

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

(1^{er} juillet 2008 – 30 juin 2009)

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 2008 – 30 juin 2009)

Note sur l'utilisation du texte anglais (*voir* page 169)

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 : Imprimerie Centrale, Luxembourg

ISSN 1606-3740
ISBN 978-92-822-2235-5

TABLE DES MATIÈRES

États Membres et Associés à la Conférence générale **13**

Le BIPM **15**

Liste du personnel du Bureau international des poids et mesures **19**

Rapport du directeur sur l'activité et la gestion du Bureau international des poids et mesures (1^{er} juillet 2008 – 30 juin 2009) 21

- 1 Introduction **23**
 - 1.1 Introduction générale et résumé des activités de l'année **23**
 - 1.2 Programme de travail scientifique du BIPM **24**
 - 1.3 Le Système international d'unités (SI) **26**
 - 1.4 L'Arrangement de reconnaissance mutuelle du CIPM (MRA) et le JCRB **27**
 - 1.5 États Membres et Associés **28**
 - 1.6 Réunion du CIPM **29**
 - 1.7 Comité commun pour les guides en métrologie (JCGM) **29**
 - 1.8 Comité commun pour la traçabilité en médecine de laboratoire (JCTLM) **30**
 - 1.9 Liaisons avec des organisations intergouvernementales et des organismes internationaux **30**
 - 1.10 Le BIPM et l'Organisation internationale de métrologie légale (OIML) **31**
 - 1.11 École d'été du BIPM sur la métrologie **31**
 - 1.12 Journée mondiale de la métrologie **32**
 - 1.13 Services de mesures et Système Qualité du BIPM **33**
 - 1.14 Santé et sécurité **33**
 - 1.15 Personnel du BIPM **34**
 - 1.16 Commissions du personnel du BIPM **34**
 - 1.17 Travail scientifique au BIPM **35**
 - 1.18 Publications, conférences et voyages du directeur et du sous-directeur **45**
 - 1.18.1 Publications extérieures **45**
 - 1.18.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **45**
 - 1.19 Activités du directeur et du sous-directeur en liaison avec des organisations extérieures **46**

- 2 Masse **47**
 - 2.1 Étalonnages **47**
 - 2.1.1 Certificats **47**
 - 2.1.2 Susceptomètre du BIPM **48**
 - 2.2 Balance de portée maximale 100 g pour soutenir le programme d'étalonnages **48**
 - 2.3 Balances servant aux programmes de recherche en cours de développement **49**
 - 2.4 Système de transfert dans le vide **50**
 - 2.5 Comparaison bilatérale de masses d'essai utilisées dans la balance du watt du NPL **51**
 - 2.6 Projet de collaboration internationale sur la constante d'Avogadro **51**
 - 2.7 Sous-groupe de travail 1 du Groupe de travail du CCM sur les étalons de masse : comparaison de masse utilisant des artefacts de sorption **52**
 - 2.8 Stockage d'un ensemble d'étalons de masse **52**
 - 2.9 Appareil de pesée hydrostatique **53**
 - 2.10 Pression **54**
 - 2.11 Générateur d'humidité **54**
 - 2.12 Balance de torsion pour la mesure de G **54**
 - 2.13 Publications, conférences, voyages : section Masse **54**
 - 2.13.1 Publications extérieures **54**
 - 2.13.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites, formation) **55**
 - 2.14 Activités liées au travail des Comités consultatifs **57**
 - 2.15 Visiteurs de la section Masse **58**
- 3 Temps, fréquences et gravimétrie **59**
 - 3.1 Temps atomique international (TAI) et Temps universel coordonné (UTC) **59**
 - 3.2 Algorithmes pour les échelles de temps **59**
 - 3.2.1 Stabilité de l'EAL **60**
 - 3.2.2 Exactitude du TAI **60**
 - 3.2.3 Échelles de temps atomique indépendantes **61**
 - 3.3 Étalons primaires de fréquence et représentations secondaires de la seconde **61**
 - 3.4 Liaisons horaires **62**

- 3.4.1 Mesures utilisant le code du Global Positioning System (GPS) et du Global Navigation Satellite System (GLONASS) **63**
- 3.4.2 Mesures de phase et de code des récepteurs géodésiques **63**
- 3.4.3 Comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite **64**
- 3.4.4 Incertitudes sur les liaisons horaires du TAI **64**
- 3.4.5 Étalonnage des retards des équipements de comparaisons de temps et de fréquences **65**
- 3.5 Comparaisons clés **65**
- 3.6 Pulsars **66**
- 3.7 Références spatio-temporelles **66**
- 3.8 Travaux sur les peignes de fréquence **66**
- 3.9 Comparaisons clés BIPM.L-K11 et CCL-K11 **67**
- 3.10 Service d'étalonnage et de mesurage **67**
- 3.11 Cuves à iode **67**
- 3.12 Gravimètre FG5-108 **68**
- 3.13 8^e comparaison internationale de gravimètres absolus, ICAG-2009 **68**
- 3.14 Étude préliminaire du projet de balance du watt du BIPM du point de vue de la gravimétrie **69**
- 3.15 Publications, conférences et voyages : section du temps, des fréquences et de la gravimétrie **69**
 - 3.15.1 Publications extérieures **69**
 - 3.15.2 Publications du BIPM **71**
 - 3.15.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **71**
- 3.16 Activités en liaison avec des organisations extérieures **75**
- 3.17 Activités liées au travail des Comités consultatifs **75**
- 3.18 Visiteurs de la section du temps, des fréquences et de la gravimétrie **76**
- 3.19 Chercheurs invités **77**
- 4 Électricité **77**
 - 4.1 Potentiel électrique **77**
 - 4.2 Résistance électrique et impédance **79**
 - 4.2.1 Mesures de résistance en courant continu et effet Hall quantique **79**
 - 4.2.2 Conservation d'un étalon de référence de capacité **79**

- 4.3 Condensateur calculable **80**
- 4.4 Comparaisons clés en continu du BIPM d'étalons électriques **81**
- 4.5 Étalonnages **82**
- 4.6 Publications, conférences et voyages : section d'électricité **83**
 - 4.6.1 Publications extérieures **83**
 - 4.6.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **83**
- 4.7 Activités en liaison avec des organisations extérieures **85**
- 4.8 Activités liées au travail des Comités consultatifs **85**
- 4.9 Visiteurs de la section d'électricité **85**
- 5 Rayonnements ionisants **86**
 - 5.1 Rayons x et γ **86**
 - 5.1.1 Étalons et équipements pour la dosimétrie **86**
 - 5.1.2 Comparaisons de dosimétrie **89**
 - 5.1.3 Étalonnages d'étalons nationaux pour la dosimétrie **91**
 - 5.2 Radionucléides **91**
 - 5.2.1 Système international de référence (SIR) pour la mesure d'activité de radionucléides émetteurs de rayonnement gamma **91**
 - 5.2.2 Spectrométrie gamma **92**
 - 5.2.3 Extension du SIR à des radionucléides à courte durée de vie **93**
 - 5.2.4 Extension du SIR aux émetteurs de rayonnement bêta pur **94**
 - 5.2.5 Améliorations au système de comptage du BIPM par la méthode du rapport des coïncidences triples aux coïncidences doubles (TDCR) **94**
 - 5.2.6 Comparaison de mesure d'activité du ^{85}Kr du CCRI **95**
 - 5.2.7 Comparaison de mesure d'activité du ^3H du CCRI **95**
 - 5.2.8 Mesures d'activité du ^3H **95**
 - 5.3 Thermométrie **96**
 - 5.4 Publications, conférences et voyages : section des rayonnements ionisants **96**
 - 5.4.1 Publications extérieures **96**
 - 5.4.2 Rapports BIPM **97**
 - 5.4.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **98**
 - 5.5 Activités en liaison avec des organisations extérieures **99**
 - 5.6 Activités liées au travail des Comités consultatifs **100**

- 5.7 Visiteurs de la section des rayonnements ionisants **101**
- 5.8 Chercheurs invités **101**
- 6 Chimie **102**
 - 6.1 Programme sur la métrologie des gaz **102**
 - 6.1.1 Programme de comparaisons de photomètres mesureurs d'ozone **102**
 - 6.1.2 Comparaisons à l'aide de l'équipement pour le tirage en phase gazeuse **103**
 - 6.1.3 Équipement pour les comparaisons d'étalons de monoxyde d'azote **103**
 - 6.1.4 Maintenance de l'équipement pour le dioxyde d'azote et coordination des comparaisons CCQM-K74, CCQM-P110, CCQM-P120 **104**
 - 6.1.5 Comparaison clé d'étalons de méthane **105**
 - 6.1.6 Mise au point d'un équipement de génération de formaldéhyde **105**
 - 6.1.7 Mise au point d'un photomètre étalon de référence équipé d'un laser **105**
 - 6.2 Programme d'analyse organique **106**
 - 6.2.1 Mise au point des méthodes **107**
 - 6.2.2 Analyse de pureté du calibrateur primaire de pesticide (aldrine) **108**
 - 6.2.3 Etudes des calibrateurs de peptides **109**
 - 6.2.4 Coordination des comparaisons du CCQM pour l'évaluation de fractions massiques de matériaux purs **109**
 - 6.2.5 Comparaison de pureté CCQM-K55.a (estradiol) **109**
 - 6.2.6 Comparaison de pureté CCQM-K55.b (aldrine) **110**
 - 6.3 Activités liées au JCTLM **111**
 - 6.4 Activités liées à la métrologie en matière de bioanalyse **112**
 - 6.5 Activités liées au travail des Comités consultatifs **113**
 - 6.6 Comparaisons du CCQM coordonnées par le BIPM **114**
 - 6.7 Activités en liaison avec des organisations extérieures **114**
 - 6.8 Publications, conférences et voyages : section de chimie **115**
 - 6.8.1 Publications extérieures **115**
 - 6.8.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **116**
 - 6.9 Visiteurs de la section de chimie **119**
 - 6.10 Chercheurs invités **120**

- 7 Balance du watt **120**
 - 7.1 Balance du watt **120**
 - 7.2 Publications, conférences, voyages **123**
 - 7.2.1 Publications extérieures **123**
 - 7.2.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **123**
 - 7.3 Visiteurs **124**

