats d'un certain nombre de précédentes comparaisons circulent actuellement parmi les participants, avant leur approbation par la Section II du CCRI. Ils portent sur les comparaisons des radionucléides ^{241}Am , ^{65}Zn , ^{125}I , ^{32}P et ^{54}Mn , dont les résultats ont été discutés lors d'un atelier qui s'est tenu l'an passé.

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

Une solution de ^{55}Fe , 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 préparée et envoyée par le NPL à dix-neuf participants à la comparaison. La distribution des échantillons ne s'est malheureusement pas bien passée, en raison des complications occasionnées par des réglementations restrictives de certains pays concernant le transport transfrontalier de matériaux radioactifs. Ce radionucléide a été choisi parce qu'il est difficile à mesurer ; il a donc été décidé que la réussite à cet exercice étayerait les aptitudes à mesurer de nombreux autres radionucléides. Par conséquent, la date limite pour soumettre les résultats a été repoussée à plusieurs reprises, avec l'accord de tous les participants. La date limite finale est maintenant dépassée et 75 % des résultats attendus ont été envoyés pour analyse au BIPM.

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

En 2005, le BIPM a reçu dix-neuf ampoules appartenant à huit laboratoires : deux ampoules du BARC ($^{110}\text{Ag}^m$ et ^{134}Cs), une ampoule contenant du ^{134}Cs du CNEA, deux ampoules de l'IFIN (^{131}I et ^{133}Ba), une ampoule contenant du ^{60}Co de l'IRMM, une ampoule contenant du ^{131}I du KRISS, quatre ampoules du LNE-LNHB (^{67}Ga , ^{134}Cs , ^{124}Sb (étude pilote) et ^{201}Tl), une ampoule contenant du $^{99}\text{Tc}^m$ du NPL, sept ampoules de la PTB (^{18}F , ^{57}Co , $^{99}\text{Tc}^m$, ^{111}In , ^{201}Tl , ^{222}Rn et ^{237}Np , ce dernier radionucléide est aussi utilisé pour lier la comparaison de l'EUROMET). Ceci représente dix-sept nouveaux résultats enregistrés dans le fichier maître du SIR pour douze radionucléides différents, générant des valeurs pour l'équivalence dans tous les cas sauf un (^{124}Sb). Les résultats du ^{237}Np , qui constituent une nouvelle entrée dans le SIR, sont en cours d'analyse ; les premiers résultats semblent prometteurs.

Dix autres échantillons sont attendus, mais nous ne les avons pas encore reçus.

En raison de la nouvelle évaluation de la demi-vie du $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ ($T_{1/2} = 6,0067 \text{ h}$; $u(T_{1/2}) = 0,0010 \text{ h}$), publiée dans la *Monographie BIPM-5*, tous les résultats obtenus pour ce radionucléide ont été réévalués, ce qui a entraîné de légères réductions des incertitudes de certaines valeurs de l'activité équivalente.

L'échantillon de ^{18}F apporté par un porteur spécial de la PTB a été mesuré dans la soirée, dès son arrivée au BIPM. La PTB a été informée du début des mesures, afin de permettre la synchronisation des mesures dans les deux laboratoires et de réduire les incertitudes dues à la demi-vie de ce radionucléide, inférieure à 2 h.

Le NMIJ a effectué des mesures primaires d'activité de deux solutions de ^{134}Cs et de ^{137}Cs , qui avaient été envoyées en 2004 au BIPM et mesurées dans la chambre d'ionisation du SIR au BIPM. Ces deux ampoules ont été remesurées et les activités équivalentes ont été calculées en utilisant les valeurs de l'activité récemment mesurée par les méthodes primaires du NMIJ, afin de permettre leur inclusion dans le calcul des valeurs de référence des comparaisons clés. Les résultats du NMIJ pour ces deux radionucléides ont maintenant été publiés dans le SIR, afin de mettre à jour les précédents résultats.

Depuis les débuts du SIR en 1976, 891 ampoules ont été mesurées, avec au total 651 résultats indépendants pour 63 radionucléides différents, en comptabilisant tous les radionucléides, y compris les émetteurs de rayonnement β utilisés pour vérifier le rayonnement de freinage des chambres.

De plus, quatre ampoules de ^{85}Kr préparées par le LNE-LNHB ont été mesurées avec les chambres d'ionisation du SIR, afin d'étudier un écart systématique constaté entre les mesures du SIR des échantillons de ce laboratoire et de ceux envoyés en 2002 par le NIST. En même temps, les deux ampoules du NIST ont été à nouveau mesurées. Les résultats sont en cours d'analyse. Cette étude devrait permettre de comprendre les raisons de la différence entre les résultats et aider à spécifier les caractéristiques appropriées du gaz dans les ampoules du SIR. Ceci est nécessaire pour préparer la future comparaison du CCRI de ce radionucléide.

Quinze rapports de comparaisons en continu du BIPM ont été publiés dans la KCDB au cours des douze derniers mois, y compris trois rapports de lien à des comparaisons de la Section II du CCRI et des organisations régionales de métrologie. Un rapport sur les mesures de l'étude pilote sur le ^{124}Sb dans le

SIR a aussi été publié et cinq projets B de rapports sont actuellement en circulation.

Cette année, le Système Qualité du BIPM a été étendu au SIR, ce qui a entraîné la production de vingt-deux documents, formulaires, instructions et procédures. Un audit externe est prévu.

Le nouveau système de mesure du SIR est en cours de vérification, en parallèle au système précédent, afin de valider le dispositif expérimental et le logiciel d'acquisition des données. Les premiers résultats sont en accord à une incertitude-type près.

Le logiciel SIRIC, fruit d'une collaboration avec le NPL, calcule les courbes d'efficacité des photons et des électrons dans le SIR en fonction de l'énergie, sur la base d'un modèle de mesure complet. Ces courbes permettent de calculer les activités équivalentes dans le SIR à partir des émissions de photons et d'électrons publiées. Un désaccord entre la valeur calculée et mesurée a été observé pour le ^{65}Zn . Il a été résolu en utilisant les intensités d'émission publiées dans la mise à jour de 2005 du *Decay Data Evaluation Project*. Le logiciel SIRIC calcule aussi la forme des spectres β nécessaires pour évaluer la réponse de la chambre d'ionisation du SIR aux électrons. Ces spectres ont été comparés à ceux obtenus avec d'autres programmes et un rapport BIPM a été rédigé.

Nous avons commencé à étendre le SIR aux radionucléides à courte durée de vie au moyen d'un instrument de transfert NaI(Tl) de type « puits », après la réunion du groupe de travail. L'électronique a été mise au point et les échelles de comptage ont été vérifiées à fond, en utilisant le signal de fréquence du BIPM. Le système est entièrement automatisé au moyen de LabView.

6.2.4 Spectrométrie gamma

Aucune impureté significative n'a été identifiée pour les solutions de ^{60}Co , ^{67}Ga , $^{99}\text{Tc}^m$, ^{109}Cd , ^{131}I et ^{186}Re soumises au SIR, et aucune impureté n'a été identifiée dans la solution de ^{55}Fe de la comparaison clé de la Section II du CCRI. Les impuretés attendues de ^{200}Tl et de ^{202}Tl ont été mesurées dans les solutions de ^{201}Tl soumises au SIR.

6.3 Publications, conférences et voyages : section des rayonnements ionisants

6.3.1 Publications extérieures

1. Allisy P.J., Ratel G., International traceability of dosimetry and activity measurements, *Proc. Second European Congress on Radiation Protection*, 2006, SFRP, article 269.
2. Burns D.T., A new approach to the determination of air kerma using primary-standard cavity ionization chambers, *Phys. Med. Biol.*, 2006, **51**, 929-942.
3. Kessler C., Allisy P.J., Burns D.T., Krauss A., Kapsch R.-P., Comparison of the standards for absorbed dose to water of the PTB, Germany and the BIPM for ^{60}Co γ -rays, *Metrologia*, 2006, **43**, *Tech. Suppl.*, 06005.
4. Michotte C., Pearce A.K., Cox M.G., Gostely J.-J., An approach based on the SIR measurement model for determining the ionization chamber efficiency curves, and a study of ^{65}Zn and ^{201}Tl photon emission intensities, *Appl. Radiat. Isot.*, 2006, **64**, 1147-1155.
5. Michotte C., Ratel G., Aubineau-Lanière I., Moune M., Coursol N., Activity measurements of the radionuclide ^{124}Sb by the LNE-LNHB, France as a pilot study for the ongoing comparison BIPM.RI(II)-K1.Sb-124, *Metrologia*, 2006, **43**, *Tech. Suppl.*, 06007.
6. Ratel G., Michotte C., Hino Y., Activity measurements of the radionuclide ^{85}Sr for the NMIJ, Japan in the ongoing comparison BIPM.RI(II)-K1.Sr-85, *Metrologia*, 2005, **42**, *Tech. Suppl.*, 06010.
7. Ratel G., Michotte C., Hino Y., Update of the BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Ce-139 of activity measurements of the radionuclide ^{139}Ce to include the 2004 NMIJ result and links for the 2004 regional comparison APMP.RI(II)-K2.Ce-139, *Metrologia*, 2005, **42**, *Tech. Suppl.*, 06012.
8. Ratel G., Michotte C., Hino Y., Keightley J., Wätjen U., Update of the ongoing comparison BIPM.RI(II)-K1.Co-60 including activity measurements of the radionuclide ^{60}Co for the NMIJ, Japan and the IRMM (Geel), *Metrologia*, 2006, **43**, *Tech. Suppl.*, 06003.
9. Ratel G., Michotte C., Hino Y., Kossert K., Janßen H., Activity measurements of the radionuclide ^{57}Co for the NMIJ, Japan and the PTB, Germany in the ongoing comparison BIPM.RI(II)-K1.Co-57, *Metrologia*, 2005, **42**, *Tech. Suppl.*, 06016.

10. Ratel G., Michotte C., Kossert K., Janßen H., Update of the BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.F-18 of activity measurements of the radionuclide ^{18}F to include the PTB, *Metrologia*, 2006, **43**, *Tech. Suppl.*, 06001.
11. Ratel G., Michotte C., Kossert K., Janßen H., Activity measurements of the radionuclide ^{111}In for the PTB, Germany in the ongoing comparison BIPM.RI(II)-K1.In-111, *Metrologia*, 2006, **43**, *Tech. Suppl.*, 06002.
12. Ratel G., Michotte C., Kossert K., Janßen H., Activity measurements of the radionuclide $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ for the PTB, Germany in the ongoing comparison BIPM.RI(II)-K1.Tc-99m, *Metrologia*, 2006, **43**, *Tech. Suppl.*, 06004.
13. Ratel G., Michotte C., Kossert K., Janßen H., Update of the BIPM.RI(II)-K1.Rn-222 comparison of activity measurements for the radionuclide ^{222}Rn to include the PTB, *Metrologia*, 2006, **43**, *Tech. Suppl.*, 06006.
14. Ratel G., Michotte C., Hino Y., Tyler D., Judge S., Kharitonov I.A., Activity measurements of the radionuclide ^{51}Cr for the NMIJ, Japan and the NPL, United Kingdom in the ongoing key comparison BIPM.RI(II)-K1.Cr-51 and the linking of the activity measurement of the VNIIM, Russian Federation in the APMP.RI(II)-K2.Cr-51 regional key comparison, *Metrologia*, 2005, **42**, *Tech. Suppl.*, 06014.
15. Ratel G., Michotte C., Hino Y., Wätjen U., Activity measurements of the radionuclide ^{137}Cs for the NMIJ, Japan and the IRMM, Geel in the ongoing comparison BIPM.RI(II)-K1.Cs-137 and update of the KCRV, *Metrologia*, 2005, **42**, *Tech. Suppl.*, 06009.
16. Ratel G., Michotte C., Janßen H., Kossert K., Lucas L., Karam L., Activity measurements of the radionuclide ^{109}Cd for the PTB, Germany and the NIST, United States in the ongoing comparison BIPM.RI(II)-K1.Cd-109, *Metrologia*, 2005, **42**, *Tech. Suppl.*, 06011.
17. Ratel G., Michotte C., Johansson L., Update of the BIPM.RI(II)-K1.Tc-99m comparison of activity measurements for the radionuclide $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ to include the NPL, *Metrologia*, 2005, **42**, *Tech. Suppl.*, 06015.
18. Ratel G., Michotte C., Reinhard M., Alexiev D., Mo L., Activity measurements of the radionuclide ^{153}Sm for the ANSTO, Australia in the ongoing comparison BIPM.RI(II)-K1.Sm-153, *Metrologia*, 2005, **42**, *Tech. Suppl.*, 06008.
19. Ratel G., Michotte C., Wätjen U., Janßen H., Szücs L., Coursol N., Hino Y., Activity measurements of the radionuclide ^{134}Cs for the IRMM, Geel, PTB, Germany, OMH, Hungary, LNE-LNHB, France and the

NMIJ, Japan in the ongoing comparison BIPM.RI(II)-K1.Cs-134, *Metrologia*, 2005, **42**, *Tech. Suppl.*, 06013.

20. Ratel G., Michotte C., Woods M.J., Comparisons CCRI(II)-K3.F-18 and APMP.RI(II)-K3.F-18 of activity measurements of the radionuclide ^{18}F and links to the key comparison reference value of the BIPM.RI(II)-K1.F-18 comparison, *Metrologia*, 2005, **42**, *Tech. Suppl.*, 06007.

6.3.2 Rapports BIPM

21. Allisy-Roberts P.J., Burns D.T., Büermann L., Kramer H.-M., Comparison of the standards for air kerma of the PTB and the BIPM for ^{60}Co and ^{137}Cs gamma radiation, *Rapport BIPM-2005/10*, 16 p.
22. Allisy-Roberts P.J., Burns D.T., Kessler C., Laitano R.F., Bovi M., Pimpinella M., Toni M.P., Comparison of the standards for air kerma of the ENEA-INMRI and the BIPM for ^{60}Co gamma rays, *Rapport BIPM-2005/09*, 13 p.
23. Allisy P.J., Kessler C., Burns D.T., Delaunay F., Leroy E., Comparison of the standards for air kerma of the LNE-LNHB and the BIPM for ^{60}Co gamma radiation, *Rapport BIPM-2006/02*, 10 p.
24. Kessler C., Roger P., Re-establishment of the air kerma and ambient dose equivalent standards for the BIPM protection-level ^{60}Co beam, *Rapport BIPM-2005/08*, 7 p.
25. Picard S., Burns D.T., Roger P., Measurement of the specific heat capacity of graphite, *Rapport BIPM-2006/01*, 31 p.

6.3.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

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

- à Londres (Royaume-Uni), le 27 juillet 2005, le 12 janvier et le 12 avril 2006 pour assister au comité de rédaction du *Journal of Radiological Protection* ; le 2 août 2005 et le 24 janvier 2006 pour assister aux réunions d'examen stratégique de l'UK National Measurement System ; le 22 mars 2006 pour assister au « Ionizing Radiation Health and Safety Forum » ; le 24 mai 2006 pour présider la réunion de l'UK Department of Trade and Industry sur le programme futur de métrologie des rayonnements ionisants du Royaume-Uni ;
- à Vienne (Autriche), du 26 au 28 septembre 2005, pour assister au symposium scientifique de l'AIEA et comme présidente de la séance

- « Advances in Radiation Medicine », et du 6 au 10 mars 2006, en qualité de présidente et pour assister au comité scientifique du réseau de laboratoires secondaires de dosimétrie de l'AIEA et de l'OMS ;
- à Loughborough (Royaume-Uni), les 11 et 12 octobre 2005, pour assister au DTI Measurement Advisory Committee (MAC) ;
 - au NIST (États-Unis), du 24 au 26 octobre 2005, pour une présentation et pour assister à la réunion du Conseil sur les étalons et mesures des rayonnements ionisants ;
 - au NIRH (Danemark), le 9 novembre 2005, pour participer au comité d'examen des activités en métrologie des rayonnements ionisants ;
 - au LNE (France), le 24 novembre 2005, pour assister au conseil scientifique ;
 - au NPL (Royaume-Uni), du 21 au 23 février 2006, pour présider les groupes de travail du MAC sur l'acoustique et les rayonnements ionisants ; le 16 mars 2006 pour assister à la réunion sur le programme international du DTI ;
 - au LGC (Royaume-Uni), les 14 et 15 mars 2006, pour assister au DTI Measurement Advisory Committee ;
 - au LNE-LNHB (France), le 24 mars 2006, pour assister au conseil scientifique ;
 - à Paris (France), du 16 au 18 mai 2006, pour une présentation et pour participer au congrès de l'International Radiation Protection Association (IRPA) sur la radioprotection ;
 - Leeds (Royaume-Uni), le 21 juin 2006, pour assister à la réunion « Radiation Protection Advisers Update ».