- 8 La base de données du BIPM sur les comparaisons clés, KCDB **124**
 - 8.1 Contenu de la KCDB **124**
 - 8.1.1 Comparaisons clés et supplémentaires **124**
 - 8.1.2 Aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages – CMCs **126**
 - 8.2 Visites du site de la KCDB **128**
 - 8.3 Publicité et Newsletters de la KCDB **129**
 - 8.4 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) : KCDB **129**
 - 8.5 Activités en liaison avec des organisations extérieures **129**
 - 8.6 Activités liées au travail des Comités consultatifs **130**
 - 8.7 Visiteurs **131**

- 9 Le Comité mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM, JCRB **131**
 - 9.1 AFRIMETS reconnue comme extension de SADC MET **131**
 - 9.2 Évaluation des Systèmes Qualité **131**
 - 9.3 Nouveaux documents en cours d'examen **132**
 - 9.4 Compte rendu des Comités consultatifs et de leurs Groupes de travail **132**
 - 9.4.1 Périodicité des examens des CMCs **132**
 - 9.4.2 Travail et questions liés au « dispositif soumis à mesure » **133**
 - 9.4.3 Politique en matière de traçabilité dans le CIPM MRA **133**
 - 9.4.4 Catégories de services de « niveau inférieur » **134**
 - 9.5 Activités communes au BIPM et à l'ILAC **134**
 - 9.6 Forum sur la coordination des activités internationales des laboratoires nationaux de métrologie **134**
 - 9.7 JCDCMAS **135**

- 9.8 Publications, conférences et voyages : JCRB **136**
 - 9.8.1 Nouveaux documents sur le CIPM MRA **136**
 - 9.8.2 Documents révisés sur le CIPM MRA **136**
 - 9.8.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **137**
- 9.9 Activités liées au travail sur la Convention du Mètre **138**
- 9.10 Visiteurs **140**

- 10 Publications et informatique **141**
 - 10.1 Rapports du CIPM et de ses Comités consultatifs **141**
 - 10.2 *Metrologia* **142**
 - 10.3 Le site Web du BIPM **143**
 - 10.4 Informatique **144**
 - 10.5 Voyages (conférences et visites) : section publications et informatique **145**

- 11 Réunions et exposés au BIPM **145**
 - 11.1 Réunions **145**
 - 11.2 Présentations au BIPM **146**

- 12 Certificats et Notes d'étude **147**
 - 12.1 Certificats **147**
 - 12.2 Notes d'étude **150**

- 13 Finances, administration et services généraux **151**
 - 13.1 Comptes **151**
 - 13.2 Personnel **152**
 - 13.2.1 Engagements **152**
 - 13.2.2 Promotions et changements de grade **153**
 - 13.2.3 Changements de titre **153**
 - 13.2.4 Changements et transferts de postes **154**
 - 13.2.5 Chercheur associé **154**
 - 13.2.6 Décès **154**
 - 13.2.7 Départs **154**
 - 13.3 Bâtiments **154**
 - 13.3.1 Grand Pavillon **154**
 - 13.3.2 Petit Pavillon **155**
 - 13.3.3 Observatoire **155**
 - 13.3.4 Bâtiment des rayonnements ionisants **155**
 - 13.3.5 Lasers **155**
 - 13.3.6 Nouveau Pavillon **155**

13.3.7 Extérieurs et parc **155**

13.4 Voyages : section Finance, administration et services
généraux **156**

14 Secrétariat **156**

15 Atelier de mécanique et entretien du site **157**

Liste des sigles utilisés dans le présent volume 159

ÉTATS MEMBRES ET ASSOCIÉS À LA CONFÉRENCE GÉNÉRALE

au 30 juin 2009

États Membres

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

Associés à la Conférence générale

Albanie	Estonie
Bélarus	Géorgie
Bolivie	Hong Kong, Chine
CARICOM	Jamaïque
Costa Rica	Kenya
Cuba	Lettonie
Équateur	Lituanie

.../...

Associés à la Conférence générale (cont.)

Macédoine (ex-République
yougoslave de)
Malte
Moldavie (Rép. de)
Panama
Paraguay
Pérou

Philippines
Slovénie
Sri Lanka
Taïpei chinois
Tunisie
Ukraine
Viet Nam

LE BIPM

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

Le BIPM 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 BIPM fonctionne sous la direction et la surveillance exclusives 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 BIPM. Le CIPM comprend dix-huit membres de nationalité différente ; il se réunit actuellement tous les ans. Le CIPM adresse aux Gouvernements des États Membres un rapport annuel sur la situation administrative et financière du BIPM.

La CGPM rassemble des délégués de tous les États Membres et se réunit actuellement tous les quatre ans dans le but :

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

Limitées à l'origine aux mesures de longueur et de masse et aux études métrologiques en relation avec ces grandeurs, les activités du BIPM 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 dans le domaine 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 BIPM. Ils y font principalement des comparaisons internationales des réalisations des unités, des vérifications d'étalons et des recherches métrologiques. 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 BIPM en 1927, le CIPM 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 CIPM 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 CIPM ; il est généralement membre du CIPM. Les Comités consultatifs ont pour membres des laboratoires de métrologie et des instituts spécialisés, dont la liste est établie par le CIPM, qui envoient des délégués de leur choix. Ils comprennent aussi des membres nominativement désignés par le CIPM, et un représentant du BIPM (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 , particules chargées), 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 CIPM 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 CGPM et du CIPM sont publiés 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 CIPM 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 BIPM 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 CIPM, de même que le *Recueil de travaux du Bureau international des poids et mesures* (11 volumes publiés de 1966 à 1988).

Les travaux du BIPM 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 CIPM, 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 du BIPM.

LISTE DU PERSONNEL DU BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

au 30 juin 2009

Directeur : M. A.J. Wallard

Sous-directeur : M. M. Kühne

Masse : M. R.S. Davis

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

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

M. R. Felder, Mme A. Harmegnies, M. Z. Jiang, Mme H. Konaté,
M. J. Labot, M. W. Lewandowski, Mme G. Panfilo, M. G. Petit,
M. L. Robertsson, M. L. Tisserand, M. L.F. Vitushkin

Électricité : M. M. Stock

M. R. Chayramy, Mme E. de Mirandés, M. N. Fletcher, M. R. Goebel,
M. A. Jaouen, M. S. Solve

Rayonnements ionisants : Mme P.J. Allisy-Roberts

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

Chimie : M. R.I. Wielgosz

Mme T. Choteau, Mme A. Daireaux, M. E. Flores Jardines, M. F. Idrees¹,
M. R. Josephs, M. P. Moussay, M. M. Petersen, Mme J. Viallon,
M. S. Westwood

Publications et informatique :

Mme J.R. Miles, M. L. Le Mée

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

Mme S. Maniguet

Secrétariat : Mme F. Joly

Mme F. de Hargues, Mme C. Fellag-Ariouet, Mme D. Le Coz²

Finances, administration et services généraux : Mme B. Perent

Mme S. Arlen, M. F. Ausset, Mme L. Dell'Oro, Mme D. Etter,
Mme M.-J. Martin

Hôtesse d'accueil : Mme I. Neves

Agents de sécurité : M. E. Dominguez³, M. C. Neves³

Agents d'entretien : Mme A. Da Ponte, Mme A. Dominguez,
Mme M.-J. Fernandes

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

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

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

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

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

1 Également à la section Masse.

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 2008 – 30 juin 2009)

1 INTRODUCTION

1.1 Introduction générale et résumé des activités de l'année

C'est avec plaisir que je vous présente les activités du BIPM pour l'année 2008/2009 dans ce rapport qui constitue le compte rendu annuel le plus détaillé de nos activités aux gouvernements. C'est également un véritable document d'archives du travail accompli par ce qui est, me semble-t-il, la deuxième organisation intergouvernementale la plus ancienne au monde.

Le BIPM continue à remplir la mission initiale dont il a été investi en 1875, à savoir assurer l'équivalence des étalons du monde entier. Son rôle et l'étendue de sa mission ont bien entendu fortement évolué au fil des ans. Outre le fait de répondre aux besoins métrologiques dont nous font part les gouvernements et laboratoires nationaux de métrologie des États Membres, je suis stupéfait du nombre d'organisations intergouvernementales et d'organismes internationaux avec lesquels nous collaborons pour mener à bien notre mission. Dans certains cas, comme avec l'Organisation internationale de métrologie légale (OIML) et l'International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC), ces partenaires « naturels » appartiennent à la communauté de la métrologie, mais le BIPM est souvent contacté par d'autres types d'organismes qui souhaitent collaborer avec nous. Au cours de l'année passée, le BIPM a tout particulièrement renforcé ses liens avec, entre autres, l'Agence mondiale antidopage (AMA), la Food and Agriculture Organization (FAO) et l'International Federation of Clinical Chemistry (IFCC). Le facteur qui incite ces organismes à coopérer avec le BIPM est le rôle clairement défini et officiel que nous jouons dans l'établissement de mesures traçables et exactes, fondées sur des systèmes de référence internationaux stables. Cela témoigne, je le pense, de la sagesse des décisions prises il y a plus d'une dizaine d'années, d'étendre les activités métrologiques du BIPM au domaine de la chimie, et cela reflète le succès de l'Arrangement de reconnaissance mutuelle du CIPM (MRA). Le succès du CIPM MRA dans les domaines de la physique et de l'ingénierie a démontré ce qu'il est possible de faire pour renforcer la confiance vis-à-vis du système de mesure mondial dans ces domaines et la tendance, aujourd'hui, est d'adopter et d'adapter les principes du CIPM MRA dans de nouveaux domaines. Cette évolution, me semble-t-il, est un signe pour les États Membres de l'importance de la volonté du BIPM de s'orienter vers de nouveaux domaines et de la nécessité de faire preuve d'audace dans le développement de nos collaborations et partenariats internationaux, afin de remplir les objectifs qui nous ont été fixés par la Convention du Mètre. Cette diversification de nos

activités commence à porter ses fruits. Comme nous entrons dans la phase de préparation de la réunion de la Conférence générale de 2011, j'espère que les États Membres continueront à apporter leur ferme soutien au BIPM et à son nouveau directeur.