D.T. Burns s'est rendu :

- à Bad Honnef (Allemagne), du 24 au 28 octobre 2005, pour assister aux réunions de la commission principale de l'ICRU et de son comité sur les unités et grandeurs fondamentales ;
- à Athènes (Grèce), les 1^{er} et 2 décembre 2005, comme représentant du BIPM à la réunion des personnes chargées des relations dans le domaine des rayonnements ionisants de l'EUROMET ;
- au BIPM, du 20 au 22 mars 2006, pour assister à une réunion du comité sur les unités et grandeurs fondamentales de l'ICRU ;

- à Bethesda MA (États-Unis), les 27 et 28 mars 2006, pour assister à une réunion de l'ICRU Report Committee on Key Data for Measurement Standards in the Dosimetry of Ionizing Radiation ;
- à l'AIEA (Vienne), du 26 au 30 juin 2006, comme consultant de l'AIEA pour la révision du Rapport technique TRS-374 de l'AIEA.

C. Kessler s'est rendue :

- à Barcelone (Espagne), du 4 au 7 juillet 2005, pour assister au cours de formation avancée et à l'atelier « Electron-Photon Transport Modelling with PENELOPE-2005 », en compagnie de G. Ratel ;
- à la PTB (Allemagne), le 11 janvier 2006, pour des discussions et le transport d'instruments pour les étalonnages en mammographie ;
- au NMi (Pays-Bas), du 15 au 19 mai 2006, pour l'étude pilote sur l'étalonnage d'instruments de transfert pour la mammographie et les faisceaux de rayonnement de référence du CCRI.

C. Michotte s'est rendue à :

- Oxford (Royaume-Uni), du 5 au 9 septembre 2005, pour participer à la conférence internationale « Radionuclide Metrology and its Applications » et pour présenter la liaison de la comparaison clé K3.F-18 à la comparaison clé en continu BIPM.RI(II)-K1.F-18, à la réunion du groupe de travail sur les sciences de la vie ;
- Saclay (France), le 31 janvier 2006, pour assister à une réunion au LNE-LNHB sur le calcul des spectres de rayonnement β .

S. Picard s'est rendue :

- à Saclay (France), du 5 au 12 décembre 2005, pour assister à un cours sur la dosimétrie intitulé « Dosimétrie des rayonnements ionisants » ;
- au NPL (Royaume-Uni), du 10 au 12 janvier 2006, pour assister à un cours sur la dosimétrie intitulé « A practical course in reference dosimetry » ;
- au BEV (Autriche), le 23 juin 2006, pour visiter les laboratoires des rayonnements ionisants et de radioactivité.

G. Ratel s'est rendu à :

- Oxford (Royaume-Uni), du 5 au 9 septembre 2005, pour participer à la conférence internationale « Radionuclide Metrology and its Applications » et pour co-présider la séance sur les comparaisons ;

- Katowice (Pologne), du 17 au 21 octobre 2005, pour assister à la conférence « LSC 2005 Advances in Liquid Scintillation Spectrometry » ;
- Madrid (Espagne), les 30 et 31 janvier et du 1^{er} au 3 février 2006, pour acquérir de l'expérience dans le domaine du comptage pour la scintillation liquide ;
- Paris (France), du 15 au 19 mai 2006, pour assister au congrès de l'IRPA sur la radioprotection ;
- Saclay (France), du 12 au 16 juin 2006, pour un cours « Personnes compétentes en radioprotection – module théorique » ;
- Cherbourg (France), du 19 au 23 juin 2006, pour un cours « Personnes compétentes en radioprotection, Secteur INB-ICPE » ;
- Le Cap (Afrique du Sud), les 26 et 27 juin 2006, pour la réunion du conseil de l'ICRM.

6.4 Activités en liaison avec des organisations extérieures

P.J. Allisy-Roberts est membre du DTI Measurement Advisory Committee dans les domaines des rayonnements ionisants et de l'acoustique et membre scientifique de l' « UK Ionizing Radiation Health and Safety Forum ». Elle est aussi membre de l'ICRU Report Committee ; elle représente le BIPM au comité scientifique des laboratoires secondaires de dosimétrie de l'AIEA et est membre du comité de rédaction du *Journal of Radiological Protection* et conseiller de *Physics in Medicine and Biology*, du *British Journal of Radiology* et de la *Revue française de métrologie*.

D.T. Burns représente le BIPM aux réunions de l'ICRU ; il est membre de l'ICRU Report Committee et du comité de l'ICRU sur les unités et grandeurs fondamentales. 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 a été élu vice-président et pour lequel il a été conseiller de neuf articles pour la conférence de 2005. Il est aussi conseiller de *Metrologia* et de *Nuclear Instruments and Methods*. Il a fait trois présentations sur le travail du BIPM auprès d'organismes extérieurs, dont

une à la Préfecture des Hauts-de-Seine pour soutenir notre nouvelle autorisation.

6.5 Activités liées au travail des Comités consultatifs

P.J. Allisy-Roberts est secrétaire exécutive du CCRI et de ses trois Sections, et du CCAUV. Elle a assisté au Groupe de travail du CCRI sur les organisations régionales de métrologie, en septembre 2005.

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), sur les facteurs de correction des chambres à cavité pour le kerma dans l'air, et du Groupe de travail de la Section I du CCRI sur les étalons en curiethérapie, qui s'est réuni en novembre 2005. Un atelier commun au CCRI et au LNE-LNHB sur les étalons en dosimétrie devrait avoir lieu en mai 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 en novembre 2005), sur les comparaisons clés (qui s'est réuni à Oxford en septembre 2005), avec C. Michotte, sur les incertitudes de mesure et sur la réalisation du becquerel (qui s'est réuni à Oxford en septembre 2005).

C. Michotte est membre du Groupe de travail de la Section II du CCRI sur les instruments de transfert, qui s'est réuni en novembre 2005, ainsi que P.J. Allisy et G. Ratel. Elle représente le BIPM au Groupe de travail 1 du Comité commun pour les guides en métrologie, qui s'est réuni en octobre 2005 et en mars 2006. Elle en est le rapporteur.

6.6 Visiteurs de la section des rayonnements ionisants

- M. S. Duane (NPL), le 7 septembre 2005.
- M. S. Korostin (VNIIFTRI), le 27 septembre 2005.
- Mme L. Johansson (NPL), le 4 novembre 2005.
- Mme G. Sibbens (IRMM), le 4 novembre 2005.
- Mme I. Aubnieau-Lanièce (LNE-LNHB), le 4 novembre 2005.
- M. T. Dziel (RC Polatom), le 29 novembre 2005.
- M. G. Dietze (ICRU), le 22 mars 2006.
- M. M. McEwen (NRC), le 11 mai 2006.

- Mmes L. Caldas, A.F. Maia et M. da Penha Potiens (IPEN), le 15 mai 2006.
- M. F.J. Maringer, M. A. Baumgartner, M. R. Brettner-Messler, Mme V. Gruber, M. D. Kryezin, Mme E. Maringer et Mme C. Seidel (BEV), le 15 mai 2006.
- Mme L. Johansson et M. J. Sephton (NPL), le 1^{er} juin 2006.
- M. R. Collé (NIST), le 26 juin 2006.

6.7 Chercheurs invités

- Mme P. Damen (NMI), du 5 au 9 septembre 2005.
- M. L. de Prez (NMI), du 5 au 16 septembre 2005.
- M. R.-P. Kapsch (PTB), du 17 au 26 octobre 2005.
- M. G. Machula (OMH), du 30 janvier au 3 février 2006.
- M. M. Derlacinski (GUM), du 3 au 12 avril 2006.

7 CHIMIE (R.I. WIELGOSZ)

7.1 Programme sur la métrologie des gaz

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

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

Le projet A de rapport de l'étude pilote CCQM-P28 sur l'ozone, au niveau ambiant, a été discuté pendant la réunion du Groupe de travail du CCQM sur l'analyse des gaz en avril 2005 ; le groupe de travail a recommandé que le projet B de rapport mentionne l'écart entre la valeur de chaque participant et la valeur de référence (étalon mesureur d'ozone du BIPM), calculé pour deux fractions molaires nominales de l'ozone (80 nmol/mol et 420 nmol/mol). Le projet B de rapport a été présenté pendant la réunion du Groupe de travail du CCQM sur l'analyse des gaz en octobre 2005 ; la version finale du rapport a été approuvée pendant la réunion du Groupe de travail du CCQM sur

l'analyse des gaz en avril 2006 et publiée comme *Metrologia Technical Supplement* en juin 2006. Le protocole de la future comparaison clé en continu (BIPM.QM-K1) sera finalisé lors de la réunion du Groupe de travail du CCQM sur l'analyse des gaz en novembre 2006.

Les documents pour le Système Qualité, y compris les procédures et les instructions techniques, pour les comparaisons de mesure d'ozone (et les étalonnages futurs) ont été mis à jour après l'étude pilote CCQM-P28 et pour la préparation de la comparaison clé BIPM.QM-K1. Un audit externe devrait avoir lieu avant la fin de 2006. L'étude sur les écarts systématiques du photomètre de référence étalon a permis d'élaborer une nouvelle procédure pour l'étalonnage des sondes de température des photomètres de référence étalons, qui a été mise en application en mars 2006.

La validation du logiciel OzonE, mis au point par M. W. Bremser (BAM) pour traiter les résultats des comparaisons de mesure d'ozone a été entreprise ; elle est destinée à être utilisée dans les comparaisons clés à venir.

Étude des écarts systématiques et des incertitudes de mesure des photomètres étalons de référence

Les résultats de l'étude des écarts systématiques et des incertitudes de mesure des photomètres étalons de référence, qui s'est achevée en février 2005, ont été présentés officiellement dans un article rédigé en collaboration avec le NIST et soumis à *Metrologia*.

Suite à cette étude, tous les photomètres étalons de référence (SRP) du BIPM sont maintenant équipés d'un dispositif de refroidissement thermoélectrique fabriqué au BIPM, lequel, joint à l'étalonnage des sondes de température, permet d'éliminer les écarts dus aux mesures de température. De plus, un facteur de correction a été introduit dans les résultats de mesure du photomètre SRP27 du BIPM afin de corriger les écarts dus aux mesures du trajet lumineux. Enfin, le photomètre SRP31 du BIPM a été modifié et équipé de fenêtres inclinées. Comme nous l'avions vu précédemment pour le photomètre SRP33, ceci réduit les erreurs d'évaluation de la longueur du trajet lumineux en évitant des reflets multiples sur les surfaces optiques à l'intérieur du photomètre de référence étalon. Le photomètre SRP31 sera inclus dans la comparaison clé en continu à venir, afin de contrôler la stabilité des étalons de référence du BIPM.

Une étude supplémentaire, utilisant un photomètre étalon de référence avec une cellule courte (45 cm au lieu de 90 cm) a été organisée pour étudier l'éventualité de volumes morts dans les cellules de l'instrument, une autre

source potentielle d'erreur dans les résultats de mesure du photomètre de référence étalon. Nous n'avons décelé aucun volume mort.

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

La première étape du projet de mise au point d'un photomètre primaire mesureur d'ozone équipé d'une source de lumière laser est terminée, avec l'acquisition et l'installation d'un laser à argon à fréquence doublée. Des mesures extensives de la puissance et de la longueur d'onde du laser ont démontré qu'il répond aux spécifications techniques exigées du système.

En collaboration avec la section des longueurs du BIPM, des essais préliminaires ont été effectués pour établir un programme de travail détaillé afin de construire le photomètre de référence étalon équipé du laser. Des programmes de contrôle en LabView ont déjà été mis au point pour tous les instruments nécessaires, y compris le photomètre de référence étalon proprement dit.

7.1.2 Équipement pour les étalons primaires de dioxyde d'azote
(M.B. Esler, P. Moussay, A. Rakowska* et M. Segal**)

La construction et le logiciel d'automatisation du module d'échantillonnage à 15 cylindres de l'équipement du BIPM pour les étalons primaires de dioxyde d'azote ont été achevés en août 2005. L'équipement et ses divers composants ont été soumis à une série de tests et d'expériences de validation conduits par Mme Michela Segal (INRIM, Italie) entre septembre et décembre 2005 et par Mme Agata Rakaowska (GUM, Pologne) entre février et avril 2006, pendant leur détachement au BIPM. Les comparaisons de mélanges de dioxyde d'azote préparés de manière dynamique et statique (dans des cylindres) ont été effectuées avec cet équipement ; deux méthodes indépendantes d'analyse du dioxyde d'azote ont été employées, à savoir la chimiluminescence et la spectroscopie infrarouge par transformée de Fourier. Plusieurs conclusions significatives ont été tirées de ces études : a) l'interférence d'autres oxydes d'azote présents à l'état d'impuretés occasionne des difficultés importantes dans l'analyse des mélanges de dioxyde d'azote à environ 10 $\mu\text{mol/mol}$ par chimiluminescence ; b) l'analyse par spectroscopie infrarouge par transformée de Fourier n'est pas affectée par ces effets d'interférence ; c) tous les cylindres étalons de dioxyde d'azote contiennent des niveaux d'impureté étonnamment élevés, principalement d'acide nitrique (HNO_3) ;

* GUM.

** INRIM.

d) les valeurs certifiées des cylindres étalons de dioxyde d'azote sont en désaccord d'environ 10 % par rapport aux valeurs déterminées au moyen de mélanges générés de manière dynamique, ce qui indique des pertes potentielles de dioxyde d'azote sur les faces internes des cylindres. La validation du système du BIPM par rapport aux mélanges de dioxyde d'azote à haute concentration dans des cylindres et d'autres équipements de génération dynamique est envisagée.

7.1.3 Équipement pour le titrage en phase gazeuse (M.B. Esler)

Un équipement pour le titrage en phase gazeuse, fondé sur la technologie des mesures de fluides molbloc/molbox, a été construit en 2004-2005 et a été utilisé pour participer à l'étude pilote CCQM-P28. D'autres améliorations ont été apportées à l'équipement et à la méthode d'analyse des données en 2005-2006. L'équipement pour le titrage en phase gazeuse permet maintenant d'effectuer des mesures d'ozone dans le domaine de fraction molaire le plus bas, compris entre 150 nmol/mol et 800 nmol/mol, tout en maintenant une incertitude-type de mesure d'environ 0,3 %. En 2006 nous avons eu l'opportunité de valider le module de dilution dynamique de l'équipement pour le titrage en phase gazeuse par référence à un étalon indépendant, à savoir un étalon de monoxyde d'azote dans l'azote à environ 700 nmol/mol, qui a été analysé par le NPL et par le KRISS dans le cadre de la comparaison clé CCQM-K26.a. L'analyse faite par le BIPM de cet étalon est en accord avec celle du NPL et du KRISS. La différence de 2 % à 3 % entre les équipements pour le titrage en phase gazeuse du BIPM et du NIES (Japon) et l'approche classique des photomètres de référence étalons, observée tout d'abord pendant l'étude CCQM-P28, reste inexpliquée et devra donc faire l'objet d'une étude future.

7.1.4 Équipement pour les comparaisons d'étalons de monoxyde d'azote (M.B. Esler et P. Moussay)

En octobre 2005, les résultats de plusieurs études de validation des équipements du BIPM pour la mesure du monoxyde d'azote ont été présentés au Groupe de travail du CCQM sur l'analyse des gaz afin d'étayer le projet d'étude pilote sur les étalons de monoxyde d'azote dans l'azote au moyen de la méthode primaire par gravimétrie. L'étude pilote coordonnée par le BIPM, CCQM-P73, a commencé en avril 2006, et des étalons d'une concentration donnée ont été envoyés aux treize laboratoires participants. Chaque participant a préparé deux étalons primaires de monoxyde d'azote dans

l'azote par gravimétrie, dans le domaine compris entre 30 $\mu\text{mol/mol}$ et 70 $\mu\text{mol/mol}$; ces étalons seront analysés à plusieurs reprises au BIPM pendant la période comprise entre août et novembre 2006, 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. C'est la première comparaison directe de l'aptitude des laboratoires nationaux de métrologie à préparer des étalons primaires de gaz réactifs.

7.1.5 Équipement pour la spectrométrie infrarouge par transformée de Fourier (M.B. Esler)

Pendant la période 2005-2006, le programme destiné à développer la spectrométrie infrarouge par transformée de Fourier en tant qu'outil fondamental pour la métrologie des gaz s'est poursuivi. L'équipement pour la spectrométrie infrarouge par transformée de Fourier a joué un rôle important pour étayer les recherches et pour diagnostiquer les problèmes relatifs aux autres équipements pour les gaz réactifs (titrage en phase gazeuse et dioxyde d'azote, en particulier), et en particulier comme test indépendant de la chimiluminescence pour l'analyse du dioxyde d'azote. Des conseils pour la spectroscopie par spectrométrie infrarouge par transformée de Fourier ont été apportés à plusieurs laboratoires nationaux de métrologie cherchant à développer leurs propres équipements dans ce domaine.