1.2 Programme de travail scientifique du BIPM

L'année 2009 marque le début du programme de travail de quatre ans approuvé lors de la 23^e réunion de la Conférence générale des poids et mesures (CGPM) en 2007, au cours de laquelle il a été décidé d'allouer au BIPM une dotation inférieure à celle requise par le CIPM. Il a également été demandé au CIPM d'établir un ordre de priorité concernant les activités proposées pour le programme de travail.

Il est tout de suite clairement apparu que les dispositions financières résultant de la 23^e réunion de la CGPM étaient insuffisantes pour mettre pleinement en œuvre le programme de travail conséquent, initialement proposé pour la période de 2009 à 2012. Il a donc été nécessaire d'établir des priorités afin de faire concorder le programme de travail et les ressources avec les contributions financières que l'on prévoit de recevoir des États Membres et Associés, ainsi que d'autres sources.

Cette hiérarchisation des priorités demandée par la CGPM a été finalisée au cours de la session d'octobre 2008 du CIPM. Même si je suis heureux de pouvoir dire que l'essentiel du travail scientifique fondamental du BIPM pourra se poursuivre, certains projets d'importance devront être ajournés jusqu'à ce nous bénéficions de ressources suffisantes pour les reprendre, et nous mettrons fin à certaines activités actuelles afin de pouvoir lancer des projets de plus grande priorité.

Étant donné que le BIPM a un rôle unique à jouer dans la dissémination de l'unité de masse auprès des États Membres, et que l'on prévoit de parvenir à une redéfinition du kilogramme au cours des prochaines années, la plus grande priorité du CIPM par rapport aux activités du BIPM est de soutenir la métrologie des masses. Cela implique de continuer le travail sur le développement d'une balance du watt au BIPM, qui sera nécessaire pour mettre en pratique la redéfinition proposée du kilogramme et pour améliorer les moyens de sa dissémination aux États Membres, afin de répondre aux besoins à venir. Toutes les activités proposées dans ce domaine seront poursuivies. Une partie de ces activités concerne la préparation d'un ensemble de masses qui serviront d'étalons de travail au BIPM et seront fabriquées en ayant recours aux meilleures technologies disponibles. Cela sera réalisé en

collaboration avec un certain nombre de laboratoires nationaux de métrologie ayant des compétences spécifiques et faisant preuve d'un intérêt particulier dans ce domaine.

La deuxième plus grande priorité du CIPM est de maintenir les activités du BIPM liées à la création de l'échelle de temps de référence mondiale et du réseau international de liens horaires. Ces activités seront également retenues, tel que cela a été proposé.

Dans le domaine de l'électricité, le programme consiste à continuer les comparaisons sur site proposées aux laboratoires nationaux de métrologie à l'aide des étalons voyageurs du BIPM, et à achever la construction du condensateur calculable qui servira d'équipement de référence au niveau international.

Les éléments essentiels du programme des rayonnements ionisants concernant la dosimétrie et la radioactivité, fondés sur les équipements de référence du BIPM, seront conservés.

Le programme de chimie vise à consolider les activités de la section dans le domaine de la métrologie des gaz, et à étendre son travail à la chimie organique, en particulier en ce qui concerne la caractérisation de la pureté des calibrateurs destinés à être utilisés dans des comparaisons clés.

Quant au travail de liaison internationale, il s'agira principalement de promouvoir les bénéfices d'une collaboration avec le BIPM et de renforcer nos liens avec les organismes internationaux d'accréditation et de normalisation.

Toutefois, afin de disposer des ressources nécessaires pour atteindre ces objectifs prioritaires, d'autres activités importantes ont malheureusement dû être restreintes, avec pour conséquence :

- la réduction du nombre d'étalons voyageurs qui seront achetés pour être utilisés pour l'étalonnage sur site d'équipements nationaux de réception du temps. Un nouveau projet a pour objectif de trouver des alternatives à l'utilisation d'étalons voyageurs pour ce type d'étalonnage ;
- la fermeture fin 2008 de l'installation pour la préparation des cuves à iode. Le BIPM a contacté un certain nombre de laboratoires nationaux de métrologie intéressés par la reprise de ce service pour les utilisateurs ayant besoin de cuves à iode pour leurs lasers stabilisés et leurs équipements de gravimétrie ;
- la réorganisation d'un projet de développement d'un nouvel étalon de tension qui serait utilisé pour les comparaisons sur site d'étalons électriques dans les laboratoires nationaux de métrologie, afin de conserver nos ressources en personnel ;

- l'ajournement de l'extension des équipements de référence du BIPM pour les mesures d'activité des émetteurs de particules alpha ;
- l'annulation ou l'ajournement de certains projets en métrologie des gaz. Un projet particulièrement intéressant de contrôle de la qualité de l'air ne sera notamment pas lancé.

En faisant des économies, en réorganisant ses services de soutien et en reportant les travaux d'entretien des bâtiments, le BIPM est parvenu à réduire significativement ses frais généraux.

Afin de pouvoir décider des activités à retenir ou à lancer en janvier 2009, le CIPM a soigneusement étudié les contributions financières de nouveaux États Membres et de nouveaux Associés sur lesquels on pouvait tabler. Le scénario de financement prudent adopté par le CIPM prévoit l'adhésion de deux nouveaux États Membres et de cinq nouveaux Associés entre 2009 et 2012. Au cours des dernières années, le BIPM a accru ses efforts pour attirer de nouveaux États et son opiniâtreté commence à porter ses fruits puisque le nombre de Membres est désormais de 53 (soit deux Membres de plus) et le nombre d'Associés de 27. Nous avons donc déjà atteint notre objectif et le BIPM est en discussion avec plusieurs autres États qui ont fait part de leur intérêt à devenir Membre ou Associé ; vous trouverez plus d'informations à ce sujet à la section 1.5. Par ailleurs, un certain nombre de laboratoires nationaux de métrologie d'États Membres ont proposé d'apporter une contribution discrétionnaire supplémentaire. Je leur suis tout particulièrement reconnaissant. Je souhaite également exprimer ma gratitude envers un certain nombre de laboratoires nationaux de métrologie et d'États Membres qui ont apporté leur aide au BIPM lors d'arrangements bilatéraux, lors de l'ajustement de programmes de travail dans le but d'atteindre des objectifs communs, et dans le cadre d'envoi de personnel détaché.

1.3 Le Système international d'unités (SI)

Peu de changements sont à noter en ce qui concerne la potentielle redéfinition d'un certain nombre d'unités du SI. Les Comités consultatifs concernés ont examiné la question lors de leurs réunions et sont parvenus à un consensus ferme concernant :

- une redéfinition du kilogramme fondée sur une valeur fixée de la constante de Planck, h ;
- une redéfinition de l'ampère fondée sur une valeur fixée de la charge élémentaire, e ;

- une redéfinition du kelvin fondé sur une valeur fixée de la constante de Boltzmann, k_B ; et
- une redéfinition de la mole fondée sur une valeur fixée de la constante d'Avogadro, N_A .

Toutefois, malgré quelques progrès impressionnants réalisés au cours de l'année passée par les laboratoires nationaux de métrologie, le degré de convergence entre les résultats des expériences de la balance du watt et ceux du projet de Coordination internationale Avogadro (IAC) est encore insuffisant pour permettre de sélectionner en toute confiance une valeur pour la constante de Planck. On espère que les deux approches permettront d'obtenir de nouveaux résultats au cours de l'année prochaine. Le CIPM continuera à examiner si le moment est opportun pour présenter des propositions de redéfinition des unités de base du SI lors d'une réunion de la CGPM.

1.4 L'Arrangement de reconnaissance mutuelle du CIPM (MRA) et le JCRB

L'Arrangement du CIPM a désormais été signé par les laboratoires nationaux de métrologie de 47 États Membres et de 25 Associés, ainsi que par deux organisations internationales, ce qui porte le nombre total de laboratoires signataires et désignés participant au CIPM MRA à 197. On compte 21 000 aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages (CMCs), 659 comparaisons clés et 212 comparaisons supplémentaires dans la base de données du BIPM sur les comparaisons clés (KCDB), par rapport à 620 comparaisons clés et 181 supplémentaires à la date de rédaction du précédent rapport.

La *KCDB Newsletter*, actuellement dans sa 10^e édition, constitue toujours un moyen privilégié pour promouvoir le travail du BIPM et mettre en valeur les succès du CIPM MRA en matière de réduction des coûts par le recours aux laboratoires nationaux de métrologie au niveau local, ainsi que les bénéfices scientifiques générés par un renforcement de la confiance vis-à-vis des aptitudes de mesure.

Le Comité mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM (JCRB) continue à suivre la mise en œuvre du CIPM MRA. Je suis heureux de prendre acte de la mise en place de l'AFRIMETS sur le continent africain, mentionnée à la section 1.6 du présent rapport, section concernant la dernière réunion du CIPM. La création de l'AFRIMETS a motivé un certain nombre de ses États à exprimer leur intérêt à devenir État Membre du BIPM ou Associé à la Conférence générale. Des initiatives similaires sont en projet dans la région

du Golfe arabo-persique et le JCRB a rencontré des représentants de GULFMET. Le BIPM considère que cela encourage la formation de groupements régionaux d'importance qui pourront avoir un rôle clé pour mettre en œuvre le CIPM MRA et attirer d'autres signataires.

Au cours de l'année passée, le CIPM a approuvé deux documents accessibles en ligne sur le CIPM MRA : un guide des règles actuelles concernant le CIPM MRA, et un résumé des procédures de gestion des CMCs. Ces deux documents sont disponibles sur la partie consacrée à l'Arrangement du CIPM du site Web du BIPM (www.bipm.org/en/cipm-mra/documents/).