7.2 Programme d'analyse organique

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

L'objectif à long terme de ce programme est de permettre au BIPM d'étayer le programme international du CCQM de comparaisons d'analyse de pureté et d'y participer, et de contribuer au développement d'approches et de méthodologies robustes pour la détermination de la pureté. Ceci demandera d'étendre la série de comparaisons CCQM-P20 pour la détermination de la pureté, d'utiliser les équipements de laboratoire du BIPM afin d'étayer ces activités, et d'établir des liaisons internationales afin de soutenir et de promouvoir le programme. Tenant compte des intérêts actuels du CCQM et du JCTLM, des drogues à usage thérapeutique et des hormones non-peptidiques ont été choisies comme substances à analyser pour la suite de la série de comparaisons CCQM-P20. La théophylline et la digoxine ont été considérées comme des matériaux convenant aux premières études. Des recherches sur l'extension de la comparaison à des hormones stéroïdes

importantes du point de vue clinique comme la progestérone, le β -estradiol et la testostérone sont aussi entreprises.

7.2.1 Installation d'équipements pour le laboratoire d'analyse organique

Dans le cadre du programme d'analyse organique de la section de chimie des équipements de mesure de pureté utilisant des procédures robustes pour identifier et estimer la quantité d'impuretés sont en cours d'installation. Un équipement dédié pour la manipulation, le traitement et le stockage à plus large échelle, a été établi. Un réaménagement des laboratoires pour héberger le transfert de matériaux contrôlé par gravimétrie et la préparation avec exactitude de solutions d'étalonnage a débuté ; il devrait s'achever en septembre 2006. En plus des équipements de laboratoire au BIPM, nous ferons appel à des collaborations externes pour des services spécialisés comme la microanalyse élémentaire, l'analyse granulométrique des particules et la spectroscopie par résonance magnétique.

7.2.2 Mise au point de la méthode

La mise au point de la méthode et les études de validation nécessaires, tout d'abord, pour la production et la détermination des échantillons pour l'étude pilote CCQM-P20.e ont été entreprises. Le point central de cette activité est la détermination des caractéristiques de la théophylline et des composés de la structure connexe du groupe xanthine. Les méthodes mises au point à cet effet pendant l'année passé comprennent :

- la chromatographie liquide avec spectroscopie de masse assurant à la fois une identification qualitative des résultats et la quantification de la teneur en xanthine ;
- la chromatographie liquide par ultraviolet avec étalonnage externe, pour déterminer l'homogénéité des deux principaux composants et des impuretés majeures des lots d'échantillons candidats ;
- 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 pour le transfert de l'eau 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.

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) et par analyse thermogravimétrique (pour les impuretés volatiles).

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

En 2005, le Groupe de travail du CCQM sur l'analyse organique a recommandé que le BIPM coordonne les séries à venir de comparaisons de l'étude pilote CCQM-P20. Deux comparaisons ont été approuvées : la comparaison CCQM-P20.e pour la théophylline et la comparaison CCQM-P20.f pour la digoxine. Une présentation du projet préliminaire d'étude pilote CCQM-P20.e a été faite lors de la réunion du groupe de travail en avril 2006. Deux matériaux d'étude devront être distribués à la fin de 2006, l'un composé de théophylline de grande pureté et l'autre contenant des niveaux d'impuretés de structure connexe, définis par gravimétrie. Il sera demandé aux laboratoires participant à l'étude de déterminer la fraction massique de théophylline de chaque matériau et de fournir une estimation de la fraction massique des principales impuretés. De plus, un modèle pour l'identification et la sélection des mesurandes du projet de comparaison clé CCQM-K55 sur l'analyse de pureté a été présenté. Les deux matériaux candidats pour l'étude pilote CCQM-P20.e, sous forme de sous-échantillons de 1 g conservés dans des flacons en verre ambré, ont été produits. Les évaluations de l'homogénéité et les études de stabilité de ces matériaux se déroulent conformément au programme établi ; elles devraient être terminées en septembre 2006. Un matériau de digoxine candidat pour l'étude pilote CCQM-P20.f, sous forme de sous-échantillons de 250 mg conservés dans des flacons en verre ambré, a aussi été produit en collaboration avec le LGC (voir ci-dessous).

7.2.4 Collaborations externes

Le BIPM développe des liaisons internationales avec les laboratoires nationaux de métrologie intéressés, afin de soutenir et de promouvoir son programme. Des collaborations actives ont été établies avec le LGC pour les études sur la théophylline et la digoxine, et avec le NMIJ dans le domaine des hormones stéroïdes.

Une collaboration avec le LGC dans le cadre du programme du BIPM sur l'analyse de pureté de substances organiques sélectionnées, liées à la série de

comparaisons du CCQM d'analyse de pureté de substances organiques, a débuté en 2004. Dans le cadre de cette collaboration, des matériaux de théophylline et de digoxine pour les mesures de l'étude pilote CCQM-P20 ont été préparés par le LGC et ont été transférés au BIPM en août 2005 et février 2006 respectivement.

Une collaboration pour la mise au point de la méthode d'analyse de pureté de matériaux d'hormone stéroïde a débuté en 2004 avec le NMIJ. Le NMIJ a obtenu des lots de 200 g de matériaux de testostérone, de progestérone et de β -estradiol. Ces matériaux seront utilisés pour mettre au point la méthode ; ce sont des échantillons candidats pour le programme de comparaisons du CCQM. Les analyses initiales des matériaux sont effectuées au NMIJ. M. Ihara (NMIJ) a effectué un certain nombre de périodes de détachement au BIPM pour apporter son aide au programme de mise au point de la méthode d'analyse de pureté et il a aussi contribué à la mise au point de méthodes d'analyse calorimétrique différentielle.

7.3 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 du groupe d'examen de la mise en œuvre des Systèmes Qualité ; S. Maniguet coordonne la base de données du JCTLM.

La troisième réunion du Comité exécutif du JCTLM s'est tenue à Orlando (États-Unis) en juillet 2005, lors de la conférence IFCC/AACC, et la quatrième s'est tenue au BIPM en novembre 2005 ; elle a été suivie de la réunion du JCTLM, avec des présentations sur les activités de normalisation des organisations membres et des observateurs. Les matériaux de rang hiérarchique supérieur et les procédures de mesure de référence et approuvés pour le Cycle II ont été publiés dans la base de données du JCTLM en février 2006 ; une troisième série de propositions de matériaux et de procédures a été faite. Une version actualisée du manuel qualité du Groupe de travail 1 du JCTLM a été approuvée par le Comité exécutif et publiée sur le site du JCTLM. Le manuel de procédures du Groupe de travail 2 du JCTLM, sur les réseaux de laboratoires de mesure de référence, a été approuvé et publié, et le premier appel pour proposer des services de mesure de référence des laboratoires a été lancé.

Dans les manuels qualité des deux groupes de travail du JCTLM, il est demandé au secrétariat du JCTLM de coordonner les procédures pour proposer des candidats, ainsi que pour la réception et le traitement initial des

propositions. Les pages Web du JCTLM ont été modifiées et une adresse e-mail pour le secrétariat a été établie (jctlm@bipm.org) afin de faciliter cette procédure.

L'élaboration d'une base de données interrogeable sur l'Internet a débuté en mai 2006, après des consultations approfondies auprès du Groupe de travail 1 du JCTLM, afin de préciser les fonctionnalités et le format requis ; cette base est réalisée par une société extérieure établie en France.

L'application comprendra un module (back-office) à accès restreint destiné au BIPM, avec une base de données et des formulaires administratifs, et un module à accès public (front office), accessible sur les sites Web du BIPM et de l'IFCC à l'adresse <http://www.bipm.org/en/committees/jc/jctlm/jctlm-db/>. Le module interne permettra d'importer les données dans la base de données sous Excel, de créer des fichiers PDF qui seront placés sur le site externe et d'autres fonctionnalités supplémentaires pour un usage interne. Le nouveau site Web de la base de données du JCTLM sera disponible fin 2006. Il a été conçu pour offrir aux utilisateurs un moteur de recherche fondé sur une recherche par mots clés et pour afficher des listes de matériaux de référence et de méthodes et procédures de mesure de rang hiérarchique supérieur.

7.4 Formulation du programme de travail (R.I. Wielgosz)

Afin de préparer la Conférence générale des poids et mesures de 2007, un certain nombre de documents ont été élaborés afin d'aider à formuler le programme de travail de la section de chimie pour les années futures. Un document sur le programme de métrologie en chimie pour les dix prochaines années et ses implications sur le programme du BIPM a été présenté au CIPM en octobre 2005 ; il a par la suite fait l'objet de propositions pour la période 2009-2012 (document CCQM/06-08, en accès restreint). Un questionnaire élaboré au BIPM sur les tendances et les programmes futurs dans les domaines de la métrologie en chimie et en biologie a été distribué aux laboratoires nationaux de métrologie au début de 2006 ; les réponses ont été reçues et analysées en mars 2006. Pour élaborer les propositions du programme de travail pour la période 2009-2012, le BIPM s'est fondé sur :

- les éléments moteurs de haut niveau justifiant son travail, fondés sur l'analyse des besoins scientifiques, sur le point de vue des laboratoires nationaux de métrologie exprimé dans les présentations et dans les groupes de travail du CCQM et lors des visites dans les laboratoires nationaux de métrologie, et sur le programme de travail établi ;

- les réponses de trente-deux laboratoires nationaux de métrologie ou laboratoires désignés au questionnaire de 2006 sur le programme de métrologie en chimie et en biologie ;
- les bénéficiaires potentiels, comme les laboratoires nationaux de métrologie, les organismes internationaux et les communautés d'utilisateurs spécialisés ;
- les résultats que l'on peut attendre de ce travail ; et
- les critères établis par le CIPM pour les programmes du BIPM, y compris leur capacité à offrir une contribution unique.

Les propositions du programme ont été soumises au groupe consultatif du CCQM et au CCQM ; elles ont été révisées pour tenir compte de leurs commentaires. Le groupe consultatif a demandé au BIPM de revoir son programme et de mettre en évidence les thèmes clés prioritaires. Notamment, le travail sur les gaz devrait relever des domaines d'activités sur la qualité de l'air et le changement climatique ; le programme de chimie organique devrait être consacré aux références primaires pour l'analyse organique afin d'étayer les applications dans les domaines de l'alimentation, de la santé et de la médecine légale. Le BIPM devrait développer des activités de liaison mais pas de programme de laboratoire en bioanalyse pour le moment. Les propositions révisées du programme de travail sur la métrologie en chimie pour la période 2009-2012 ont été ensuite regroupées selon trois thèmes majeurs :

- a) Équivalence internationale des étalons de mesure des gaz pour le contrôle de la qualité de l'air et le changement du climat du Globe

Les réglementations nationales établissent des normes sur la qualité de l'air afin de protéger la santé publique et d'éviter de nuire aux animaux, aux récoltes et à la végétation. La mise en place de ces réglementations exige de pouvoir contrôler les niveaux ambiant et d'émission et de comparer les données, exigence qui s'applique aussi au contrôle à long terme et à l'évaluation exacte du transport transfrontalier de polluants.

L'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) a rapporté que les témoignages suggèrent une influence humaine sur le climat du Globe ; la plus grande partie du réchauffement du Globe observée pendant les cinquante dernières années est probablement due à une augmentation de la concentration des gaz à effet de serre. De plus, il est exigé au niveau international d'effectuer davantage d'observations systématiques et

prolongées de ces gaz afin de combler le manque d'information et de mieux comprendre le phénomène.

Les activités et projets dans ce domaine doivent faciliter la démonstration d'équivalence des étalons de mesure des gaz et des aptitudes de mesure maintenus au niveau national, ce qui est un pré-requis pour la comparaison et l'amélioration de la qualité des données pour le contrôle à long terme et les règlements sur les gaz importants pour la qualité de l'air et le changement du climat du Globe.

- b) Références primaires pour l'analyse organique afin d'étayer les systèmes de mesure pour les applications dans les domaines de l'alimentation, de la santé et de la médecine légale

Le commerce international de produits alimentaires ainsi que la reconnaissance internationale des données dans les domaines de la médecine légale et du diagnostic exigent que les résultats de mesure soient comparables. La comparabilité des données peut être réalisée en établissant la traçabilité des systèmes de mesure de référence maintenus au niveau international.

Les activités et les projets sur ce thème doivent faciliter la démonstration de l'équivalence des aptitudes au niveau national pour assigner des valeurs aux solutions d'étalonnage et aux équipements primaires d'étalonnage, afin d'étayer les systèmes de mesure de référence pour la santé, l'alimentation et la médecine légale.

- c) Liaisons internationales et projets de coordination

Les activités et les projets du BIPM dans ce domaine doivent consister à établir et à étayer les projets internationaux en métrologie et les liaisons avec les autres organisations internationales qui bénéficient de l'infrastructure internationale de la métrologie en chimie. Ceci assure la visibilité des infrastructures métrologiques aux niveaux national et international, la promotion des activités conduites sous les auspices de la Convention du Mètre, et facilite l'établissement d'activités au niveau national.

7.5 Activités liées au travail des Comités consultatifs

7.5.1 Comités consultatifs et groupes de travail

R.I. Wielgosz est secrétaire exécutif du CCQM.

M. Esler est membre du Groupe de travail du CCQM sur l'analyse des gaz.

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

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.

7.5.2 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 ;
- CCQM-P73 – Monoxyde d'azote dans l'azote, préparatifs ;
- CCQM-P20.e – Théophylline, analyse de la pureté ;
- CCQM-P20.f – Digoxine, analyse de la pureté.
- CCQM-K55 – Analyse de la pureté.

7.6 Activités en liaison avec des organisations extérieures

R.I. Wielgosz représente le BIPM auprès du groupe d'experts sur les instruments et méthodes d'observation (CIMO) « capacity building » 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 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 rereprésente le BIPM au Groupe de travail *ad hoc* du CIPM sur la métrologie des matériaux.

7.7 Publications, conférences et voyages : section de chimie

7.7.1 Publications extérieures

1. Viallon J. *et al.*, International Comparison CCQM-P28, Ozone at ambient level (Pilot study), *Metrologia*, 2006, **43**, *Tech. Suppl.*, 08000.

2. Griffith, D.W.T., Jamie I., Esler M.B., Wilson S.R., Parkes S.D., Waring C., Bryant G.W., Real-time field measurements of stable isotopes in water and CO₂ by Fourier transform infrared spectrometry, *Isotopes in Environmental Health Studies*, 2006, **42**, 9-20.
3. Josephs R.D., Ulberth F., van Egmond H.P., Emons H., Aflatoxin M₁ in milkpowders: Processing, homogeneity and stability testing of certified reference materials, *Food Addit. Contam.*, 2005, **22**, 864-874.
4. Krska R., Schothorst R.C., van Egmond H.P., Josephs R.D., Lepschy J., Pettersson H., Chan D., Berthiller F., Schuhmacher R., Kandler W., Parich A., Welzig E., Processing and purity assessment of standards for the analysis of type-B trichothecene mycotoxins, *Anal. Bioanal. Chem.*, 2005, **382**, 1848-1858.
5. Jackson C.N., Wielgosz R.I., May W.E., An international effort to achieve comparability of test results, *IVD Technology*, 2006, **12**, 24-25.

7.7.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

M.B. Esler s'est rendu au CENAM, Querétaro (Mexique), du 26 au 28 octobre 2005, pour la réunion du Groupe de travail du CCQM sur l'analyse des gaz.

R. Josephs s'est rendu :

- chez Applied Biosystems, Warrington (Royaume-Uni), du 12 au 15 septembre 2005, pour une formation à l'utilisation de l'équipement API 4000QTrap pour la chromatographie liquide avec spectrométrie de masse ;
- au CSIR, Pretoria (Afrique du Sud), du 5 au 10 novembre 2005, pour participer à la réunion du Groupe de travail du CCQM sur la bioanalyse et à la réunion de SADC MET ;
- au NIST, Charleston (États-Unis), du 29 avril au 6 mai 2006, pour participer au 10^e symposium « Bioanalytical and Environmental Reference Materials » ;
- chez Eli Lilly and Co., Indianapolis (États-Unis), du 20 au 25 mai 2006, pour assister au 8^e « Industry Reference Standard Symposium ».

R. Josephs et S. Westwood se sont rendus à l'IRMM, Geel (Belgique), du 21 au 23 septembre 2005, pour représenter le BIPM à la réunion du Groupe de travail du CCQM sur l'analyse organique.