Comme indiqué précédemment, le BIPM et l'ILAC se sont mis d'accord sur une définition et une interprétation communes du terme « aptitude en matière de mesures et d'étalonnages (CMC) ». Ce terme remplacera progressivement celui de « meilleure aptitude de mesure (BMC) » utilisé depuis de nombreuses années par la communauté de l'accréditation. Cette nomenclature commune aidera les laboratoires nationaux de métrologie et les laboratoires accrédités à œuvrer ensemble afin d'assurer une traçabilité robuste des résultats de mesure des laboratoires accrédités aux unités du SI, telles que réalisées par les laboratoires nationaux de métrologie. Afin de répondre aux demandes des utilisateurs, les Comités consultatifs du CIPM acceptent désormais d'ajouter la contribution du dispositif soumis à mesure aux incertitudes devant être associées aux étalonnages. Les Comités consultatifs et l'ILAC travaillent à l'identification d'une plus large gamme de catégories de services pour les CMCs, ce qui permettra de répondre aux besoins d'un certain nombre de laboratoires nationaux de métrologie et d'harmoniser la portée des laboratoires accrédités par rapport aux CMCs déclarées par les laboratoires nationaux.

1.5 États Membres et Associés

La précédente augmentation du nombre d'États Membres du BIPM date de 2001, avec l'adhésion de la Grèce et de la Malaisie. C'est donc avec grand plaisir que je vous annonce que les Républiques de Croatie et du Kazakhstan sont devenues Membres en 2008, après avoir eu le statut d'Associé pendant un certain temps. Ce passage du statut d'Associé à celui de Membre est fortement encouragé par le CIPM, comme l'ont demandé les États Membres lors de la dernière réunion de la CGPM. Par ailleurs, le Paraguay et le Pérou sont devenus Associés à la CGPM au cours de la période couverte par ce rapport (juillet 2008 – juin 2009). Le BIPM est en contact avec un certain nombre d'autres États qui ont exprimé leur intention de devenir soit Membres du

BIPM, soit Associés à la CGPM, ainsi qu'avec certains Associés qui réfléchissent à la possibilité de devenir Membres.

1.6 Réunion du CIPM

La 97^e session du CIPM s'est tenue en octobre 2008. Mme Kwang Hwa Chung, M. Hector Nava Jaimes et M. Willie E. May ont pris pour la première fois leurs fonctions au sein du CIPM, et nous leur souhaitons la bienvenue.

Comme précédemment mentionné, les principales décisions du CIPM ont porté sur l'établissement des priorités du programme de travail du BIPM pour la période allant de 2009 à 2012. Le CIPM a reconnu la nouvelle organisation régionale de métrologie, l'AFRIMETS, comme successeur de SADC MET et comme membre du JCRB. Le CIPM a également approuvé les projets concernant l'organisation d'un événement d'envergure pour célébrer le 10^e anniversaire de l'Arrangement du CIPM, à savoir un symposium spécial qui se tiendra à une date proche de la réunion des directeurs des laboratoires nationaux de métrologie en octobre 2009.

D'autres discussions et décisions ont concerné les critères devant servir à approuver la création de nouvelles organisations régionales de métrologie, la ligne à suivre par les laboratoires nationaux de métrologie pour faire état de leur traçabilité au SI lorsqu'ils déclarent des CMCs, ainsi qu'un certain nombre de questions liées à l'application du CIPM MRA.

Par ailleurs, le CIPM a tenu un atelier sur les objectifs à long terme du BIPM et sur sa stratégie scientifique : cela a permis d'identifier les priorités du programme de travail de 2013–2016 du BIPM qui sera présenté à la réunion de la CGPM en 2011. La possibilité d'instaurer des activités dans les domaines de la nanotechnologie et des biosciences fera partie des sujets qui seront à nouveau considérés par le CIPM en octobre 2009, lorsqu'il discutera de la première ébauche du programme de travail.

1.7 Comité commun pour les guides en métrologie (JCGM)

Lors de sa réunion en décembre 2008, le JCGM a approuvé la proposition de réviser le *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure* (le GUM), ainsi que celle de revoir et éventuellement mettre à jour le *Vocabulaire international de métrologie* (le VIM). La révision du VIM prendra selon toute vraisemblance plusieurs années et l'on commencera par examiner si les termes liés aux propriétés nominales doivent être inclus. Le texte original du GUM a été placé en accès libre sur le site Web du BIPM, sous la référence

JCGM 100:2008 (GUM 1995 avec des corrections mineures) à l'adresse www.bipm.org/en/publications/guides/. Le JCGM a également approuvé la constitution d'un groupe de travail *ad hoc* qui travaillera sur un certain nombre d'activités concernant les logiciels spécifiques au domaine de la métrologie.

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

En décembre 2008, le comité exécutif du JCTLM a discuté des rapports de ses deux groupes de travail et a examiné le statut des révisions des normes ISO 15194 et 15193, fondamentales pour le travail du Comité commun. Le JCTLM tient également à voir se réaliser des progrès plus rapides en ce qui concerne l'accréditation des laboratoires de référence selon la norme ISO 15195. La réunion du comité exécutif du JCTLM a été suivie d'un atelier sur la situation actuelle des systèmes nationaux et internationaux de traçabilité, au cours duquel l'on a discuté des solutions pour préparer un document de politique et de consultation, à l'intention des décisionnaires, sur la nécessité de porter une plus grande attention à la traçabilité dans les communautés de la médecine laboratoire et clinique.

1.9 Liaisons avec des organisations intergouvernementales et des organismes internationaux

Le BIPM continue à consacrer 20 % de ses ressources au travail de coordination et de liaison internationales, répartis entre l'activité générale de liaison et celle menée par les sections scientifiques afin de parvenir à remplir leurs missions et leurs objectifs.

Je suis heureux de noter les progrès accomplis sur l'étude effectuée par le CIPM concernant les besoins en matière de mesure et de traçabilité dans le domaine des matériaux. Le rapport de cette étude est disponible sur le site Web du BIPM à l'adresse <http://www.bipm.org/utills/common/pdf/WGMM2008.pdf>. En juin 2008, le BIPM a signé un protocole d'accord avec le Versailles Project on Advanced Materials and Standards (VAMAS), et il a été demandé au VAMAS d'identifier les thèmes prioritaires et d'entrer en contact avec les Comités consultatifs concernés. La métrologie des matériaux fait désormais partie des sujets couramment pris en considération par un certain nombre de Comités consultatifs. Un numéro spécial de *Metrologia* consacré à ce thème est en cours d'élaboration et devrait être publié en 2010.

Par ailleurs, des progrès ont été réalisés pour la conclusion d'un accord avec l'Organisation météorologique mondiale (OMM) définissant les conditions

président à sa signature du CIPM MRA. Ces conditions spécifiques sont nécessaires car l'OMM, contrairement aux autres organismes internationaux qui ont déjà signé le MRA, ne dispose pas de laboratoires propres. Le BIPM travaille également avec l'OMM afin d'organiser un atelier sur la métrologie et le changement climatique en février 2010.

Enfin, le BIPM a signé un protocole d'accord avec l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel (ONUDI) en décembre 2008. Le but de cet accord est d'encourager la collaboration entre les deux organisations et l'OIML, afin d'aider à renforcer les infrastructures de métrologie dans un certain nombre de régions, de promouvoir l'utilité de la métrologie pour le commerce et de renforcer les aptitudes de mesure.

1.10 Le BIPM et l'Organisation internationale de métrologie légale (OIML)

Suite aux discussions entre les directeurs du BIPM et du BIML, un certain nombre de possibilités en faveur de relations plus étroites et d'un rapprochement ont été considérés, comme une colocation sur le site du BIPM. Les États Membres de l'OIML ont discuté de ces options et ont considéré qu'une réflexion plus poussée était nécessaire à ce sujet. Le BIPM et le BIML continueront à travailler en étroite collaboration.

1.11 École d'été du BIPM sur la métrologie

Comme indiqué dans le précédent rapport, l'école d'été du BIPM sur la métrologie de 2008 s'est tenue du 29 juin au 11 juillet 2008 au BIPM. Andrew Wallard (directeur du BIPM), Alan Steele (NRC-INMS, Canada) et Mike Sargent (LGC, Royaume-Uni) étaient co-directeurs de cette école d'été, et Claudine Thomas (BIPM) en était la secrétaire scientifique.

Au total, 90 étudiants venant de 34 États Membres du BIPM ou Associés à la CGPM ont participé à cet événement, et nous avons invité 42 professeurs à donner des cours ou à animer des activités lors d'ateliers. Ces professeurs étaient tous des spécialistes dans leur domaine, et l'on comptait parmi eux Mme Dava Sobel, journaliste scientifique, ainsi que trois lauréats du prix Nobel : Sir Harry Kroto, William Phillips et Klaus von Klitzing.

Le personnel du BIPM a également étroitement participé à cette école d'été. Outre Andrew Wallard et Claudine Thomas, plusieurs scientifiques éminents du BIPM ont ainsi donné des exposés, présidé des sessions ou organisé des ateliers. Des membres du personnel du BIPM ont aussi assisté à certains cours,

en tant qu'étudiants. Le programme de l'école comprenait par ailleurs des visites approfondies des laboratoires scientifiques du BIPM.

Le programme comprenait 39 cours portant sur quatre thèmes principaux : « From classical SI to new SI », « The international organization of metrology », « Metrology in physics and its applications » et « Metrology in chemistry and its applications ». L'école d'été a également proposé quatre ateliers (« Chemical methods », « Calculation of uncertainties by Monte Carlo », « Electricity: the quantum Hall effect » et « Quality Systems, Accreditation, ISO Guide 34, and the KCDB »), des visites complètes des cinq sections scientifiques du BIPM (y compris la fabrication des prototypes du kilogramme), une session au cours de laquelle les étudiants ont présenté 20 posters, une visite des laboratoires du Laboratoire National de Métrologie et d'Essais (LNE) à Trappes (France), et des activités culturelles dont une présentation de Dava Sobel, auteur de *Longitude*, dans la salle Cassini de l'Observatoire de Paris. Ces deux derniers événements ont été organisés en partenariat avec le LNE et l'Observatoire de Paris.

L'école d'été s'est déroulée dans une atmosphère studieuse, empreinte de concentration et de convivialité. Les documents utilisés ont été distribués aux étudiants et aux professeurs sur des clés USB portant le logo du BIPM, et ont également été mis en ligne sur le site Web à accès restreint consacré à l'école d'été.

Les réponses que les étudiants participants ont données à un questionnaire montrent que l'école d'été du BIPM sur la métrologie de 2008 a été un véritable succès, en particulier en ce qui concerne son objectif premier qui était d'encourager la coopération et la bonne entente entre les métrologues du futur.

1.12 Journée mondiale de la métrologie

Le thème de la Journée mondiale de la métrologie de 2009, « Mesures pour le commerce », a donné l'occasion au BIPM de promouvoir le dixième anniversaire du CIPM MRA. En collaboration avec le NIST (États-Unis d'Amérique), le NMIJ AIST (Japon), le NMISA (Afrique du Sud), le NPL (Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord), l'OIML et le NCSLI (NCSL International), le BIPM a créé un poster afin de soutenir et promouvoir le message annuel du directeur. Les documents sur la Journée mondiale de la métrologie ont été largement distribués et sont également disponibles sur le nouveau site Web consacré à cette Journée : <http://www.worldmetrologyday.org>. Cinquante posters différents dans 25 langues ont été fabriqués, ainsi que deux plaquettes de présentation en

anglais et en français. Nous avons eu connaissance de nombreux événements nationaux organisés par les États Membres et les Associés autour de cette Journée. Il est ainsi particulièrement intéressant de savoir qu'un certain nombre de laboratoires nationaux de métrologie, faisant partie d'États qui ne sont ni Membres ni Associés, ont également profité de cette Journée mondiale de la métrologie pour mettre en place des événements d'information. Leur objectif était d'attirer l'attention sur l'importance de la métrologie et de persuader les gouvernements de l'intérêt de s'impliquer dans le travail du BIPM.

1.13 Services de mesures et Système Qualité du BIPM

Le BIPM continue à fournir un nombre limité de services de mesures aux laboratoires nationaux de métrologie des États Membres. Tous les services externes du BIPM, et un certain nombre de ses services internes, répondent aux exigences du Système Qualité auto-déclaré conformément à la norme ISO/CEI 17025 du BIPM. En mars 2009, le BIPM a présenté son Système Qualité aux experts des organisations régionales de métrologie et a obtenu un certain nombre de commentaires utiles. Un lien a été créé entre les pages concernées de la KCDB et les incertitudes associées aux services de mesure et d'étalonnage du BIPM telles que publiées sur le site Web du BIPM. Ainsi, les laboratoires nationaux de métrologie qui assurent leur traçabilité au SI par l'intermédiaire du BIPM peuvent facilement repérer les incertitudes dont ils doivent tenir compte lorsqu'ils déclarent leurs CMCs. Cette modification a été très bien accueillie.

1.14 Santé et sécurité

Je suis heureux de vous annoncer qu'aucun incident n'est survenu au BIPM l'année passée. Le Comité Santé et Sécurité s'est réuni cinq fois au cours de la période couverte par ce rapport, et il continue à suivre l'analyse des risques menée par le bureau Veritas (France). Nous finalisons un nouveau manuel de sécurité et préparons également une feuille d'information sur la sécurité que nous remettons aux visiteurs ponctuels du BIPM. Par ailleurs, nous sommes dans les dernières étapes du recrutement d'un responsable Qualité, Santé et Sécurité au BIPM.

1.15 Personnel du BIPM

Michael Kühne a pris ses fonctions de sous-directeur et de directeur désigné en avril 2009 au BIPM. Il travaillait auparavant à la PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt) en Allemagne.

Un amendement à l'Accord de siège conclu entre le BIPM et le gouvernement français a finalement été ratifié par le Parlement français en juin 2008. Il prévoit, entre autres, la reconnaissance de la compétence du Tribunal administratif de l'Organisation internationale du travail (TAOIT) pour régler les différends avec le personnel.

Le CIPM a également approuvé un certain nombre d'amendements mineurs au Statut et Règlement du personnel.

Le nombre de personnes détachées ou recrutées pour de courtes durées a augmenté de manière significative au cours de ces dernières années. En 2008/2009, nous avons accueilli huit personnes en détachement (contre quatre en 2006 et sept en 2007) et embauché deux nouvelles personnes pour des contrats de courte durée. De cette manière, le BIPM maintient des liens directs avec les laboratoires nationaux de métrologie et les autres institutions envoyant du personnel en détachement. C'est également un excellent moyen d'aider le BIPM à élargir le champ de ses compétences dans certains domaines spécifiques.

Je tiens également à remercier solennellement l'ensemble des membres du personnel du BIPM pour le dur travail qu'ils ont fourni au cours de l'année passée, qui a été marquée – et continue de l'être – par de constantes évolutions. Je suis fier de la façon dont mes collègues ont su relever les défis.

1.16 Commissions du personnel du BIPM

La fusion d'un certain nombre de commissions en une seule sur les conditions d'emploi s'est déroulée de façon générale avec succès. Les principales discussions, cette année, ont porté sur le travail de préparation des modifications du Règlement de la Caisse de Retraite du BIPM, qui seront soumises au CIPM en octobre 2009 ; les membres de la commission ont fait à ce sujet des suggestions très intéressantes et constructives.

Parmi les autres commissions, je souhaiterais mentionner dans ce rapport le travail de la Commission des affaires sociales. Au cours de ces dernières années, le BIPM a engagé un certain nombre de jeunes membres du personnel originaires de différents pays. Le fait de devenir fonctionnaire international en France – ou dans n'importe quel autre pays au demeurant – implique un

changement de culture puisque l'on vient travailler dans un pays étranger. La Commission des affaires sociales du BIPM joue un rôle très important puisque sa mission est d'organiser des manifestations culturelles et festives afin de faciliter l'intégration des nouveaux membres à la « famille » du BIPM, de favoriser la convivialité et la solidarité vis-à-vis des nouveaux recrutés et également de contribuer à créer un esprit de cohésion pour l'ensemble du personnel du BIPM.

Je tiens à remercier tous les membres du personnel qui s'investissent considérablement pour représenter leurs collègues au sein des commissions.

1.17 Travail scientifique au BIPM

Masse : nous poursuivons notre travail de préparation d'une probable redéfinition du kilogramme qui pourrait avoir lieu dès 2011. Le projet de Coordination internationale Avogadro (IAC) touche à sa fin et nous contribuons, dans ce cadre, aux recherches en métrologie des masses. Le BIPM est désormais équipé d'une balance de précision dans le vide, d'une boîte à gants externe, et d'un système de transfert dans le vide acquis cette année. Cet équipement permettra de transférer vers notre balance des étalons de masse maintenus dans le vide ou dans une atmosphère inerte par le BIPM ou par des laboratoires nationaux de métrologie. La boîte à gants intègre une étuve à vide qui permet d'éliminer thermiquement sur la surface des sphères de silicium toute humidité pouvant subsister dans des conditions de vide à température ambiante.

Nous avons contribué, par une comparaison bilatérale, à confirmer l'incertitude assignée par le NPL aux étalons de masse qu'il utilise pour sa balance du watt. Le BIPM participe à une étude pilote dont le but est de déterminer les exigences techniques de la mise en pratique de la nouvelle définition du kilogramme. Un programme a été initié afin de créer un ensemble de douze artefacts de masse très voisine de 1 kilogramme, fabriqués dans trois matériaux différents et conservés dans le vide ou dans une atmosphère inerte. La masse moyenne de ces artefacts, déterminée à partir d'une moyenne pondérée, devrait constituer une représentation plus robuste que celle obtenue à partir d'un unique artefact pour le kilogramme une fois redéfini.

Le BIPM poursuit son service d'étalonnage afin de répondre aux demandes des États Membres. Nous avons renforcé ce service en réévaluant la masse de chacun de nos étalons de travail. Nous mettons au point un nouveau service pour l'étalonnage de capteurs d'humidité relative. Nous avons fabriqué de nouveaux artefacts destinés à être utilisés pour la détermination gravimétrique

de la masse volumique de l'air. L'automatisation d'un comparateur de masses allant de 100 g à 5 g est presque terminée et permettra d'améliorer nos performances dans cette plage de mesure (nécessaire pour les étalonnages internes du BIPM). Une comparaison bilatérale avec la PTB sur la masse volumique d'un cylindre de 1 kg en platine iridié a été réalisée avec succès. Nous participons à la comparaison EURAMET visant à tester les principales techniques utilisées pour la détermination des propriétés magnétiques des étalons de masse secondaires.

Trois des membres de la section ont contribué de façon essentielle au projet de la balance du watt du BIPM, en consacrant la majeure partie de leur temps à cette activité (voir section 7).

Temps, fréquences et gravimétrie : les échelles de temps internationales, le TAI et l'UTC, sont calculées chaque mois et les résultats publiés dans la *Circulaire T*, qui sert aussi à la mise à jour mensuelle des résultats de la comparaison clé CCTF-K001.UTC. La stabilité du TAI, exprimée sous forme de l'écart-type d'Allan relatif, est estimée à environ 4×10^{-16} pour des durées moyennes d'un mois. Pendant la période couverte par ce rapport, douze étalons primaires de fréquence, dont huit fontaines à césium (IT CSF1, LNE-SYRTE FO1, LNE-SYRTE FO2, LNE-SYRTE FOM, NICT CSF1, NIST-F1, NMIJ F1 et PTB CSF1), ont contribué à l'amélioration de l'exactitude du TAI. Une correction totale de fréquence de $-5,2 \times 10^{-15}$ a été appliquée pendant l'année à $[f(EAL) - f(TAI)]$. Depuis juillet 2008, l'unité d'échelle du TAI correspond, selon nos estimations, à la seconde du SI à environ 1×10^{-15} près.

Suite au succès de l'expérience pilote sur l'utilisation de mesures de phase et de code de récepteurs du GPS de type géodésique, le CCTF a approuvé, lors de sa réunion de juin 2009, l'intégration de cette méthode dans les comparaisons d'horloges pour le TAI. Les solutions fondées sur cette méthode (TAI PPP) seront utilisées, à partir d'octobre 2009, dans le calcul de routine de la *Circulaire T* pour au moins 25 liaisons horaires.

La section continue d'organiser et d'effectuer par aller et retour des étalonnages de récepteurs du GPS dans le but de caractériser les retards relatifs des équipements utilisés pour les comparaisons de temps des laboratoires participants. Les premières mesures des retards relatifs des équipements GLONASS ont été réalisées, et les suivantes sont en cours de préparation.