S. Westwood s'est rendu :

- chez Applied Biosystems, Warrington (Royaume-Uni), du 24 au 27 octobre 2005, pour une formation à l'utilisation de l'équipement API 4000QTrap pour la chromatographie liquide avec spectrométrie de masse ;
- à l'UKAS, Feltham (Royaume-Uni), le 20 février 2006, pour une réunion préliminaire sur l'évaluation future par l'UKAS du LGC pour l'accréditation de la production des matériaux de référence ;
- au LGC, Teddington (Royaume-Uni), du 12 au 14 mars 2006, pour participer à l'évaluation par l'UKAS du LGC, en ce qui concerne l'accréditation de la production des matériaux de référence, conformément au Guide 34:2000 de l'ISO ;
- au NPL, Teddington (Royaume-Uni), les 11 et 12 mai 2006, pour représenter le BIPM à la 1^{re} réunion du Groupe de travail *ad hoc* sur la métrologie des matériaux ;
- à l'ISO, Prague (République tchèque), du 22 au 25 mai 2006, pour représenter le BIPM et le CCQM à la réunion annuelle de l'ISO REMCO.

R.I. Wielgosz s'est rendu :

- au LGC, Teddington (Royaume-Uni), le 13 juillet 2005, pour discuter du programme du BIPM en chimie organique et en bioanalyse ;
- à la réunion AACC, Orlando (États-Unis), du 25 au 28 juillet 2005, pour participer aux réunions du Comité exécutif et du Groupe de travail 2 du JCTLM ;
- à l'université technique de Munich, Freising (Allemagne), du 5 au 8 septembre 2005, pour participer au symposium et à l'atelier qPCR 2005 ;
- à l'IRMM, Geel (Belgique), du 19 au 23 septembre 2005, pour représenter le BIPM aux réunions des groupes de travail 1 et 2 du JCTLM et du Groupe de travail du CCQM sur l'analyse organique ;
- au BAM, Berlin (Allemagne), du 19 au 21 octobre 2005, pour assister à la réunion des groupes de travail du CCQM sur l'analyse inorganique et sur l'analyse électrochimique et pour présenter les propositions du programme du BIPM pour la période 2009-2012 ;

- au CENAM, Querétaro (Mexique), du 26 au 28 octobre 2005, pour la réunion du Groupe de travail du CCQM sur l'analyse des gaz et un atelier, et pour présenter les propositions du programme du BIPM pour la période 2009-2012 ;
- au CSIR, Pretoria (Afrique du Sud), du 5 au 10 novembre 2005, pour participer à la réunion du Groupe de travail du CCQM sur la bioanalyse et pour présenter les propositions du programme du BIPM pour la période 2009-2012 à la réunion de SADC MET et assister à la réunion sur la bioanalyse ;
- au Joint Research Centre des Communautés européennes, à Ispra (Italie), les 17 et 18 novembre 2005, pour assister à la réunion AQUILA et présenter les résultats de l'étude pilote CCQM-P28 ;
- au NPL, Teddington (Royaume-Uni), le 6 janvier 2006, pour discuter des propositions pour le programme du BIPM sur la métrologie des gaz ;
- à Padoue (Italie), du 25 au 27 janvier 2006, pour assister à la réunion du Groupe de travail 2 de l'ISO TC 212 (sur les systèmes de référence) ;
- à Vilnius (Lituanie), du 14 au 17 février 2006, pour assister à la réunion plénière MetChem de l'EUROMET et à celle du Groupe de travail sur l'analyse des gaz et pour présenter les propositions du programme du BIPM pour la période 2009-2012 et les activités du JCTLM ;
- à Prague (République tchèque), du 8 au 10 mars 2006, pour assister à l'atelier d'iMERA pour les pays émergents et pour une présentation rapide des activités de recherche en métrologie en chimie au niveau international ;
- au NIST, Charleston (États-Unis), du 29 avril au 6 mai 2006, pour participer au 10^e symposium « Bioanalytical and Environmental Reference Materials », pour présider la séance sur la détermination de la pureté et de la stabilité des matériaux de référence, et pour une présentation de la base de données du JCTLM ;
- à Madrid (Espagne), les 12 et 13 mai 2006, pour participer à la réunion du groupe consultatif sur l'évaluation des compétences de l'ILAC ;
- à Budapest (Hongrie), les 15 et 16 mai 2006, pour représenter le BIPM au comité CODEX Committee on Methods of Analysis and Sampling (CCMAS) ;

- au DIN, Berlin (Allemagne), du 30 mai au 1^{er} juin 2006, pour participer à la réunion du Groupe de travail 2 de l'ISO TC 212 (sur les systèmes de référence) ;
- à Bruxelles (Belgique), le 7 juin 2006, pour discuter des propositions au sujet du programme du BIPM pour la période 2009-2012 avec A. Herrero et H. Emons.

7.8 Visiteurs de la section de chimie

- M. T. Ihara (NMIJ), du 6 au 10 juin 2005.
- Mme A. Bolden (NMI), les 17 et 18 octobre 2005.
- M. J. Soares-Granja (Applied Biosystems), les 16 et 17 janvier 2006.
- M. F. Malz (BAM), le 29 juin 2006.

7.9 Chercheurs invités

- M. T. Ihara (NMIJ), du 10 octobre 2005 au 10 novembre 2005.
- Mme M. Sega (INRIM), du 5 septembre au 2 décembre 2005.
- Mme A. Rakowska (GUM), du 31 janvier au 27 avril 2006.

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

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

8.1.1 Comparaisons clés et supplémentaires (annexe B de la base de données)

En date du 1^{er} juin 2006, l'annexe B de la base de données recouvrait 680 comparaisons clés et supplémentaires réalisées sous les auspices du Comité international et des organisations régionales de métrologie. Parmi cet ensemble, on comptait alors 543 comparaisons clés. Nous avons enregistré

en moyenne une comparaison clé nouvelle chaque semaine durant l'année qui vient de s'écouler. À cette même date, les résultats d'environ 45 % des comparaisons clés enregistrées étaient publiés dans la base de données.

Les résultats de nouvelles comparaisons bilatérales réalisées entre le BIPM et un certain nombre de laboratoires nationaux de métrologie viennent régulièrement compléter les résultats déjà publiés des comparaisons clés en continu du BIPM. Cela concerne en particulier le domaine de l'électricité (étalons de Josephson à 10 V) et de mesures d'activité de radionucléides réalisées dans le Système international de référence (SIR). De plus, les résultats de la comparaison clé CCTF-K2001.UTC (calcul de l'UTC) sont enrichis chaque mois de nouvelles valeurs. Nous avons aussi enregistré une nouvelle comparaison clé du BIPM, BIPM.QM-K1, de mesure de l'ozone aux niveaux ambiants, subséquente à l'étude pilote CCQM-P28.

Les résultats de 38 comparaisons clés régionales (16 organisées par l'APMP et 22 par l'EUROMET) sont reliés à ceux des comparaisons clés des Comités consultatifs correspondantes ; les jeux complets des degrés d'équivalence sont publiés par l'intermédiaire de la KCDB. Notons que les liaisons ne sont pas calculées de manière quantitative dans le cas de la métrologie dimensionnelle, suite à une décision du 11^e CCL (2003). Des calculs de liens sont aussi réalisés pour 17 comparaisons clés des Comités consultatifs ; onze d'entre elles sont des comparaisons clés d'activité de radionucléides, organisées par la Section II du CCRI et reliées aux comparaisons clés en continu du BIPM effectuées dans le cadre du SIR. Les six autres sont des comparaisons clés bilatérales, subséquentes à des comparaisons clés des Comités consultatifs ; leurs résultats ont été ajoutés dans les graphes d'équivalence correspondants.

Le mesurande défini pour une comparaison clé donnée prend souvent plusieurs valeurs nominales et l'on peut faire varier les paramètres impliqués, tels que la température ou la fréquence. Il s'ensuit que l'ensemble des résultats d'une comparaison clé comprend généralement plusieurs tableaux et graphiques d'équivalence. Par exemple, nous avons publié 43 tableaux de valeurs et 43 graphiques pour couvrir l'ensemble des résultats de la comparaison clé CCT-K1. Ainsi, l'annexe B de la KCDB met à disposition actuellement environ 680 graphiques montrant l'équivalence entre les étalons maintenus par les laboratoires participant à l'Arrangement du CIPM.

L'entrée de résultats dans l'annexe B de la base de données représente un effort continu et intense. Quand nous recevons un rapport de comparaison nouvellement approuvé, nous le plaçons dans la file d'attente pour la publication. Six nouveaux rapports se trouvent ainsi en permanence dans la

file, si bien que les délais de publication peuvent atteindre plusieurs semaines. Ceci est une situation nouvelle due à la quantité toujours croissante de résultats prêts à être publiés, en particulier les valeurs nouvelles à ajouter aux comparaisons clés en continu.

8.1.2 Aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages « CMCs » (annexe C de la base de données)

L'annexe C de la base de données contenait exactement 18 306 CMCs le 24 mai 2006, distribuées comme suit :

- 11 553 en physique générale,
- 3 194 en rayonnements ionisants et
- 3 559 en chimie.

Le site Web de la KCDB fournit le détail du nombre de CMCs publiées par domaine de métrologie et par pays (*voir* le paragraphe 8.3 ci-dessous).

Suite à une décision du JCRB, lors de sa 14^e réunion tenue en mai 2005, nous avons dû supprimer de la base de données les CMCs qui n'étaient pas couvertes par des Systèmes Qualité approuvés. Cette action, mise en œuvre en juillet 2005, a conduit à la suppression de 723 CMCs (79 de l'APMP, aucune de COOMET, 5 de l'EUROMET, 94 de SADC MET et 545 du SIM) appartenant à divers domaines de métrologie. En octobre 2005, SADC MET a entériné les Systèmes Qualité étayant ses CMCs supprimées et toutes ont été immédiatement réinsérées dans la base de données. En avril 2006, dans son rapport lors de la 16^e réunion du JCRB, le SIM a confirmé que 119 des CMCs supprimées pouvaient être publiées à nouveau puisqu'elles sont maintenant couvertes par des Systèmes Qualité appropriés. Cela fut fait en mai 2006.

En plus de la publication des données nouvellement approuvées, nous poursuivons un travail quotidien de révision des CMCs déjà publiées, afin de répondre aux demandes de petites corrections (souvent de nature éditoriale, par exemple les noms de laboratoires), de changements mineurs (augmentation des valeurs d'incertitude, réduction des domaines de mesures etc.) et de suppression de certaines CMCs (services qui ne sont plus offerts aux clients).

8.2 Visites au site de la KCDB, et la faire connaître

(S. Maniguet et C. Thomas)

Le site de la KCDB a été visité environ 11 100 fois mensuellement, depuis l'extérieur, pendant les premiers mois de l'année 2006, nombre à comparer aux 8 600 connexions observées en mars 2005.

Le nombre de visites à l'annexe B est stable depuis avril 2005 au niveau de 2 300 connexions par mois. Il est clair que l'annexe B est faite « par les laboratoires nationaux de métrologie pour les laboratoires nationaux de métrologie », et il semble bien que nous ayons réussi à attirer ce public-là.

Le nombre de visites à l'annexe C croît continûment depuis ses débuts. Il reste toutefois très difficile d'identifier les visiteurs : plus de 70 % des connexions proviennent de fournisseurs d'Internet.

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 notre site Web durant des ateliers et des congrès. Les numéros 4 et 5 de la « *KCDB Newsletter* » ont été publiés le 6 décembre 2005 et le 8 juin 2006. Ce bulletin est bon outil de communication pour certaines affaires liées à l'Arrangement du CIPM ou au JCRB, et toute autre nouvelle concernant le contenu des annexes B et C.

8.3 Une nouvelle page dans le site de la KCDB (C. Thomas)

Depuis le 23 janvier 2006, le site de la KCDB est pourvu d'une nouvelle page qui donne accès aux « *KCDB Newsletters* », ainsi qu'à un certain nombre de données statistiques sur le contenu de la base de données.

8.3.1 Accès aux « *KCDB Newsletters* »

En plus de l'accès à la série complète des « *KCDB Newsletters* », cette page propose un lien au dernier numéro, par l'intermédiaire d'une adresse URL absolue et permanente. Ainsi, toute référence à la « *KCDB Newsletter* » sur un site extérieur est automatiquement mise à jour. Ceci a été mis en place suite à une demande de Boeing Commercial Group et nous espérons que les laboratoires nationaux de métrologie, ainsi que les organismes de réglementation, de normalisation et d'accréditation pourront aussi en profiter.

8.3.2 Données statistiques

Cette partie de la nouvelle page apporte quelques réponses aux questions qui nous sont posées le plus fréquemment. Elle indique le nombre de comparaisons clés et supplémentaires à la volée, si bien que cette information est toujours juste. Elle donne aussi accès à trois fichiers .pdf, chacun daté : deux d'entre eux sont des graphiques illustrant la participation des pays dans les comparaisons clés et supplémentaires (ils sont mis à jour tous les six mois), l'autre est un tableau montrant le nombre de CMCs déclarées pour chaque domaine de métrologie et par chaque pays, et réellement publiées dans la base de données (celui-ci est mis à jour à chaque modification du contenu de l'annexe C).

8.4 Un nouveau moteur de recherche pour le site de la KCDB

(L. Le Mée, J. Miles et C. Thomas)

Certains utilisateurs nous ont fait savoir qu'il est parfois difficile de rechercher des informations contenues dans l'annexe C de la base de données. 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.

Afin d'améliorer précisément cette situation, et aussi pour améliorer plus généralement la visibilité du BIPM sur Internet, un petit groupe composé de trois membres du personnel du BIPM (la responsable du contenu du Web, le responsable des systèmes d'information et la coordinatrice de la KCDB) 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. Ce logiciel est en cours d'implantation sur le site de l'annexe C de la KCDB sous une forme prototype. Il apparaît déjà que l'accès direct à l'information est beaucoup plus facile. Par exemple, il est possible de trouver toutes les CMCs contenant un mot donné, puis de raffiner la recherche grâce à des options proposées de manière dynamique (localisation géographique, laboratoire, matériaux chimiques, domaine de la

physique etc.). Nous espérons être en mesure de proposer cela sur Internet avant la fin de l'année 2006.

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

C. Thomas s'est rendue à :

- l'Institut de France, Paris (France), les 6 décembre 2005, 24 janvier 2006, 2 mai 2006 et 14 juin 2006, pour des réunions du Groupe de travail de l'Académie des sciences « Unités de base et constantes fondamentales » ;
- Reading (Royaume-Uni), les 17 et 18 novembre 2005, pour une réunion éditoriale pour le projet de 8^e édition de la Brochure sur le SI avec I.M. Mills ;
- Berlin (Allemagne), les 20 et 21 avril 2006, pour assister à la 16^e réunion du JCRB ;
- Trappes (France), le 24 avril 2006, pour une présentation de la base de données du BIPM sur les comparaisons clés au LNE ;
- Paris (France), le 17 mai 2006, pour assister à la première réunion du Groupe de travail du LNE « Mathématiques et statistiques pour la métrologie ».

8.6 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 remplit les fonctions de Secrétaire scientifique du Groupe de travail de l'Académie des sciences « Unités de base et constantes fondamentales ». Elle est aussi membre du Groupe de travail du LNE « Mathématiques et statistiques pour la métrologie ».

8.7 Activités liées au travail des Comités consultatifs

C. Thomas est secrétaire exécutive du CCU et a participé à la préparation de la 8^e édition de la Brochure sur le SI, aux résumés de la Brochure et à la microbrochure (au format carte de crédit). Elle est membre des groupes de travail du CCEM sur les projets de modifications au SI (CCEM WGSI) et sur la coordination des organisations régionales de métrologie (CCEM WGRMO), membre du Groupe de travail *ad hoc* du CCM sur les

changements au 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 du CCRI sur les CMCs, les 1^{er} et 2 septembre 2005 ;
- Groupe de travail du CCL sur la métrologie dimensionnelle, les 12 et 13 septembre 2005 ;
- Groupe de travail commun au CCL et au CCTF, le 14 septembre 2005 ;
- 12^e session du CCL, les 15 et 16 septembre 2005 ;
- 15^e réunion du JCRB, le 28 septembre 2005 ;
- réunion des directeurs, les 29 et 30 septembre 2005 ;
- 94^e session du CIPM (en partie), les 5 et 6 octobre 2005 ;
- 18^e session du CCPR, les 25 et 26 octobre 2005 ;
- 2^e réunion commune aux organisations régionales de métrologie et aux organisations régionales d'accréditation, les 8 et 9 mars 2006 ;
- Groupe de travail 2 (VIM) du JCGM, du 13 au 17 mars 2006 ;
- 12^e session du CCQM, les 6 et 7 avril 2006 ;
- 16^e réunion du JCRB, les 20 et 21 avril.

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 12^e session du CCQM, les 6 et 7 avril 2006.

8.8 Visiteurs pour la KCDB

- M. M. Himbert (LNE-INM), le 18 janvier 2006.
- Mme J. Decker et M. A. Steele (NRC), le 18 avril 2006.
- M. M. Tanaka (NMIJ), le 25 avril 2006.

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

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

Depuis plusieurs années, les termes « meilleure aptitude de mesure » et « aptitude en matière de mesures et d'étalonnages » créent 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. Le JCRB, lors de sa réunion en avril 2006, a examiné cette question et débuté une collaboration avec l'ILAC afin d'harmoniser le vocabulaire.

9.2 Logo de l'Arrangement du CIPM

Il existe maintenant un logo pour l'Arrangement du CIPM ; il peut être inclus, à la demande des intéressés, dans les certificats d'étalonnage et de mesurage des laboratoires nationaux de métrologie et



des laboratoires désignés participant à l'Arrangement du CIPM. Le but de l'utilisation, volontaire, de ce logo est d'attirer l'attention de leurs clients, et des autres parties intéressées, sur la reconnaissance, par tous les autres signataires de l'Arrangement du CIPM, de la validité des certificats portant ce logo. Un document du CIPM (CIPM/06-04) fournit les directives pour l'utilisation de ce logo ; il est accessible sur le site consacré à l'Arrangement du CIPM (à l'adresse : <http://www.bipm.org/en/cipm-mra/logo/>). Seul le directeur d'un laboratoire national de métrologie ou d'un laboratoire désigné, intéressé par l'utilisation de ce logo, peut en faire la demande au directeur du BIPM. Une liste des laboratoires nationaux de métrologie et des laboratoires désignés dûment habilités à utiliser ce logo sera publiée sur le site consacré à l'Arrangement du CIPM.

9.3 Critères pour le choix des pairs habilités à faire l'audit du Système Qualité et des CMCs 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 Qualité conforme aux directives du JCRB ([JCRB-10/8\(1c\)](#), http://www.bipm.org/utills/common/documents/jcrb/quality_systems.pdf), 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 ([JCRB-14/06\(2a\)](#), http://www.bipm.org/utills/common/documents/jcrb/AppC_criteria.pdf).

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 (JCRB-16/09) présente des recommandations pour les visites sur site par les pairs et les critères de sélection des examinateurs. Ce nouveau 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.

9.4 Date limite pour la mise en place de Systèmes Qualité dans le domaine de la métrologie en chimie

La date limite pour la mise en place de Systèmes Qualité servant à étayer les CMCs dans le domaine de la métrologie en chimie était fixée au 31 décembre 2005. Les organisations régionales de métrologie ont ensuite transmis les listes de leurs CMCs dans ce domaine et il leur a été demandé de déclarer quelles sont les références normatives correspondant à chaque entrée. Ils ont à choisir entre rien, la norme ISO/CEI 17025, la norme ISO/CEI 17025 et le Guide 34 de l'ISO, ou un Système Qualité équivalent. Les CMCs qui ne sont pas étayées par un Système Qualité seront retirées de la KCDB jusqu'à ce qu'elles soient couvertes par un Système Qualité approprié. Seules les CMCs associées à un matériau de référence certifié doivent être couvertes par le Guide 34 de l'ISO en plus de la norme ISO/CEI 17025. Lorsque les CMCs sont étayées par un Système Qualité équivalent, il faut déclarer quelle est la norme utilisée.

Nous espérons que toutes les organisations régionales de métrologie auront déclaré ces différents éléments avant la 96^e session du CIPM en octobre 2006.

9.5 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) se sont réunis au BIPM le 10 mai 2006. À cette occasion, chaque membre du JCDCMAS a présenté brièvement les activités de son organisation destinées à améliorer les infrastructures de la métrologie, de l'accréditation et de la normalisation dans les pays en voie de développement pendant les douze mois précédents. L'ISO a publié une brochure (http://www.bipm.org/utis/en/pdf/ISO_JCDCMAS_Brochure.pdf) afin de promouvoir les activités du JCDCMAS auprès du monde extérieur. Le groupe s'est aussi mis d'accord sur un article publié dans le magazine ISO *Focus* (2006, 3, 8-10), dédié à la métrologie et aux essais.

Le secrétariat du JCDCMAS a été transféré de l'OIML à l'UNIDO (le secrétaire exécutif est O. Loesener Díaz). L'UNIDO devrait continuer à en assurer le secrétariat jusqu'en mars 2007.

9.6 Publications, conférences et voyages : JCRB

9.6.1 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)

Ces documents sont disponibles à l'adresse :

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

1. Rapport de la 14^e réunion du JCRB, [JCRB-14/12](#).

à l'adresse : <http://www.bipm.org/utis/common/pdf/JCRB14.pdf>

2. Au sujet des services offerts aux États et entités économiques associés à la Conférence générale et de leur participation à l'Arrangement du CIPM, [CIPM/05-05](#).
3. L'Arrangement du CIPM, Document d'interprétation de 2005, [CIPM/05-06REV](#).
4. Les laboratoires nationaux de métrologie et les laboratoires désignés, [CIPM/05-07](#).

5. Directives pour l'acceptation des matériaux de référence certifiés dans l'annexe C de l'Arrangement du CIPM, [CIPM/05-08](#).
6. Mesures sous contrat dans le cadre de l'Arrangement du CIPM, [CIPM/05-09](#).
7. Directives pour l'utilisation du logo de l'Arrangement du CIPM, CIPM/06-04.

9.6.2 Révision des documents sur l'Arrangement du CIPM

Ces documents sont disponibles à l'adresse :

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

1. Critères révisés pour l'acceptation des résultats pour l'annexe C, JCRB-14/06(2a).

9.6.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

P. Espina s'est rendu :

- à Braunschweig (Allemagne), les 17 et 18 août 2005, pour une réunion avec M. E.O. Göbel et pour une visite du Département de la coopération technique de la PTB ;
- au BIPM, le 27 septembre 2005, pour une réunion du groupe du SIM sur les mesures de débit de fluides ;
- au BIPM, le 28 septembre 2005, pour la 14^e réunion du JCRB ;
- au BIPM, les 29 et 30 septembre 2005, pour la réunion des directeurs ;
- à Vienne (Autriche), le 30 novembre 2005, pour participer à l'UNIDO Trade Capacity-Building Event « The UEMOA Experience and the UNIDO/WTO Joint Programme » ;
- à Gaithersburg (États-Unis), le 7 décembre 2005, pour une présentation invitée au Measurement Services Advisory Group du NIST et pour des réunions avec d'autres membres du personnel du NIST ;
- au BIPM, les 8 et 9 mars 2006, pour la deuxième réunion commune aux organisations régionales de métrologie et aux organismes d'accréditation au niveau régional ;
- au BIPM, le 10 mars 2006, pour une réunion du JCDCMAS ;

- à Montevideo (Uruguay), le 21 mars 2006, pour des réunions avec M. V. Francolino (secrétaire adjoint au ministère des Affaires étrangères) et avec M. J. Silveira Noble (directeur général du LATU) et pour une visite des laboratoires de métrologie du LATU ;
- à Buenos Aires (Argentine), les 22 et 23 mars 2006, pour une réunion du Quality System Task Force du SIM ;
- à Berlin (Allemagne), les 20 et 21 avril 2006, pour la 15^e réunion du JCRB ;
- à Querétaro (Mexique), du 16 au 18 mai 2006, pour une présentation invitée au 6^e symposium international sur les mesures de débit de fluides ;
- à Mexico City (Mexique), le 19 mai 2006, pour une présentation invitée lors de la célébration de la Journée mondiale de la métrologie au ministère de l'Économie du Mexique ;
- à Manama (Bahrein), du 29 au 31 mai 2006, pour participer à la « Middle East Measurement Conference » et pour des réunions avec Son Excellence H.A. Fakhro (ministre de l'Industrie et du Commerce du Bahrein) ; avec M. A.I. Bubshait (sous-secrétaire adjoint chargé de la protection des normes et des consommateurs au ministère de l'Industrie et du Commerce) ; M. R. Bin-Fahad (secrétaire général, GCC Standardization Organization, GSO) ; et pour participer à une réunion de la GSO.

9.7 Activités liées au travail des Comités consultatifs

P. Espina a participé aux réunions suivantes :

- Groupe de travail du CCRI sur les CMCs des organisations régionales de métrologie, les 1^{er} et 2 septembre 2005 ;
- Groupe de travail du CCPR sur les CMCs, les 24 et 25 octobre 2005 ;
- Groupe de travail du CCQM sur les comparaisons clés, le 3 avril 2006 ;
- Groupe de travail du CCM sur le débit de fluides, le 15 mai 2006.

9.8 Visiteurs pour le JCRB

- Mme A. Sirohi, M. P.A. Krishnamoorthy et M. M. Ravi Kanth (Service de la métrologie légale, ministère indien de la Consommation), le 12 mai 2006.

10 SYSTÈME QUALITÉ ET RELATIONS AVEC L'ISO ET L'ILAC (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 2005, tous les services intégrés au Système Qualité ont subi un audit interne. En 2006, la deuxième série d'examens sur site, par les pairs, des services de mesure du BIPM, prévue tous les trois ans, est en cours. Cette série d'examens sera terminée à la fin de 2006. Les audits conduits à ce jour sont 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.

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

Les étalons de mesures physiques et chimiques utilisés dans le cadre du système métrologique mondial sont étroitement liés à de nombreuses normes techniques internationales, en particulier quand les mesures doivent démontrer leur conformité au SI. Le travail du BIPM est étroitement lié à celui d'autres organismes internationaux poursuivant des buts similaires. Nous continuons donc à suivre de près les activités de l'ISO, de l'ILAC et d'autres organisations, en particulier celles concernées par la préparation et la mise au point de nouvelles normes ou par la révision de normes existantes liées à la métrologie.

La déclaration commune à l'ILAC et au CIPM sur « Les rôles et les responsabilités des laboratoires nationaux de métrologie et des organismes d'accréditation reconnus au niveau national » a été approuvée et signée par

ces deux partenaires et a été diffusée auprès d'organisations extérieures ainsi que sur le site Web du BIPM. Une déclaration tripartite commune au BIPM, à l'OIML et à l'ILAC à propos de l'intérêt des divers accords internationaux sur la métrologie pour le commerce, la législation et la normalisation a aussi été approuvée, signée et publiée.

Les réunions bilatérales entre le BIPM, l'ILAC et l'OIML, respectivement, ainsi que la réunion trilatérale entre ces trois organisations, ont lieu régulièrement. Une publication commune au BIPM et à l'OIML sur la métrologie est en cours de préparation ; ce document est destiné aux non-spécialistes de la métrologie.

10.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) : Système Qualité et relations avec l'ISO et l'ILAC

R. Köhler s'est rendu à Genève (Suisse), le 14 novembre 2005, au secrétariat central de l'ISO, pour le Groupe de travail 23 de l'ISO, et les 17 et 18 novembre 2005, pour la réunion plénière de l'ISO CASCO.

11 PROJETS SPÉCIAUX (M. STOCK)

11.1 Condensateur calculable (F. Delahaye, R. Goebel, V. Nalivaev*, J. Sanjaime, M. Stock et L. Vitushkin)

Le projet commun au BIPM et au NMIA (Australie) pour la mise au point de deux condensateurs calculables, ayant des incertitudes relatives de l'ordre 1×10^{-8} , se poursuit.

Nous avons découvert que l'un des défis majeurs de ce projet est la fabrication des barres constituant les électrodes, qui doivent être cylindriques à environ 100 nm près, sur une longueur de presque 50 cm. Obtenir des variations du profil d'amplitudes inférieures à 200 nm a pris beaucoup de temps. Récemment, cependant, une procédure spéciale de polissage localisé et de rodage avec un papier abrasif très fin a permis au NMIA d'atteindre

* Chercheur invité.

l'objectif de 100 nm ; la production des barres constituant les électrodes commencera donc bientôt.

La conception d'un interféromètre destiné à réduire les erreurs dues à la diffraction a été proposée par les collègues du NMIA. L'atelier d'optique du NMIA a fabriqué les miroirs convexes et concaves nécessaires à ce projet ; leur rayon de courbure est très grand. Un prototype de l'interféromètre proposé a été élaboré au BIPM afin de vérifier les performances du système et d'entreprendre les études nécessaires pour quantifier les incertitudes.

L'atelier du BIPM a fabriqué les outils d'alignement nécessaires à l'assemblage de l'électrode de garde inférieure, l'électrode de garde supérieure et l'assemblage de la vis-mère. Le travail sur cinq autres parties se poursuit.

Une nouvelle cuve à iode compacte, nécessaire pour asservir la longueur d'onde des lasers à Nd:YVO₄ à fréquence doublée, a été mise au point et fabriquée par une société extérieure. Deux cuves ont été remplies d'iode au BIPM ; la qualité du remplissage et du verre constituant la cuve à iode a été vérifiée par fluorescence. Les cuves ont ensuite été insérées dans le laser afin de vérifier le système entier au VNIIM. Le premier laser complet devrait arriver prochainement au BIPM.

11.2 Balance du watt (H. Fang, A. Picard, M. Stock et T.J. Witt)

Nous avons poursuivi nos activités sur le circuit magnétique, le contrôle de la vitesse et l'alignement de la suspension de la balance, ainsi que sur la verticalité du faisceau laser de l'interféromètre.

Une étude entreprise avec l'aide d'une société d'engineering externe a permis de déterminer les caractéristiques principales du circuit magnétique. L'idée fondamentale est que l'entrefer et les aimants seront entourés d'une structure en fer doux, formant un circuit magnétique fermé, afin que la bobine dans l'entrefer soit bien protégée des perturbations magnétiques externes. De plus, la haute symétrie du circuit magnétique devrait améliorer la distribution du flux dans l'entrefer. Ce système sera toutefois difficile à réaliser parce que l'uniformité requise du champ magnétique dans l'entrefer demande une tolérance mécanique des pièces des pôles de l'ordre du micromètre. Nous avons recherché des compagnies capables de satisfaire à cette contrainte et nous sommes actuellement en contact avec le département de machines-outil d'une université technique allemande. La construction d'un système à aimant plus simple est terminée ; il sera utilisé en attendant que le système définitif soit disponible.

La suspension de la balance, incluant un moteur électrostatique pour le déplacement de la bobine, a été assemblée. Elle a été équilibrée afin d'avoir une stabilité et une sensibilité suffisantes. Le système est équipé de deux détecteurs sensibles à la position afin de mesurer le mouvement vertical et horizontal de la suspension, ainsi que de miroirs plans et de lentilles pour repérer l'inclinaison et la rotation de la bobine. Les premières mesures du mouvement horizontal pendant un déplacement vertical ont été réalisées.

La mise au point de l'asservissement de la position et de la vitesse de la bobine, par application de hautes tensions variables aux deux électrodes du moteur électrostatique, a débuté. Le système fonctionne en circuit fermé au moyen d'un asservissement numérique à actions proportionnelle, intégrale et dérivée. La force électrostatique varie en fonction du carré de la tension et du carré de l'inverse de la distance entre les électrodes mobiles à haute tension et l'électrode centrale à la terre. Le comportement quadratique en fonction de la tension peut être linéarisé en appliquant une tension identique aux deux électrodes à haute tension et en y superposant des tensions de contrôle opposées. Les difficultés liées au comportement non-linéaire en fonction de la distance ont été réduites en augmentant la distance entre les électrodes et en utilisant de petites plages dans lesquelles le système se comporte de manière quasi linéaire.

Nous sommes maintenant capables de contrôler la position de la bobine dans tout le domaine de déplacement ; toutefois le système a encore besoin d'être optimisé. La force électrostatique nécessaire pour entraîner la bobine sur la totalité de son déplacement n'est que d'environ 20 mN, ce qui montre la sensibilité du dispositif. L'ensemble a en effet été conçu pour éviter les frictions. Le contrôle de la vitesse à environ 0,2 mm/s près a été réalisé au moyen d'un détecteur sensible à la position, mais le bruit observé est relativement élevé. Celui-ci est lié au fait que les lectures de position données par le détecteur ne sont pas chronométrées. Récemment, nous avons intégré l'interféromètre au dispositif, ce qui nous permettra de mieux asservir la position.

Nous avons commencé à vérifier les performances de notre interféromètre hétérodyne du commerce. Les fréquences des deux composantes du faisceau polarisées orthogonalement ont été étalonnées au BIPM. La qualité optique de l'interféromètre a été évaluée par autocollimation et par une méthode qui combine une lentille et un analyseur de faisceau. L'écart angulaire entre les faisceaux de mesure et de référence était inférieur à 0,01 mrad, ce qui introduit une erreur de diffraction négligeable. Nous avons obtenu un écart angulaire significatif du faisceau transmis par rapport au faisceau incident

d'environ 0,2 mrad. Il est donc nécessaire d'effectuer un alignement vertical du faisceau de mesure entre l'interféromètre et la bobine en mouvement. Un système optique nous permettant d'aligner le faisceau verticalement par rapport à la pesanteur locale a été mis au point. Un miroir est utilisé comme référence horizontale, miroir dont l'orientation est d'abord alignée au moyen d'un bain de mercure puis contrôlée au moyen de deux niveaux à bulle très sensibles. Des mesures préliminaires de la vitesse de la bobine en mouvement sont en cours, en utilisant l'interféromètre au lieu du détecteur sensible à la position.