La section a fourni son aide aux différents groupes de travail du CCTF et du CCL, au sein desquels certains membres exercent des responsabilités. La section assure le secrétariat exécutif du CCTF et du CCL, et a activement participé à l'organisation des réunions des deux comités en juin 2009.

Dans le cadre du projet visant à améliorer l'algorithme utilisé pour le calcul du TAI et de l'UTC, un nouveau modèle de prédiction de la fréquence des masers à hydrogène a été testé. Ce nouveau modèle permet d'expliquer, en partie, la dérive observée entre les horloges industrielles et les étalons primaires à césium.

Un programme de recherche restreint de la section est dédié aux systèmes de référence spatio-temporels. La collaboration avec l'USNO pour le « Conventions Product Centre » du Service international de la rotation terrestre et des systèmes de référence (IERS) se poursuit. Les mises à jour des Conventions de l'IERS (2003) ont été publiées sur le site Web (<http://tai.bipm.org/iers/>). Concernant la réalisation de repères de référence pour des applications astrogéodynamiques, le personnel de la section a participé à la création d'un nouveau repère de référence céleste international dans le cadre des activités de l'UAI.

La section continue d'apporter ses conseils techniques concernant la comparaison clé de lasers stabilisés CCL-K11. La question de savoir quelle est la meilleure méthode pour valider les peignes de fréquence optiques reste ouverte, et fait l'objet d'un questionnaire qui sera distribué aux laboratoires nationaux de métrologie, comme l'a demandé le Groupe de travail commun au CCL et au CCTF sur les étalons de fréquence. La section fournit aussi des services de mesures et d'étalonnages de lasers pour des utilisateurs internes et externes.

En prévision de la fermeture annoncée du service de fourniture de cuves à iode du BIPM, de nombreux laboratoires nationaux de métrologie ainsi que d'autres utilisateurs ont fait des demandes de cuves à iode. Plus d'une vingtaine de cuves ont été remplies et testées au cours de la période couverte par ce rapport.

Le travail sur le gravimètre FG5-108, réalisé en collaboration avec le VNIIM (Féd. de Russie), est terminé. Les préparations de la prochaine Comparaison internationale de gravimètres absolus, l'ICAG-2009, ont été effectuées et le protocole technique de la comparaison clé CCM.G-K1 a été rédigé. Environ 25 gravimètres participeront à cette comparaison internationale, parmi lesquels 17 permettront de fournir des résultats pour la comparaison clé.

Des membres de la section participent aux activités liées aux projets de la balance du watt et du condensateur calculable du BIPM.

Le personnel de la section s'investit beaucoup dans le travail de coordination internationale nécessaire pour accomplir les tâches qui nous sont confiées par les États Membres. Dans le cadre de cette activité, les physiciens de la section ont été largement invités à donner des conférences et à visiter des laboratoires

nationaux. Un grand nombre d'articles ont été écrits pendant la période couverte par ce rapport ; 18 ont été publiés récemment et une dizaine d'autres sont sous presse.

Électricité : la section a concentré son travail sur : le programme de comparaison destiné à valider les étalons primaires nationaux pour les grandeurs électriques fondamentales ; les étalonnages effectués pour les laboratoires nationaux de métrologie des États Membres ; le projet de la balance du watt du BIPM ; et le condensateur calculable développé en collaboration avec le National Measurement Institute australien (NMIA).

Au total, neuf comparaisons ont été réalisées avec les laboratoires nationaux de métrologie dans les domaines de la tension, de la résistance et de la capacité. Le BIPM collabore avec la PTB afin de choisir les étalons voyageurs de capacité pour une comparaison qui sera effectuée dans le cadre du projet de recherche commun de l'EURAMET sur la redéfinition de l'ampère (REUNIAM).

Le laboratoire pour la métrologie des tensions a été rénové et permet désormais de mieux contrôler la température et l'humidité. Le bon fonctionnement du nouveau système automatique d'étalonnage des étalons de tension à diode de Zener par rapport à des réseaux Josephson a été démontré. Un nouveau système Josephson transportable pour les comparaisons sur site d'étalons de tension Josephson maintenus par les laboratoires nationaux de métrologie a été mis au point au cours de ces dernières années. Ce système est désormais opérationnel, bien que sa fiabilité nécessite encore d'être améliorée.

Dans le domaine des mesures d'impédance, la longue absence de deux membres de la section nous a obligés à nous concentrer sur la maintenance de l'équipement nécessaire pour la réalisation des unités de résistance et de capacité, dérivées de l'effet Hall quantique, ainsi que sur les comparaisons et les étalonnages effectués pour les laboratoires nationaux de métrologie. Un nouveau cryostat équipé d'un aimant supraconducteur, nécessaire pour l'étalon de résistance à effet Hall quantique, a été commandé en fonction de nos besoins spécifiques afin de remplacer le système existant qui présentait une fuite du froid.

En collaboration avec le NMIA, le BIPM construit deux condensateurs calculables de conception améliorée pour mesurer la constante de von Klitzing avec une incertitude relative de l'ordre de 1×10^{-8} , afin de contribuer au prochain ajustement des constantes fondamentales de CODATA. L'atelier du BIPM a terminé de fabriquer un grand nombre de pièces mécaniques. Le NMIA a fait des progrès en ce qui concerne le polissage des barres d'électrode, qui constituent les éléments fondamentaux des condensateurs. Nous espérons

recevoir les électrodes et les vis-mères du NMIA au premier semestre de 2010. Le BIPM a testé la configuration optique de l'interféromètre de Fabry-Perot et a travaillé sur le dispositif optique nécessaire pour coupler le faisceau laser à la cavité de l'interféromètre. La mise au point d'une technique permettant de déterminer la puissance optique des modes d'ordre supérieur de la cavité est particulièrement importante. Nous espérons que cette technique permettra d'obtenir un alignement suffisant du faisceau laser avec l'axe optique de la cavité, et d'estimer l'incertitude de mesure associée.

Le travail sur la mise au point d'un étalon de tension de Josephson spécifiquement conçu pour la balance du watt du BIPM a commencé. Le responsable de la section Électricité dirige l'expérience de la balance du watt et les membres de sa section ont apporté leur expertise technique au sujet de plusieurs questions relatives aux mesures électriques.

Au cours de la période couverte par ce rapport, la section a délivré 35 certificats d'étalonnage et 1 note d'étude à 13 laboratoires nationaux d'États Membres. Ces chiffres sont légèrement inférieurs à ceux des cinq dernières années (50 certificats) mais se situent dans le niveau de fluctuations normal. Des étalonnages de tension (à 1,018 V et 10 V), de résistance (de 1 Ω , 100 Ω et 10 k Ω) et de capacité (de 1 pF, 10 pF et 100 pF) ont été effectués, à la demande principalement des laboratoires nationaux de métrologie qui ne possèdent pas leurs propres étalons primaires.

Balance du watt : nous continuons à travailler sur l'expérience à température ambiante afin de tester la faisabilité des mesures simultanées de force et de vitesse. Depuis la fin de 2008, l'ensemble des principaux composants de l'expérience sont fabriqués mais nombre d'entre eux ne sont pas encore dans leur configuration finale. Cela nous permet de tester différents aspects de l'expérience et d'y apporter des améliorations au fur et à mesure.

Une grande partie de notre travail a été consacrée à l'amélioration des mesures du rapport tension – vitesse lors des mouvements de la bobine. Afin de réduire le bruit, il nous faut comprendre en détail le fonctionnement des voltmètres et de l'interféromètre, et en particulier la synchronisation de leur base temporelle. Des mesures préliminaires ont été effectuées à l'aide de la cellule de pesée et nous ont permis de détecter des forces magnétiques indésirables, qui affectent potentiellement toutes les balances du watt. Un système mécanique d'alignement en temps réel de la bobine mobile a été mis au point et est actuellement testé.

La collaboration avec le département de machines-outils de l'université technique (RWTH) d'Aix-la-Chapelle (Allemagne) pour la fabrication de l'aimant se poursuit. Les schémas mécaniques de l'aimant et des dispositifs

d'assemblage sont sur le point d'être finalisés : la prochaine étape consistera donc en leur fabrication et leur assemblage.

Nous avons déterminé la géométrie du bobinage du solénoïde de grande précision, qui deviendra notre référence pour l'alignement du champ magnétique, et nous l'avons jugée appropriée.

Le nouveau laboratoire disposant d'une large base en béton a vu le jour. Une seconde base en béton, de plus petite taille, servira aux mesures de l'accélération gravitationnelle au voisinage de la balance du watt. Avant d'estimer la valeur de l'accélération gravitationnelle au niveau des masses de test de la balance du watt, il a été nécessaire de déterminer à l'aide de notre gravimètre relatif la distribution relative de l'accélération gravitationnelle dans le laboratoire. Des mesures préliminaires du niveau de vibration du nouveau laboratoire indiquent qu'il est très faible.

Rayonnements ionisants : les nouvelles valeurs du kerma dans l'air dans les faisceaux de rayons x aux basses et moyennes énergies (reposant sur une étude majeure publiée sur les effets d'ouverture) et dans les faisceaux de rayonnement gamma pour le ^{137}Cs (fondées sur des mesures et tenant compte des études de Monte Carlo) ont été approuvées par le CCRI en mai 2009 et soumises pour publication. Une nouvelle série d'étalons primaires à cavité en graphite du BIPM a été construite et présente un accord en volume meilleur que 3×10^{-4} en valeur relative ; une chambre est désormais opérationnelle en tant qu'étalon primaire pour le kerma dans l'air et deux autres chambres font désormais partie du nouvel étalon du BIPM pour la dose absorbée dans l'eau, fondé sur le calorimètre en graphite. De plus, une chambre en plastique est à l'étude afin de poursuivre les recherches sur les effets de basse pression de l'air. Une étude sur la « valeur- I » pour le graphite a été soumise pour publication et pourrait avoir des implications significatives pour l'ensemble des étalons à cavité en graphite des laboratoires nationaux de métrologie.