La fabrication de la première bobine, enroulée sur un support plastique, a débuté. Le fil doit être enroulé aussi parfaitement que possible afin de réduire les tensions induites, dues à une rotation particulière de la bobine. Ceci est difficile parce qu'il faut obtenir au total environ 1200 tours de fil sur une trentaine de couches. Différentes méthodes pour les enrouler et coller les fils ont été essayées.

Un solénoïde de haute précision servira de référence magnétique pour l'alignement horizontal de la bobine et de l'aimant. Le solénoïde sera orienté horizontalement en minimisant l'induction mutuelle avec une bobine plate, usinée à partir d'une plaque de verre dorée. La bobine plate est elle-même positionnée horizontalement par comparaison optique avec un miroir en mercure liquide. Le solénoïde doit avoir un diamètre d'au moins 50 cm et une longueur d'au moins 1,20 m. Des solénoïdes de ce type ont été préalablement utilisés pour des mesures du rapport gyromagnétique du proton dans un champ faible. Nous explorons actuellement la possibilité d'obtenir une bobine de ce type auprès d'un laboratoire national de métrologie.

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

A. Picard, M. Stock et S. Solve se sont rendus au NIST, Gaithersburg (États-Unis), du 2 au 4 novembre 2005, pour participer à la réunion technique sur les balances du watt. M. Stock et A. Picard y ont présenté la balance du watt du BIPM.

A. Picard et M. Stock se sont rendus à la Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule, Aix-la-Chapelle (Allemagne), le 7 avril 2006, pour présenter le BIPM et le projet sur la balance du watt et pour discuter d'une collaboration à propos de la fabrication de l'aimant.

11.4 Visiteurs pour les projets spéciaux

- Une délégation du NIM et du ministère des Sciences et de la Technologie (Chine), le 29 septembre 2005, pour voir la balance du watt : M. Tong Guangqiu (directeur général du NIM), Mme Song Shuying (directeur adjoint du département des sciences et de la technologie du NIM), MM. Fang Zhanjun et Ji Wangxi (métrologistes), Mme Dong Liya (directeur du département du planning, ministère des Sciences et de la Technologie).
- Les participants à l'atelier de l'OMM sur la métrologie, organisé par Météo France, le 21 octobre 2005, pour voir la balance du watt.
- MM. B. Wood (NRC) et Ed. Williams (NIST), le 7 mars 2006, pour voir la balance du watt.
- Mme A. Sirohi (secrétaire, département indien de la consommation), M. P.A. Krishnamoorthy (directeur du service de la métrologie légale indienne), M. M. Kanth (contrôleur, service de la métrologie légale indienne) ; Mme M. Stoldt et M. M. Kaiser (PTB), le 15 mai 2006, pour voir la balance du watt.
- M. I. Robinson (NPL), le 18 mai 2006, pour une discussion sur les balances du watt.
- MM. C. Zeppenfeld, A. Pampus et S. Witt (Rheinische Westfälische Technische Hochschule, Aix-la-Chapelle), le 14 juin 2006, pour discuter d'une collaboration pour la fabrication de l'aimant.

12 PUBLICATIONS ET INFORMATIQUE (J. WILLIAMS)

12.1 Rapports du CIPM et de ses Comités consultatifs

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

Depuis juillet 2005 ont été publiés :

- *Procès-verbaux du Comité international des poids et mesures*, 93^e session (2004), 2005, 72, 234 p.
- *22^e Conférence générale des poids et mesures (2003)*, 2005, 449 p.

- *Évolution des besoins dans le domaine de la métrologie pour le commerce, l'industrie et la société et le rôle du BIPM (2003)*, 2005, 144 p.
- *Brochure sur le SI*, 8^e édition, 2006, 180 p.
- *A concise summary of the International System of Units, the SI*, 2006, 4 p.
- *Résumé de la Brochure sur le Système international d'unités, le SI*, 2006, 4 p.
- *Pocket-size version of the SI Brochure* (microbrochure), 2006, 2 p.
- *Rapport du directeur sur l'activité et la gestion du Bureau international des poids et mesures (2005)*, 2006, 6, 288 p.

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

Suite à la décision du Comité international des poids et mesures lors de sa 92^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.

12.2 8^e édition de la Brochure sur le SI (D. Le Coz, C. Thomas et J. Williams)

La 8^e édition de la Brochure sur le SI a été publiée le 20 mai 2006, pour la Journée mondiale de la métrologie 2006. Cette brochure bilingue de 180 pages est complétée de deux résumés différents, pour une plus large distribution : un résumé de 4 pages, en français et en anglais, et une microbrochure de deux pages (dépliant recto-verso) en anglais.

12.3 *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, deux numéros spéciaux de *Metrologia* ont été publiés : des articles importants de la 4^e Conférence internationale du CCM « Pressure Metrology from Ultra-High Vacuum to Very High Pressure » ont été publiés dans le volume 42(6) et des articles importants de la 9^e « International Conference on New Developments and Applications in Optical Radiometry – NEWRAD 2005 » ont été publiés dans le volume 43(2).

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
FI	0,820	0,945	0,842	0,983	1,314	1,479

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* prend de l'expansion, avec 43 résumés publiés en 2005, 17 sont déjà en ligne en 2006 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 de mieux en mieux.

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

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

Le site Web du BIPM continue à croître, par son contenu et les services offerts, et par le nombre de connexions.

Le site Web est notre principal moyen de communication avec la communauté des métrologistes dans le monde ; il héberge les documents de travail de plus de soixante groupes différents (y compris le CIPM, ses Comités consultatifs et un grand nombre de leurs groupes de travail, ainsi que ceux des sites dédiés aux directeurs des laboratoires nationaux de métrologie des États membres de la Convention du Mètre et des Associés à la Conférence générale). En tout, il y a maintenant presque 4 000 documents, dont 800 en accès libre, ce qui représente 2,4 Goctets d'espace disque. Le forum de discussion du BIPM compte plus d'une centaine d'utilisateurs enregistrés, même si les principaux clients sont toujours les groupes de travail du CCT sur les CMCs et sur les comparaisons clés (Groupes de travail 7 et 8 du CCT). Les utilisateurs individuels peuvent s'abonner ou se désabonner aux différents thèmes de discussion.

Le petit groupe de travail composé de M. Le Mée (cellule informatique), Mme Miles (webmaster) et Mme Thomas (coordonnatrice de la KCDB), a terminé son étude de prospection d'un nouveau moteur de recherche. L'installation du moteur de recherche choisi, EXALEAD, est en cours. Il est prévu de le mettre en service fin 2006, pour le site Web, la KCDB et pour les sites Web des laboratoires nationaux de métrologie qui participent à l'Arrangement du CIPM.

Dans le cadre du projet en cours pour collationner les informations sur le riche héritage du BIPM, M. Fouzi Khababa, un étudiant en doctorat, a rédigé de brefs textes explicatifs sur une quarantaine d'instruments historiques du BIPM. Les instruments et les textes sont exposés dans la salle du niveau +1 du Nouveau Pavillon. Un tableau des membres du CIPM depuis 1875 a été préparé avec l'aide de Mme Saillard ; il peut être téléchargé sur le site Web du BIPM à l'adresse <http://www.bipm.org/utills/fr/pdf/CIPM-history-FR.pdf>.

Un des nouveaux services ajouté cette année est une base de données des certificats émis par le BIPM depuis 2000, dans laquelle on peut effectuer des recherches par année, par section scientifique ou par État.

La 8^e édition de la Brochure sur le SI a été publiée en ligne dans son intégralité en mai 2006, en HTML et sous forme de fichiers .pdf (à l'adresse : http://www.bipm.org/fr/si/si_brochure/). La publication a coïncidé avec la Journée mondiale de la métrologie ; à cette occasion une nouvelle section a été ajoutée sur le site Web à la rubrique « Convention du Mètre », dédiée aux

messages annuels du directeur du BIPM. Les notes sur les Résolutions de la Conférence générale publiées dans la Brochure sur le SI accompagnent les Résolutions sur le site Web (à l'adresse : <http://www.bipm.org/en/convention/cgpm/>).

Le groupe informatique a installé un réseau sans fil pour l'accès à l'Internet sur le site du BIPM. Les salles de réunion du BIPM ont été équipées d'antennes « Wifi » afin de permettre aux visiteurs d'accéder à l'Internet après s'être authentifiés. Ce nouveau système a été bien accueilli par les visiteurs du BIPM et il est largement utilisé.

Afin de répondre à la demande croissante des membres du personnel d'avoir accès à distance par l'Internet aux zones protégées du réseau du BIPM, le groupe informatique a proposé un certain nombre d'options au personnel. Par exemple, les utilisateurs autorisés peuvent se connecter à distance aux stations de travail au moyen d'un réseau virtuel, privé, qui fonctionne par connexion câblée ou par radiotransmission au moyen de la technologie 3G.

Le BIPM continue à faire l'objet d'e-mails non sollicités (SPAM), dont le nombre croît en permanence. Ils représentent plus de 75 % des e-mails qui arrivent quotidiennement au BIPM. Le groupe informatique a donc renforcé son système déjà sophistiqué de parefeu et installé le logiciel IronPort.

De plus, le groupe informatique a élaboré et mis en place un certain nombre d'applications Intranet et Internet, et présenté de nouvelles idées et opportunités pour améliorer le service offert au personnel du BIPM, aux membres des Comités consultatifs, aux visiteurs de l'extérieur et à ceux qui cherchent à en savoir plus sur la métrologie et les activités du BIPM. Il a consacré beaucoup d'efforts à mettre en place des systèmes de gestion et de contrôle des documents de travail. Le groupe informatique a procédé au remplacement de plusieurs équipements du réseau pendant la période couverte par ce rapport.

Enfin, le service informatique a participé à l'achat, l'installation, l'administration et la maintenance d'environ 180 ordinateurs de bureau et de laboratoire et d'une douzaine d'imprimantes en réseau.

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

L. Le Mée s'est rendu à :

- Boulogne (France), les 9 et 10 janvier 2006, chez Radware;
- Paris (France), en mai 2006, au séminaire Checkpoint/Resilience.

G. Petitgand s'est rendu à :

- Paris (France), les 30 et 31 janvier 2006, chez Veritas, pour Netbackup 6.0 ;
- Paris (France), le 16 mars 2006, pour le salon Documation (accompagné de D. Le Coz) ;
- Paris (France), le 4 mai 2006, pour un séminaire sur les produits Adobe (accompagné de J. Miles et de J. Williams).

J. Williams s'est rendu au NPL (Royaume-Uni), le 22 juin 2006, pour discuter des futurs numéros spéciaux de *Metrologia* pour 2007 et 2008 avec S. Judge et D. Thomas.

12.6 Visiteurs et stagiaires de la section publications et informatique

- M. Y. Kompaq, stagiaire travaillant sur l'équilibrage de charge des serveurs, du 27 février au 7 avril 2006.
- M. S. Lamri, stagiaire travaillant sur la mise au point de la méthode de gestion électronique de documents, du 3 avril au 30 août 2006.
- M. F. Khababa, étudiant à l'École des hautes études en sciences sociales, du 25 mai au 22 juillet 2005 et à partir du 12 décembre 2005.

13 RÉUNIONS ET EXPOSÉS AU BIPM

13.1 Réunions

Les réunions au BIPM, pour l'essentiel des Comités consultatifs et de leurs groupes de travail et des Comités communs (en particulier le JCGM, qui a totalisé sept semaines de réunions), continuent à occuper un pourcentage élevé du temps de travail du personnel du BIPM.

Les réunions suivantes ont eu lieu au BIPM :

- Groupe de travail 1 (GUM) du Comité commun pour les guides en métrologie (JCGM), du 17 au 21 octobre 2005 et du 20 au 23 mars 2006 ; Groupe de travail 2 du JCGM (VIM), du 1^{er} au 5 août 2005, du 10 au

- 14 octobre 2005, du 9 au 13 janvier 2006, du 13 au 17 mars 2006 et du 9 au 12 mai 2006 ;
- Groupe de travail CCRI-EUROMET, le 31 août 2005 ; Groupe de travail du CCRI et des organisations régionales de métrologie sur les CMCs, les 1^{er} et 2 septembre 2005 ; Groupe de travail de la Section II du CCRI sur les instruments de transfert, le 4 novembre 2005 ; Groupe de travail de la Section I du CCRI sur les étalons pour la curiethérapie, le 8 novembre 2005 ; Groupe de travail de la Section II du CCRI sur l'extension du SIR aux émetteurs de rayonnement γ au moyen de la méthode par scintillation liquide, les 21 et 22 novembre 2005 ;
 - CCL, les 15 et 16 septembre 2005, précédé des réunions de ses groupes de travail du 12 au 14 septembre (y compris le Groupe de travail commun au CCL et au CCTF, les 13 et 14 septembre) ;
 - atelier sur la gravimétrie, le 19 septembre 2005 ;
 - JCRB, le 28 septembre 2005 ;
 - réunion des directeurs, les 29 et 30 septembre 2005 ;
 - réunion sur la stratégie du CCEM, le 2 octobre 2005, et réunion du Groupe de travail du CCEM sur les projets de modifications au SI, le 6 mars 2006 ;
 - CCPR, les 25 et 26 octobre 2005, précédé des réunions de ses groupes de travail les 23 et 24 octobre ;
 - JCTLM, les 14 et 15 novembre 2005 ;
 - réunion commune au CIPM, à l'ILAC et à l'OIML, et réunion du groupe de travail des organisations régionales de métrologie et des organismes d'accréditation reconnus au niveau national, du 8 au 10 mars 2006 ;
 - JCDCMAS, le 10 mars 2006 ;
 - ICRU, du 20 au 22 mars 2006 ;
 - CCQM, les 6 et 7 avril 2006, précédé des réunions de ses groupes de travail du 2 au 5 avril ;
 - réunion commune à l'OIML et au CIPM, le 22 juin 2006.

13.2 Séminaires externes

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

- S. Duane (NPL) : Graphite calorimetry – Modelling, Control and Measurement, le 7 septembre 2005.
- L.-S. Ma (BIPM) : Detection of weak absorption below 1×10^{-12} , le 16 décembre 2005.

- Ch. Bordé (Académie des sciences de Paris) : Allons-nous vers une nouvelle définition du kilogramme et des autres unités ?, le 10 janvier 2006 (à l'Académie des sciences de Paris).
- O. Thévenot (LNE) : L'étalon calculable de capacité de type Lampard Thompson au LNE et son application à la détermination de R_K , le 15 mars 2006.
- A. Steele (NRC) : Tools for comparison data and reference values, le 18 avril 2006.
- F. Malz (BAM) : Quantitative NMR – the mag(net)ic alternative for purity assessments, le 29 juin 2006.

13.3 Exposés internes

- C.C. Speake (Université de Birmingham) : Progress in homodyne interferometry at the University of Birmingham, le 23 août 2005.
- P. Wolf : Studies of some perturbations in optical lattice clocks, and how they lead to new ideas for a test of Newton's law at very short distances (< 10 micrometers) using cold atoms in an optical lattice, le 13 décembre 2005.
- T.J. Witt : Using autocorrelation functions to estimate the standard deviation of the mean of serially correlated voltage measurements, le 21 février 2006.
- C. Michotte : SIRIC, a new software to evaluate ionization chamber photon and beta efficiency curves, le 28 février 2006.
- R. Davis : Is it simple to calculate the effective area of a piston in a cylinder?, le 28 mars 2006.
- D. Reymann : Les comparaisons Josephson sont-elles des comparaisons-clés-clés ?, le 6 juin 2006.

14 CERTIFICATS ET NOTES D'ÉTUDE

Du 1^{er} juillet 2005 au 30 juin 2006, 81 Certificats et 16 Notes d'étude ont été délivrés.