Le calorimètre en graphite pour la dose absorbée dans l'eau a été utilisé dans le faisceau de ^{60}Co avec une reproductibilité satisfaisante de 2×10^{-3} et un rapport BIPM décrivant comment il est construit a été publié. Le calorimètre a été testé dans les faisceaux du ^{60}Co et de l'accélérateur linéaire du LNE-LNHB afin de le valider et de confirmer certains paramètres du protocole de comparaison de la dosimétrie des accélérateurs. La première comparaison de la série programmée de comparaisons en continu du BIPM a eu lieu au NRC (Canada) en juin 2009 : ses résultats sont en cours d'analyse et l'évaluation préliminaire semble très bonne.

La section a bien progressé en ce qui concerne l'étalon primaire pour la dosimétrie aux doses mammographiques. Toutefois, le fait de ne pas identifier

ce qui génère l'écart relatif de 2×10^{-3} par rapport à l'étalon actuel aux basses énergies nous retarde dans la finalisation de l'équipement pour les comparaisons en mammographie.

D'importantes améliorations ont été apportées aux équipements de rayons x afin d'accroître leur stabilité et d'étendre la zone de chevauchement des faisceaux aux basses et moyennes énergies. La section consacre une part significative de son travail à maintenir et à améliorer les équipements pour les étalons de rayonnements ionisants, en effectuant notamment les mesures nécessaires dans le cadre du Système Qualité. Fin 2008 a eu lieu un audit interne, suivi en mai 2009 par un audit externe satisfaisant.

Neuf comparaisons de dosimétrie ont été réalisées et trois rapports concernant d'autres comparaisons ont été publiés. Par ailleurs, une étude pilote a été menée sur la chambre à parois d'air libre du NIS (Égypte) afin que ce dernier puisse l'utiliser à l'avenir comme étalon primaire. Le BIPM est reconnaissant envers le chercheur invité de l'ININ (Mexique) qui a permis de réaliser des progrès importants en ce qui concerne les comparaisons de curiethérapie du CCRI. Le BIPM a piloté et a participé à une comparaison à haute dose dont les résultats sont en cours d'analyse. Vingt-trois étalons secondaires nationaux ont été étalonnés. Nous continuons par ailleurs à soutenir l'AIEA en irradiant régulièrement ses dosimètres pour le service de mesure fourni conjointement par l'AIEA et l'OMS.

La section a rédigé trois articles sur les étalons de dosimétrie des rayonnements pour le deuxième numéro spécial de *Metrologia* sur les rayonnements ionisants (46(2), 2009), qui a déjà été téléchargé un grand nombre de fois.

Alors que seulement neuf ampoules avaient été soumises en 2008 au BIPM pour des comparaisons de mesure en continu d'activité dans le Système international de référence (SIR), nous avons déjà reçu treize ampoules au premier semestre de 2009. C'est le signe d'une réaction positive des laboratoires nationaux de métrologie qui anticipent le retrait progressif de la KCDB des résultats antérieurs à 1984. Six nouveaux résultats ont été enregistrés dans le fichier maître du SIR et quatre rapports de comparaison, couvrant sept résultats, ont été publiés. Seules quelques mesures sont désormais en attente de publication, certains résultats devant être finalisés par les laboratoires nationaux de métrologie, d'autres ne pouvant être traités par manque de personnel. Les niveaux d'activité des impuretés ont été mesurés au moyen du spectromètre gamma Ge(Li) du BIPM pour trois ampoules soumises à des comparaisons et la section a bien progressé concernant l'étalonnage du spectromètre HpGe de remplacement. Le nouveau système de mesure du SIR a été vérifié et adopté, avec pour date d'entrée en vigueur le 1^{er} janvier 2009. Un

audit interne du SIR effectué dans le cadre du Système Qualité du BIPM a été réalisé avec succès au second semestre de 2008, puis un audit externe a eu lieu en juin 2009.

La comparaison d'essai du radionucléide $^{99}\text{Tc}^m$ à courte durée de vie a été menée avec succès au NPL à l'aide de l'instrument de transfert du SIR, ce qui a permis de faire parvenir l'instrument au NIST en mai 2009 pour la première des comparaisons en continu de radionucléides à courte durée de vie avec les laboratoires nationaux de métrologie plus éloignés. Les résultats de cette comparaison sont en cours d'analyse et l'évaluation préliminaire indique que la comparaison a parfaitement réussi à lier le résultat du NIST avec ceux d'autres laboratoires nationaux ayant participé au SIR pour ce radionucléide.

Nous avons à nouveau consacré beaucoup d'efforts cette année à la préparation de scintillateurs liquides pour l'extension du SIR aux émetteurs de rayonnement bêta pur. Les différences générées lors de la production des scintillateurs ayant été résolues, il s'agit désormais de tester leur efficacité. Parallèlement à ce travail sur la scintillation liquide, nous avons apporté des modifications à l'équipement pour la méthode du rapport des coïncidences triples aux coïncidences doubles afin d'améliorer le rapport signal sur bruit, et nous mettons en place la méthode de coïncidence de diffusion Compton. Les méthodes de calcul utilisées au BIPM sont en cours de vérification : nous les comparons pour ce faire avec celles d'autres laboratoires nationaux de métrologie.

Le BIPM pilote et participe à la comparaison des mesures d'activité du ^3H , et les résultats de la comparaison des mesures d'activité du ^{85}Kr gazeux que nous avons précédemment pilotée sont en cours d'analyse. Les mesures nécessaires dans le cadre du SIR pour lier les résultats de la comparaison de mesures d'activité du ^{177}Lu à la valeur de référence de la comparaison clé ont été effectuées, bien que nous n'ayons pas pu y participer directement en raison de notre manque de ressources. Un certain nombre de rapports de précédentes comparaisons de la Section II du CCRI sont en attente de publication, le travail sur l'extension du SIR aux émetteurs de rayonnement bêta ayant été considéré comme prioritaire.

Chimie : la section Chimie a mené à bien ses activités et a ainsi rempli à la fin de l'année 2008 les objectifs fixés par le programme de travail pour la période 2005-2008, au cours de laquelle 124 laboratoires nationaux de métrologie ont participé aux comparaisons coordonnées par le BIPM dans les domaines de la métrologie des gaz et de l'analyse de pureté de composés organiques. Les comparaisons CCQM-P20.e (pureté de la théophylline) et CCQM-20.f (pureté de la digoxine), pilotées par le BIPM, ont permis d'obtenir des modèles

valables de comparaison des calibrateurs primaires, d'améliorer les performances de laboratoire et d'étayer les systèmes de mesure de référence en médecine de laboratoire. Le programme commun au BIPM et au NIST visant à maintenir la comparabilité du réseau mondial d'étalons de référence mesurés d'ozone a été renforcé par les résultats de la comparaison BIPM.QM-K1 (ozone au niveau ambiant), pour laquelle la dispersion des résultats de laboratoire est désormais cohérente avec les incertitudes relatives de mesure déclarées, de l'ordre de 1×10^{-3} . Cela constitue une véritable amélioration en termes de performance, par rapport aux précédentes comparaisons telles qu'EUROMET 414 (dispersion des résultats supérieure à 1 % de la valeur mesurée) ou à la précédente étude pilote CCQM-P28. La comparaison CCQM-P73 (monoxyde d'azote) a permis d'étudier les degrés d'équivalence de 24 étalons en utilisant un système de mesure spécialement conçu à cet effet, dans des conditions de répétabilité, au BIPM. Les incertitudes de mesure obtenues ont été considérablement plus faibles que celles des précédentes études telles que CCQM-K1.c et EUROMET-K1.c. Les différences par rapport à la valeur de référence pour six cylindres de gaz, dues à des effets systématiques dans la préparation, ont été confirmées par des mesures supplémentaires par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier réalisées par le BIPM, et par la quantification des impuretés de N_2O et NO_2 .

Les activités du programme 2009-2012 de la section Chimie ont véritablement pu commencer. Concernant les comparaisons de calibrateurs primaires, une évaluation de la pureté du 17β -estradiol a été réalisée (CCQM-K55.a/P117.a) ; elle sera suivie des comparaisons clés CCQM-K55.b (pureté de l'aldrine) et CCQM-K55.c (pureté de la tétracycline). La mise au point de méthodes à appliquer lors de la préparation et de la détermination des caractéristiques du matériau d'étude pour la comparaison CCQM-K55.b (aldrine) a débuté. Ces trois comparaisons de pureté pilotées par le BIPM ont été mises en œuvre afin d'étayer toutes les CMCs concernant les matériaux organiques utilisés comme calibrateurs. Le BIPM a entrepris des recherches sur les méthodes de détermination des caractéristiques des matériaux purs pour des composés de poids moléculaire élevé et à structure complexe qui présentent un intérêt pour les groupes de travail du CCQM sur l'analyse organique et sur la bioanalyse. Les peptides ont été choisis comme systèmes modèles car ils concernent directement les programmes des deux groupes de travail. Le protocole de l'étude d'une solution d'étalonnage organique (CCQM-K78) est en cours de développement au BIPM.

Le programme en métrologie des gaz du BIPM continue à cibler les espèces difficiles à analyser qui présentent un intérêt pour le contrôle de la qualité de

l'air et des gaz à effet de serre. Un nouveau cycle de comparaisons d'étalons de référence mesureurs d'ozone (BIPM.QM-K1) a commencé, la majorité des photomètres étalons de référence mesureurs d'ozone ayant été mis à niveau en appliquant des corrections compensant les effets systématiques liés à la conception de la cellule et à l'asservissement en température. Des études de validation finale des comparaisons CCQM-K74/P110 (NO₂ dans l'azote, 10 µmol/mol) sont en cours : les 16 laboratoires nationaux de métrologie qui y ont participé soumettront 32 résultats. L'étude pilote analysera l'exactitude des méthodes de mesure par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier traçables soit aux étalons gravimétriques, soit aux spectres de référence. Cette étude pilote a été organisée suite aux ateliers du Groupe de travail du CCQM sur l'analyse des gaz portant sur les mesures spectroscopiques. Les études pour déterminer les incertitudes liées au titrage en phase gazeuse et à l'analyse de fraction molaire du monoxyde d'azote se poursuivent ; la mise au point d'équipements pour la comparaison d'étalons de méthane et de formaldéhyde a commencé. On a déterminé à nouveau la stabilité de puissance du laser à argon ionisé, qui sera utilisé pour les mesures de la concentration en ozone par absorption laser, ainsi que pour une nouvelle mesure de la section efficace de l'absorption de l'ozone.