14.1 Certificats

2005

- | | | |
|-----|---|------------------|
| 44. | Ionization chamber in ¹³⁷ Cs and ⁶⁰ Co gamma-ray, LS01 115* | IAEA. |
| 45. | Ionization chamber in ¹³⁷ Cs and ⁶⁰ Co gamma-ray, HS01 102* | Id. |
| 46. | Ionization chamber in ⁶⁰ Co gamma-ray, NE2611A 133* | CRRD, Argentina. |
| 47. | Ionization chamber in medium-energy x-rays, NE2611 133* | Id. |
| 48. | Ionization chamber in ⁶⁰ Co gamma-ray, NE2571 2394* | Id. |
| 49. | Ionization chamber in medium-energy x-rays, NE2571 2394* | CRRD, Argentina. |
| 50. | Ionization chamber in ⁶⁰ Co gamma-ray, PTW TM30001 1576 | ITN, Portugal. |
| 51. | Étalon de résistance de 1 Ω, n° 17103* | INM, Roumanie. |
| 52. | Étalon de résistance de 1 Ω, n° 17112* | Id. |
| 53. | Étalon de résistance de 10 000 Ω, n° 5 885 009* | Id. |
| 54. | Étalon de résistance de 10 000 Ω, n° 5 885 010* | Id. |
| 55. | Ionization chamber in ¹³⁷ Cs and ⁶⁰ Co gamma-ray, LS10 130 | IAEA. |
| 56. | 1 Ω resistance standard, No. 74 941* | GUM, Poland. |

57.	1 Ω resistance standard, No. 75 735*	GUM, Poland.
58.	1 Ω resistance standard, No. 40 731*	Id.
59.	1 Ω resistance standard, No. 41 394*	Id.
60.	10 000 Ω resistance standard, No. 114 937*	Id.
61.	10 000 Ω resistance standard, No. 40 694*	Id.
62.	10 000 Ω resistance standard, J 206 06 9130104*	DFM, Denmark.
63.	1 Ω resistance standard, No. 1 910 466*	NML-SIRIM, Malaysia.
64.	Helium-neon laser at 633 nm, INM PHT/HE/97	INM, Romania.
65.	Helium-neon laser at 633 nm, EIM-1	EIM, Greece.
66.	Helium-neon laser at 633 nm, DK1	DFM, Denmark.
67.	Helium-neon laser at 633 nm, SMU-1	SMU, Slovakia.
68.	Prototype de masse, n° 46*	Indonésie.
69.	Prototype de masse, n° 78*	CMS, Taipei chinois.
70.	1 kg mass standard in stainless steel, 1S2(1)*	NMi VSL, Netherlands.
71.	1 kg mass standard in stainless steel, 1S2(2)*	Id.
72.	Prototype de masse, n° 3*	Espagne.
73.	1 kg mass standard in stainless steel, S*	MSL, New Zealand.
74.	10 pF capacitance standard, No. 01289*	EIM, Greece.
75.	10 pF capacitance standard, No. 01290*	Id.

76.	100 pF capacitance standard, No. 01291*	EIM, Greece.
77.	100 pF capacitance standard, No. 01292*	Id.
78.	Étalon de masse de 1 kg en acier inoxydable, (SMB) 1*	Belgique.
79.	Prototype de masse, n° 75*	SCL, Hong Kong (Chine).
80.	1 Ω resistance standard, No. 1 915 096*	NIMT, Thailand.
81.	10 000 Ω resistance standard, No. 1917542*	Id.
82.	1 Ω resistance standard, No. 1 711 458*	INMETRO, Brazil.
83.	1 Ω resistance standard, No. 1 883 427*	Id.
84.	10 000 Ω resistance standard, No. 43 007*	Id.
85.	1 Ω resistance standard, No. 1 146 606*	CSIR-NML, South Africa.
86.	1 Ω resistance standard, No. 1 132 427*	Id.
87.	Zener diode voltage standard, No. 6120008*	NML-SIRIM, Malaysia.
88.	Prototype de masse, n° 56*	Afrique du Sud.
89.	Prototype de masse, n° 44*	Australie.
90.	Prototype de masse, n° 2*	Roumanie.
91.	Étalon de masse de 1 kg en acier inoxydable, n° 81*	INM, Roumanie.
92.	10 pF capacitance standard, No. 01016*	NMi VSL, Netherlands.
93.	10 pF capacitance standard, No. 01017*	Id.
94.	100 pF capacitance standard, No. 01215*	Id.

- | | | |
|-----|---|--------------------------|
| 95. | 100 pF capacitance standard, No. 01216* | NMI VSL,
Netherlands. |
| 96. | 1 kg mass standard in stainless steel,
No. 013501/00 | EIM, Greece. |

2006

- | | | |
|-----------------|--|----------------------------|
| N ^{os} | | |
| 1. | 1 pF capacitance standard, No. 01358* | NIMT, Thailand. |
| 2. | 10 pF capacitance standard, No. 01359* | Id. |
| 3. | 100 pF capacitance standard, No. 01360* | Id. |
| 4. | Helium-neon laser at 633 nm, NPL-I(1) | NPLI, India. |
| 5. | Étalon de tension à diode de Zener,
n° 5740201* | SMD, Belgique. |
| 6. | Étalon de capacité de 10 pF, n° 01150* | Id. |
| 7. | Étalon de capacité de 100 pF, n° 01061* | Id. |
| 8. | Étalon de capacité de 100 pF, n° 01075* | Id. |
| 9. | Prototype de masse, n° 28* | Belgique. |
| 10. | Prototype de masse, n° 49* | Autriche. |
| 11. | Prototype de masse, n° 76* | Italie. |
| 12. | 1 kg mass standard in stainless steel, 1K4 | NML-SIRIM,
Malaysia. |
| 13. | 1 kg mass standard in stainless steel, 1kr2 | Id. |
| 14. | 1 pF capacitance standard, No. 01284* | CSIR-NML,
South Africa. |
| 15. | 1 pF capacitance standard, No. 01285* | Id. |

16.	10 pF capacitance standard, No. 01286*	CSIR-NML, South Africa.
17.	100 pF capacitance standard, No. 01287*	Id.
18.	Étalon de résistance de 1 Ω , n° 1870791*	SMD, Belgique.
19.	Étalon de résistance de 1 Ω , n° 1870794*	Id.
20.	Étalon de résistance de 100 Ω , n° A2020199SR102	Id.
21.	Étalon de résistance de 10 000 Ω , n° 616007*	Id.
22.	Étalon de résistance de 10 000 Ω , n° 43024*	Id.
23.	1 kg mass standard in stainless steel, No. 013504/00	EIM, Greece.
24.	Ionization chamber in ^{60}Co gamma-ray, No. 130	METAS, Switzerland.
25.	Ionization chamber in ^{60}Co gamma-ray, No. 2690	Id.
26.	Étalon de tension à diode de Zener, n° 5940003*	INM, Roumanie.
27.	1 kg mass standard in stainless steel, K30*	INTI, Argentina.
28.	1 kg mass standard in stainless steel, PTB47	INTI, Argentina.

14.2 Notes d'étude

2005

N ^{os}		
4.	Helium-neon laser at 633 nm	ORB, Belgium.
5.	10 pF capacitance standard, No. 01176	PTB, Germany.
6.	Helium-neon laser at 633 nm	CNRS, France.
7.	Helium-neon laser at 633 nm	BKG, Germany.

8. Helium-neon laser at 633 nm	FGI, Finland.
9. Helium-neon laser at 633 nm	INRIM, Italy.
10. Helium-neon laser at 633 nm	GOP, Czech Republic.
11. Helium-neon laser at 633 nm	METAS, Switzerland.
12. Helium-neon laser at 633 nm	BEV, Austria.
13. Helium-neon laser at 633 nm	IGN, Spain.
14. Helium-neon laser at 633 nm	ECGS, Luxembourg.
15. Helium-neon laser at 633 nm	NMIJ/AIST, Japan.
16. Helium-neon laser at 633 nm	CMS/ITRI, Chinese Taipei.
17. Helium-neon laser at 633 nm	EOST, France.
18. Helium-neon laser at 633 nm*	Geodesic Survey Division, Canada.

2006N^{os}

1. 100 pF capacitance standard, No. 01013*	CEM, Spain.
--	-------------

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

15.1 Comptes

Les tableaux suivants sont la reproduction des tableaux qui figurent dans le *Rapport annuel aux Gouvernements des Hautes parties contractantes sur la situation administrative et financière du Bureau international des poids et mesures* relatif à l'exercice 2005.

15.1.1 Compte I : fonds ordinaires*

Actif au 1 ^{er} janvier 2005			6 656 826,81
Recettes			
Recettes budgétaires			11 453 975,29
Taxes sur les achats remboursés			334 376,18
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 2005			192 203,74
Total des recettes			11 980 555,21
Dépenses			
Dépenses budgétaires			9 605 152,52
Dépenses pour l'installation des laboratoires de métrologie en chimie			676 722,15
Achat de platine iridié			137 633,75
Différences de change			8 332,60
Transfert du Compte V.— Réserve pour les bâtiments			356 000,00
Taxes sur les achats remboursables			448 059,43
Total des dépenses			11 231 900,45
Actif au 31 décembre 2005			7 405 481,57
Détail des recettes budgétaires			
Versement de contributions :			
Au titre de l'exercice 2005	8 112 220,57	} 10 053 232,38	} 10 598 387,40
Au titre de l'exercice 2004	850 541,74		
Au titre de l'exercice 2003	689 988,08		
Au titre de l'exercice 2002 et antérieurs	307 477,99		
Au titre de l'exercice 2006	93 004,00		
Prélèvement sur le compte « Remboursement aux États »	545 155,02		
Versement de la contribution supplémentaire discrétionnaire :			
Au titre de l'exercice 2005	98 501,00	} 104 226,00	
Au titre de l'exercice 2006	5 725,00		
Versement de souscriptions par les Associés :			
Au titre de l'exercice 2005	172 955,09	} 201 251,50	
Au titre de l'exercice 2004	9 094,00		
Au titre de l'exercice 2006	19 202,41		
Intérêts des fonds			324 904,48
Abonnements à <i>Metrologia</i>			77 401,60
Recettes diverses			147 804,31
Total des recettes			11 453 975,29

* 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. — Les versements de contributions effectués au cours de l'année 2005 s'élèvent à 10 053 232,38 euros, dont 8 112 220,57 euros au titre de l'exercice 2005, 93 004 euros au titre de l'exercice 2006 et 1 848 007,81 euros au titre des exercices antérieurs. Des versements pour un montant de 104 226 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 et 2006.

Versements des souscriptions. — Les versements des souscriptions effectués au cours de l'année 2005 s'élèvent à 201 251,50 euros.

Dépenses du Compte I. — Les dépenses budgétaires en 2005 se sont élevées à 9 605 152,52 euros pour un budget voté s'élevant à 10 334 304 euros.

Détail des dépenses budgétaires

Chapitres	Dépenses de l'exercice	Budget voté	Économies	Dépassements
<i>A. Dépenses de personnel :</i>				
1. Traitements	4 218 871,91	4 211 000	5 608 200	7 871,91
2. Allocations familiales et sociales	894 746,85			
3. Charges sociales (a)	457 450,37			
<i>B. Contribution à la Caisse de retraite (b) :</i>				
	1 576 000,00	1 576 000	—	—
<i>C. Services généraux :</i>				
1. Chauffage, eau, électricité	163 125,47	885 035,03	1 103 300	30 986,15
2. Assurances	30 690,39			
3. Publications	36 618,08			
4. Frais de bureau	101 959,25			
5. Frais de réunions	95 986,15			
6. Voyages et transports de matériel	283 195,88			
7. Bibliothèque	141 503,39			
8. Bureau du Comité	31 956,42			
D. Dépenses de laboratoires :	1 192 788,90	1 534 000	341 211,10	—
<i>E. Dépenses de bâtiments : (travaux d'entretien et de rénovation) :</i>				
	289 113,29	415 000	125 886,71	—
F. Frais divers et imprévus (c) :	91 146,17	97 804	6 657,83	—
Totaux	9 605 152,52	10 334 304	770 965,96	41 814,48

(a) Comprenant un virement de 52 822,64 euros au Compte II (Caisse de retraite).

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

(c) Comprenant un virement de 5 916,00 euros au Compte IV (Caisse de prêts sociaux).

15.1.2 Compte II : caisse de retraite

Actif au 1 ^{er} janvier 2005	11 260 670,61
Recettes	
Retenues sur les traitements	380 667,12
Virement du Compte I*	1 661 892,27
Intérêts des fonds	463 724,18
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 2005	308 092,83
Total des recettes	2 814 376,40
Dépenses	
Pensions servies	2 144 674,15
Remboursement de cotisations	49 386,06
Capital-décès versé	8 565,20
Total des dépenses	2 202 625,41
Actif au 31 décembre 2005	11 872 421,60

* Comprenant un virement de 52 822,64 euros provenant des économies réalisées sur l'assurance maladie (*BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 1994, **62**, 19).

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

Ce compte n'a enregistré aucun mouvement en 2005.

15.1.4 Compte IV : caisse de prêts sociaux

Actif au 1 ^{er} janvier 2005 hors créances	123 088,38
Recettes	
Amortissements partiels des prêts	
Capital	36 972,68
Intérêts	1 927,47
Virement du Compte I	5 916,00
Intérêts des fonds	4 121,40
Total des recettes	48 937,55
Dépenses	
Prêts consentis en cours d'année	68 200,00
Total des dépenses	68 200,00
Actif au 31 décembre 2005 hors créances	103 825,93
Créances de la caisse de prêts sociaux	
Créances au 1 ^{er} janvier 2005	94 259,00
Créances nouvelles en cours d'année	68 200,00
Amortissements partiels des prêts (capital)	– 36 972,68
Créances au 31 décembre 2005	125 486,32
Actif au 31 décembre 2005 créances incluses	229 312 ,25

15.1.5 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 2005	0,00
Recettes	
Virement du Compte I	356 000,00
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 2005	9 499,97
Total des recettes	365 499,97
Dépenses	
Total des dépenses	0,00
Actif au 31 décembre 2005	365 499,97

15.1.6 Compte VI : *Metrologia*

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

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

Actif au 1 ^{er} janvier 2005	586 449,25
Recettes	
Intérêts des fonds	22 217,20
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 2005	15 063,48
Total des recettes	37 280,68
Dépenses	
Subvention des cotisations des retraités	42 507,65
Total des dépenses	42 507,65
Actif au 31 décembre 2005	581 222,28

15.1.8 Bilan au 31 décembre 2005

Compte I « Fonds ordinaires »	7 405 481,57
Compte II « Caisse de retraite »	11 872 421,60
Compte III « Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique »	0,00
Compte IV « Caisse de prêts sociaux »	229 312,25
Compte V « Réserve pour les bâtiments »	365 499,97
Compte VI « <i>Metrologia</i> »	0,00
Compte VII « Fonds de réserve pour l'assurance maladie »	581 222,28
Actif net	20 453 937,67
Cet actif net se décompose comme suit :	
a. Fonds déposés en banque :	
1° En euros	12 927 145,39
2° En dollars américains (1,1797 USD = 1 EUR)	2 432 599,29
3° En francs suisses (1,5551 CHF = 1 EUR)	36 453,61
4° En livres sterling (0,6853 GBP = 1 EUR)	1 396 958,49
5° En dollars canadiens (1,3725 CAD = 1 EUR)	801 494,54
6° En couronnes suédoises (9,3885 SEK = 1 EUR)	117 172,70
7° En couronnes norvégiennes (7,985 NOK = 1 EUR)	1 233 562,93
8° En couronnes danoises (7,4605 DKK = 1 EUR)	1 472 076,23
9° En yens (138,90 JPY = 1 EUR)	1 727,86
Total des fonds déposés en banque	20 419 191,04
b. Espèces en caisse :	
1° En euros	7 749,78
2° En dollars américains (1,1797 USD = 1 EUR)	833,24
3° En francs suisses (1,5551 CHF = 1 EUR)	28,42
4° En livres sterling (0,6853 GBP = 1 EUR)	212,27
5° En yens (138,90 JPY = 1 EUR)	163,59
6° En dollars canadiens (1,3725 CAD = 1 EUR)	292,19
7° En dollars australiens (1,6109 AUD = 1 EUR)	124,15
8° En couronnes norvégiennes (7,985 NOK = 1 EUR)	94,43
9° En couronnes danoises (7,4605 DKK = 1 EUR)	13,40
10° En dollars de Singapour (1,9628 SGD = 1 EUR)	88,65
11° En couronnes slovaques (37,88 SKK = 1 EUR)	1,32
12° En zlotys (3,86 PLN = 1 EUR)	10,36
13° En yuans RMB (9,5204 CNY = 1 EUR)	101,42
14° En tolars (239,50 SIT = 1 EUR)	22,13
15° En ringitts (4,4584 MYR = 1 EUR)	74,02
16° En livres égyptiennes (6,790 44 EGP = 1 EUR)	43,22
17° En réals (2,750 46 BRL = 1 EUR)	77,08
18° En wons (1 184,42 KRW = 1 EUR)	218,32
19° En pesos (12,6164 MXN = 1 EUR)	0,79
20° En rands (7,4642 ZAR = 1 EUR)	2,01
21° En forints (252,87 HUF = 1 EUR)	32,80
Total des espèces en caisse	10 183,59
Actif brut (a + b)	20 429 374,63
c. Créances de la Caisse de prêts sociaux	125 486,32
d. Provision pour remboursement aux États à déduire (1)	-100 923,28
Actif net	20 453 937,67

(1) Compte « Remboursement aux États »	
Situation au 1 ^{er} janvier 2005	600 608,30
Versements	
Versement par le Venezuela de sa contribution de 2004	45 470,00
Total des versements	45 470,00
Remboursements aux États	
Compensation du remboursement d'avances faites pour l'Indonésie (1999 à 2003)	216 266,30
Compensation du remboursement d'avances faites pour le Venezuela (1996 à 2003)	328 888,72
Total des remboursements	545 155,02
Situation au 31 décembre 2005	100 923,28

15.2 Personnel

15.2.1 Engagements

- M. Stéphane Segura, né le 27 janvier 1968 à Argenteuil (France), de nationalité française, précédemment technicien dans une société privée française, a été engagé au grade de *mécanicien* à dater du 1^{er} juillet 2005.
- Mme Céline Fellag-Ariouet, née le 26 juillet 1975 à Versailles (France), de nationalité française, précédemment secrétaire dans une société privée française, a été engagée au grade de *secrétaire*, à temps partiel, à dater du 1^{er} août 2005.
- M. Nick Fletcher, né le 1^{er} juin 1974 à Enfield (Royaume-Uni), de nationalité britannique, précédemment physicien au National Physical Laboratory à Teddington (Royaume-Uni), a été engagé au grade de *physicien* dans la section d'électricité à dater du 1^{er} mai 2006.
- M. Rémi Cèbe, né le 4 janvier 1969 à Marseille (France), de nationalité française, précédemment responsable de programme dans une organisation non gouvernementale, a été engagé au grade d'*assistant* dans la section Finances et administration à dater du 21 juin 2006.

15.2.2 Promotions et changements de grade

- Mme Susanne Picard*, *physicien* dans la section des rayonnements ionisants, a été promue au grade de *physicien principal* à dater du 1^{er} janvier 2006.
- M. Stéphane Solve, *assistant* dans la section d'électricité, a été promu au grade de *physicien principal* à dater du 1^{er} janvier 2006.
- M. Régis Chayramy, *technicien* dans la section d'électricité, a été promu au grade de *technicien principal* à dater du 1^{er} janvier 2006.

* Cette promotion résulte d'un vote au CIPM lors de sa 94^e session en octobre 2005.

15.2.3 Changements de postes et transfert

En mars 2006, le personnel de la section des longueurs a été transféré à la section du temps, qui est maintenant nommée section du temps, des fréquences et de la gravimétrie. Les personnes concernées par ce transfert

sont : MM. Longsheng Ma, *chercheur associé supérieur*, Leonid Vitushkin, *physicien chercheur principal*, Lennart Robertsson, *physicien principal*, Raymond Felder, *physicien principal* et Jacques Labot, *technicien principal*.

15.2.4 Chercheurs associés

- Il a été mis fin le 31 décembre 2005 au contrat de chercheur associé de M. Massimo Zucco, commencé le 9 septembre 2002. Depuis le 1^{er} janvier 2006, il est détaché de l'INRIM (Italie) dans la section du temps, des fréquences et de la gravimétrie jusqu'au 30 juin 2006.
- M. Longsheng Ma, *chercheur associé supérieur* depuis le 25 janvier 2000, dans la section des longueurs, puis dans la section du Temps, des fréquences et de la gravimétrie, a quitté le BIPM le 30 juin 2006 à la fin de son contrat, pour prendre sa retraite.

15.2.5 Départs

- M. Daniel Rotrou, *mécanicien principal*, a pris sa retraite le 31 décembre 2005 après 35 ans de service.

15.3 Bâtiments

15.3.1 Grand Pavillon

- Peinture du couloir au sous-sol.

15.3.2 Petit Pavillon

- Transformation de l'ancien atelier en salles de réunions, bureaux et salle d'archives.
- Redécoration partielle de l'appartement des gardiens.

15.3.3 Bâtiment des lasers

- Mise aux normes de l'ascenseur.

15.3.4 Observatoire

- Installation de faux plafonds et rénovation des bureaux du premier étage.
- Réparation des systèmes de conditionnement d'air aux salles 14, 103 et 104.
- Rénovation de la salle 105.
- Mise aux normes de l'ascenseur.

15.3.5 Bâtiment des rayonnements ionisants

- Réparation des systèmes de conditionnement d'air à la salle S8.
- Installation d'un système de conditionnement d'air à la salle R21.

15.3.6 Nouveau Pavillon

- Changement de la moquette à la bibliothèque, suite à un dégât des eaux.
- Remplacement des chauffages électriques.

15.3.7 Tous les bâtiments

- Installation d'un accès Internet sans fil.

15.3.8 Extérieurs et parc

- Modification du système d'arrosage dans le jardin.

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

B. Perent s'est rendue à :

- Washington DC (États-Unis), du 19 au 21 octobre 2005, pour assister à un atelier sur les retraites dans les organisations internationales ;
- Vienne (Autriche), du 3 au 5 mai 2006, pour assister à une réunion sur les privilèges et immunités dans les organisations internationales.

16 **SECRETARIAT (F. JOLY)**

La charge de travail du secrétariat reste lourde en raison du nombre élevé de réunions au BIPM, principalement celles des Comités consultatifs et de leurs groupes de travail (qui se tiennent parfois à différents endroits en même temps, avec des sessions en parallèle, comme le CCQM), et des mailings pour les publications (comme celui de la Brochure sur le SI).

Pour faire face à l'évolution des tâches administratives et aux nombreuses réunions, une secrétaire à temps partiel a été recrutée, afin d'améliorer le service offert aux Comités, pour le site Web et pour les activités scientifiques du BIPM, et pour mettre à jour la base de données du secrétariat. 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 et avec les directeurs des laboratoires nationaux de métrologie sont accessibles par l'intermédiaire du site Web du BIPM.

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

L'atelier du BIPM offre une contribution fondamentale et très appréciée à notre programme de travail. Un grand nombre d'activités sont mentionnées dans les rapports des sections ; 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 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. Pendant la période couverte par ce rapport, l'atelier du BIPM a reçu un nouveau tour programmable, conçu pour usiner de petits objets. Parmi les projets récents nous mentionnerons en particulier :

- poursuite du travail sur le condensateur calculable, en collaboration avec le NMIA (Australie), fabrication de composants ;
- fabrication de pièces diverses pour les sections scientifiques, notamment une nouvelle balance pour la section des masses ;
- balance du watt, fabrication et vérification de composants.

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

LISTE DES SIGLES UTILISÉS DANS LE PRÉSENT VOLUME

1 Sigles des laboratoires, commissions et conférences*

AAAC	Association of Accrediting Agencies of Canada
AFRIMETS	Système interafricain de métrologie/Inter-Africa Metrology System
AGU	American Geophysical Union, Washington DC (États-Unis)
AIEA	Agence internationale de l'énergie atomique
AIG	Association internationale de géodésie
AIP	American Institute of Physics, New York (États-Unis)
AIST*	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, <i>voir</i> NMIJ/AIST
ANSTO	Australian Nuclear Science and Technology Organization, Menai (Australie)
APMP	Asia/Pacific Metrology Programme
AQUILA	Air Quality Reference Laboratories
ARPANSA	Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency, Sydney et Melbourne (Australie)
BAM	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin (Allemagne)
BARC	Bhabha Atomic Research Centre, Trombay (Inde)
BEV	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Vienne (Autriche)
BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Francfort (Allemagne)
BIPM	Bureau international des poids et mesures
BIRM	Beijing Institute of Radiation Medicine, Beijing (Chine)
BNM*	Bureau national de métrologie, Paris (France), <i>voir</i> LNE
BRGM	Bureau de recherches géologiques et minières, Paris (France)
CARICOM	Communauté des Caraïbes/Caribbean Community
CCAUV	Comité consultatif de l'acoustique, des ultrasons et des vibrations
CCEM	Comité consultatif d'électricité et magnétisme

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

CCL	Comité consultatif des longueurs
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)
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
CIPM	Comité international des poids et mesures
CLEO	Conference on Lasers and Electro Optics
CMS-ITRI	Centre for Measurement Standards of the Industrial Technology Research Institute, Hsinchu (Taipei chinois)
CNAM*	Conservatoire national des arts et métiers, Paris (France), voir LNE
CNEA	Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires (Argentine)
CNES	Centre national d'études spatiales, Toulouse (France)
CNRS	Centre national de la recherche scientifique, Paris (France)
CONICET	Argentine Council of Research/Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Buenos Aires (Argentine)
COOMET	Coopération métrologique entre les États d'Europe centrale/ Cooperation in Metrology among the Central European Countries
COPUOS	Committee on the Peaceful Uses of Outer Space of the United Nations
CPEM	Conference on Precision Electromagnetic Measurements
CRRD	Centro Regional de Referencia para la Dosimetria, Buenos Aires (Argentine)

CSIR-NML	Council for Scientific and Industrial Research, National Metrology Laboratory, Pretoria (Afrique du Sud)
DFM	Danish Institute of Fundamental Metrology, Lyngby (Danemark)
DIN	Deutsches Institut für Normung eV, Berlin (Allemagne)
DTI	Department of Trade and Industry (Royaume-Uni)
DTU	Denmark Technical University, Lyngby (Danemark)
ECGS	European Centre for Geodynamics and Seismology, Luxembourg (Luxembourg)
ECNU	East China Normal University, Shanghai (Chine)
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)
ENEA-INMRI	Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti (ENEA-INMRI), Casaccia (Italie)
EOST	École et Observatoire des sciences de la Terre, Strasbourg (France)
ESA	Agence spatiale européenne/European Space Agency
EUROMET	European Collaboration in Measurement Standards
FCS	Frequency Control Symposium
FGI	Finnish Geodetic Institute, Masala (Finlande)
GCC	Gulf Cooperation Council, Riyadh (Arabie saoudite)
GOP	Geodetic Observatory Pecný, Prague (Rép. tchèque)
GREX	Groupe de recherche du CNRS : Gravitation et expériences (France)
GSO	Gulf Standardization Organization, Riyadh (Arabie saoudite)
GUM	Central Office of Measures/Główny Urząd Miar, Varsovie (Pologne)
IAC	International Avogadro Coordination
ICAG	International Conference of Absolute Gravimeters
ICAP	International Conference on Atomic Physics
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)

IEN*	Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin (Italie), <i>voir</i> INRIM
IERS	Service international de la rotation terrestre et des systèmes de référence/International Earth Rotation and Reference Systems Service
IFCC	Fédération internationale de chimie clinique et médecine de laboratoire/International Federation of Clinical Chemistry and Laboratory Medicine
IFIN	Institute of Physics of the Romanian Academy, Bucarest (Roumanie)
IGN	Instituto Geográfico Nacional, Madrid (Espagne)
IGS	International GNSS Service
ILAC	International Laboratory Accreditation Cooperation
iMERA	implementing Metrology in the European Research Area, projet de l'EUROMET
IMGC*	Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin (Italie), <i>voir</i> INRIM
INETI	Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, Lisbonne (Portugal)
INM	Institut national de métrologie, Bucarest (Roumanie)
INM*	Institut national de métrologie, <i>voir</i> LNE-INM
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, Rio de Janeiro (Brésil)
INRIM	(regroupe l'IEN et l'IMGC) Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica, Turin (Italie)
INTI	Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Buenos Aires (Argentine)
ION	Institute of Navigation, Alexandria, VA (États-Unis)
IOP	Institute of Physics, Londres (Royaume-Uni)
IOPP	Institute of Physics Publishing, Londres (Royaume-Uni)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IPEN	Institute of Nuclear Energy and Research/Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo (Brésil)
IPG	Institut de physique du Globe, Paris (France)
IPQ	Instituto Português da Qualidade, Lisbonne (Portugal)
IRMM	Institut des matériaux et mesures de référence, Commission européenne/Institute for Reference Materials and Measurements, European Commission
IRPA	International Radiation Protection Association
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)
ITRI	Industrial Technology Research Institute, Hsinchu (Taipei chinois), <i>voir</i> CMS-ITRI
IVS	International VLBI Service
JCDCMAS	Comité commun pour la coordination de l'assistance aux pays en voie de développement dans les domaines de la métrologie, de l'accréditation et de la normalisation/ Joint Committee on Coordination of Assistance to Developing Countries in Metrology, Accreditation and Standardization
JCGM	Comité commun pour les guides en métrologie/ Joint Committee for Guides in Metrology
JCRB	Comité mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM/Joint Committee of the Regional Metrology Organizations and the BIPM
JCTLM	Comité commun pour la traçabilité en médecine de laboratoire/Joint Committee on Traceability in Laboratory Medicine
JILA	Joint Institute for Laboratory Astrophysics, Boulder CO (États-Unis)
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-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, <i>voir</i> LNE
LPL	Laboratoire de physique des lasers, Villetaneuse (France)
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
MRA	Arrangement de reconnaissance mutuelle/ Mutual Recognition Arrangement
MSL	Measurement Standards Laboratory of New Zealand, Lower Hutt (Nouvelle-Zélande)
NCM	National Centre of Metrology, Sofia (Bulgarie)
NCSLI	National Conference of Standards Laboratories, Boulder CO (États-Unis)
NEWRAD	New Developments and Applications in Optical Radiometry Conference
NIES	National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, Ibaraki (Japon)
NIM	National Institute of Metrology, Beijing (Chine)
NIMT	National Institute of Metrology, Bangkok (Thaïlande)
NIRH	National Institute of Radiation Hygiene, Copenhagen (Danemark)
NIST	National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg MD (États-Unis)
NMi VSL	Nederlands Meetinstituut, Van Swinden Laboratorium, Delft (Pays-Bas)
NMIA	National Measurement Institute, Australia, Lindfield (Australie)
NMIJ/AIST	National Metrology Institute of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Tsukuba (Japon)
NML	National Metrology Laboratory, Dublin (Irlande)
NML-SIRIM	National Metrology Laboratory, Standards and Industrial Research Institute, Shah Alam (Malaisie), <i>voir</i> SIRIM
NPL	National Physical Laboratory, Teddington (Royaume-Uni)
NPLI	National Physical Laboratory of India, New Delhi (Inde)
NRC	Conseil national de recherches du Canada, Ottawa (Canada)

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)
OMM	Organisation météorologique mondiale
OMP	Observatoire Midi-Pyrénées, Toulouse (France)
OMS	Organisation mondiale de la santé
ONRJ	Observatório Nacional, Rio de Janeiro (Brésil)
OP	Observatoire de Paris (France)
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
RC	Radioisotope Centre, Otwock (Pologne)
RCMAM	Groupe de travail de l'UAI sur la relativité en mécanique céleste, en astrométrie et dans le domaine de la métrologie/ IAU Working Group on Relativity in Celestial Mechanics, Astrometry and Metrology
SADCMET	Southern African Development Community Cooperation in Measurement Traceability
SCL	Standards and Calibration Laboratory (Hong Kong, Chine)
SEMETRO	Seminário Internacional de Metrologia Elétrica
SIM	Système interaméricain de métrologie/ Sistema Interamericano de Metrología
SIRIM	Standards and Industrial Research Institute, Shah Alam (Malaisie)
SMD	Service de la métrologie, Bruxelles (Belgique)
SMU	Slovenský Metrologický Ústav/Slovak Institute of Metrology, Bratislava (Slovaquie)
SNAS	Slovak National Accreditation Service, Bratislava (Slovaquie)
SPF	Service public fédéral des Affaires étrangères, Commerce extérieur et coopération au développement (Belgique)
SRC	Synchrotron Radiation Centre, Stoughton WI (États-Unis)
SUNAMCO	Symbols, Units, Nomenclature, Atomic Masses and Fundamental Constants, Commission de l'UIPPA, voir UIPPA

SYRTE*	Systèmes de référence temps espace, <i>voir</i> LNE
TC	Comité technique/Technical Committee
TempMeko	International Symposium on Temperature and Thermal Measurements in Industry and Science
UAI	Union astronomique internationale
UIPPA	Union internationale de physique pure et appliquée
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)
VNIFTRI	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, <i>voir</i> NMi VSL
WMO	World Meteorological Organization, <i>voir</i> OMM
WTO	World Trade Organization, <i>voir</i> OMC

2 Sigles des termes scientifiques

ACES	Atomic Clock Ensemble in Space
BMC	Meilleure aptitude de mesure/Best Measurement Capability
CCD	Dispositif à couplage de charges/Charge Coupled Device
CMC	Aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages/ Calibration and Measurement Capabilities
EAL	Échelle atomique libre
EIT-90	Échelle internationale de température de 1990
GLONASS	Global Navigation Satellite System
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GUM	Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure/ Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement
ICPE	Installations classées pour la protection de l'environnement
ICRF	Système de référence céleste international/International Celestial Reference Frame

INB	Installations nucléaires de base
IT	Informatique/Information Technology
IVD	<i>In vitro</i> Diagnostic
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
LSC	Comptage par scintillation liquide/Liquid Scintillation Counting
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
SPRT	Thermomètre à résistance de platine étalon/ Standard Platinum Resistance Thermometer
SQUID	Interféromètre quantique supraconducteur/ Superconducting Quantum Interference Device
SRP	Photomètre étalon de référence/Standard Reference Photometer
TAI	Temps atomique international
TT	Temps terrestre
TTL	Logique transistor-transistor/Transistor-transistor Logic
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	Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie
VLBI	Interférométrie à très longue base/Very Long Baseline Interferometry
YAG	Grenat d'yttrium-aluminium/Yttrium Aluminium Garnet