L'élaboration du rapport sur les besoins en termes d'infrastructure métrologique dans les domaines des biosciences et de la biotechnologie progresse. On cherche à savoir quels services de mesure sont requis ou seront développés par les laboratoires nationaux de métrologie, quelles sont actuellement les exigences de l'industrie, quelles sont les comparaisons internationales nécessaires pour démontrer l'équivalence des services de mesure, et enfin, quelles sont les activités de recherche et développement à considérer pour parvenir à des méthodes et étalons de mesure d'ordre hiérarchique supérieur dans le domaine des biosciences. La section Chimie continue à collaborer à la base de données du JCTLM. Celle-ci a été mise à jour en janvier 2009 afin d'inclure le Cycle 5 des matériaux de référence nommés par le Groupe de travail 1, ainsi que le Cycle 3 des propositions de services de mesure de référence fournis par les laboratoires nommées par le Groupe de travail 2, approuvés par le comité exécutif en décembre 2008. En mai 2009, la base de données du JCTLM contenait 208 matériaux de référence certifiés disponibles, 146 méthodes ou procédures de mesure de référence, et 128 services de mesure de référence.

1.18 Publications, conférences et voyages du directeur et du sous-directeur*

1.18.1 Publications extérieures

1. Wallard A.J., News from the BIPM – 2008, *Metrologia*, 2009, **46**, 137-143.

1.18.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

A.J. Wallard :

- Teddington, (Royaume-Uni), du 29 au 31 juillet 2008, pour une réunion du « Measurement Board of the Department of Innovation, Universities, and Skills » ;
- Orlando, Floride (États-Unis), du 1^{er} au 10 août 2008, pour la National Conference of Standards Laboratories International (NCSLI) et pour une réunion du bureau de NCSLI ;
- San Pedro Sula (Honduras), du 29 septembre au 2 octobre 2008, pour l'assemblée générale du SIM ;
- Stockholm (Suède), les 20 et 21 octobre 2008, pour l'assemblée générale de l'ILAC ;
- Jakarta (Indonésie), du 2 au 8 novembre 2008, pour l'assemblée générale de l'APMP ;
- Dubrovnik (Croatie), du 10 au 13 novembre 2008, pour y faire un discours invité lors de la réunion de l'IMEKO sur les infrastructures métrologiques ;
- Vienne (Autriche), le 2 décembre 2008, pour signer le protocole d'accord entre le BIPM et l'ONUUDI ;
- San Diego (États-Unis), du 22 au 29 janvier 2009, pour assister à une réunion du bureau de NCSLI et discuter avec des représentants de l'US Navy ;
- Derby (Royaume-Uni), du 19 au 21 février 2009, pour une réunion du « Measurement Board of the Department of Innovation, Universities, and Skills » ;

* À partir du 1^{er} avril 2009.

- Ottawa (Canada), du 14 au 17 avril 2009, pour une réunion du conseil scientifique de l'Institut des étalons nationaux de mesure du NRC (Canada) ;
- Dubaï (Émirats Arabes Unis), du 3 au 5 mai 2009, pour une réunion avec l'organisation de normalisation du Conseil de Coopération du Golfe (GCC) visant à discuter de la formation d'une nouvelle organisation régionale de métrologie ;
- Teddington (Royaume-Uni), le 7 mai 2009, pour donner un séminaire sur la métrologie internationale.

M. Kühne :

- San Anton (Malte), du 8 au 10 juin 2009, pour assister à la 3^e assemblée générale de l'EURAMET e.V., pour présenter de façon générale le CIPM MRA et faire un compte rendu sur les activités récentes du BIPM ;
- NIS, Gizeh (Égypte), du 20 au 22 juin 2009, pour visiter le NIS et participer à l'établissement de l'organisation sous-régionale de métrologie NEWMET (North-East and West Africa Metrology Programme) faisant partie de l'AFRIMETS, et pour donner des informations sur le BIPM aux États membres de NEWMET (Ghana, Égypte, Éthiopie, Libye, Nigeria) ;
- PTB, Braunschweig (Allemagne), le 8 juillet 2009, pour discuter de la possibilité d'utiliser un accélérateur linéaire à électrons de la PTB afin que le BIPM puisse commencer ses activités de dosimétrie nécessitant un accélérateur.

1.19 Activités du directeur et du sous-directeur en liaison avec des organisations extérieures

Le directeur est membre du conseil scientifique de l'INRiM, Turin ; il est membre de l'Interdivisional Committee on Terminology, Nomenclature and Symbols de l'Union internationale de chimie pure et appliquée ; il est membre de la Commission C2 « Symbols, units, nomenclature, atomic masses and fundamental constants » (SUNAMCO) de l'Union internationale de physique pure et appliquée. Il est professeur associé de l'Institute of Mathematics and Physical Sciences de l'université du Pays de Galles à Aberystwyth. Il est membre du bureau de la National Conference of Standards Laboratories International (NCSLI) ; membre de l'Académie de métrologie de Russie et de l'Académie scientifique de Turin ; membre de l'UK's Pathfinder Programme Working Group et du National Measurement System Board of the Department for Business, Innovation and Skills ; membre du conseil de l'Institut des

étalons nationaux de mesure du NRC (Ottawa, Canada), et président du JCRB et du JCGM.

Le sous-directeur est membre de la Deutsches physikalische Gesellschaft (DPG), membre de l'Institute of Physics (Royaume-Uni), et membre du comité de rédaction de la revue *Measurement Science and Technology*. Il est professeur associé de la Faculté de mathématiques et physiques de l'université de Leibniz (Hanovre, Allemagne), et membre du comité consultatif scientifique de l'Institut Kiepenheuer de physique solaire (Fribourg, Allemagne).

2 MASSE (R.S. DAVIS)

2.1 Étalonnages

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

Pendant l'année passée, nous avons émis des certificats pour les prototypes de 1 kg en platine iridié suivants : n° 49 (Autriche), n° 55 (Allemagne), n° 66 (Brésil) et n° 69 (Portugal) (voir section 12). L'étalonnage de deux prototypes pour la Chine et d'un prototype pour la République tchèque est en cours.

Des certificats pour deux étalons de 1 kg en acier inoxydable ont été émis : l'un pour le CEM (Espagne), l'autre pour le NMC, A*STAR (Singapour). L'étalonnage de deux étalons de 1 kg en acier inoxydable a également été effectué pour le NML-SIRIM (Malaisie), et celui de deux étalons du VSL (Pays-Bas) est en cours.

La masse des trois nouveaux prototypes de 1 kg en platine iridié n°^{os} 93, 94 et 95 est en cours de vérification et de contrôle. Ces prototypes seront remis aux États Membres auxquels ils sont destinés au cours des six prochains mois.

Un réétalonnage des étalons de travail en platine iridié et en acier inoxydable du BIPM par rapport au prototype n° 25 a été réalisé en avril 2009.

Nous avons effectué quatre étalonnages de susceptibilité magnétique d'étalons de 1 kg en acier inoxydable : deux pour le NML-SIRIM et deux pour le VSL.

Le précédent rapport évoquait une étude sur la stabilité de la masse de deux étalons de 1 kg en acier inoxydable lors de leur transport d'un laboratoire à un autre. Comme ces deux étalons doivent être utilisés lors d'une prochaine comparaison clé, cette étude de stabilité a été entreprise car les contrôles de sécurité et douaniers des étalons en transit se font sans ménagement dans de

nombreux aéroports internationaux. Deux étalons de 1 kg en acier inoxydable ont donc été envoyés au NIST (États-Unis) afin que leur différence de masse y soit mesurée. Cette mesure a également été effectuée par le BIPM à deux reprises : avant l'envoi des étalons aux États-Unis et à leur retour. Les résultats du BIPM indiquent que la masse des deux étalons a augmenté de $2,4 \mu\text{g}$, avec une incertitude-type $u_c = 2 \mu\text{g}$; ce test montre ainsi que la différence de masse est restée constante lors du transport. Par conséquent, il est possible d'envisager d'expédier les étalons, plutôt que de les transporter à la main entre laboratoires participants, pour les comparaisons à venir.

2.1.2 Susceptomètre du BIPM (R.S. Davis)

Le BIPM a pris part à un projet de coopération en recherche de l'EURAMET sur les propriétés magnétiques des étalons de masse déterminées en utilisant les techniques recommandées pour la métrologie légale. Comme l'une des ces techniques est, principalement, d'utiliser le susceptomètre mis au point par la section des masses du BIPM, nous sommes contents de participer à ce projet qui compte actuellement 23 laboratoires participants et devrait durer deux ans. Le laboratoire pilote, à savoir la PTB (Allemagne), a récemment envoyé au premier participant, le BIPM, les échantillons voyageurs. Par ailleurs, nous avons fourni le logiciel mis à jour du susceptomètre, ainsi que des étalons auxiliaires, à l'équipe de la balance du watt du NIST (États-Unis), et nous fabriquons actuellement un susceptomètre que nous livrerons à l'INRIM (Italie) dans un futur proche. Enfin, nous avons vérifié la susceptibilité magnétique d'un échantillon de platine iridié fourni par Johnson-Matthey avant d'envoyer le lingot au NMIJ AIST (Japon).

2.2 Balance de portée maximale 100 g pour soutenir le programme d'étalonnages (C. Goyon-Taillade et R.S. Davis)

L'objectif de cette balance est d'améliorer l'efficacité de nos étalonnages des étalons de masse entre 100 g et 5 g. Le système se compose d'un comparateur de masse Mettler-Toledo AX106 du commerce et d'un échangeur de masse automatique fabriqué par l'atelier de mécanique du BIPM selon les plans de R. Spurný (SMU, Slovaquie) : les étalons, ou autres objets, sont placés sur une série de plateaux disposés le long d'une colonne verticale suspendue à la balance. Le logiciel gracieusement fourni par I. van Andel du VSL (Pays-Bas) a été adapté à nos instruments afin d'enregistrer des données de température, pression et humidité.

La balance est placée à l'intérieur d'une enceinte de verre. Le gradient vertical de température est d'environ $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre la partie supérieure et la partie inférieure de l'échangeur de masses. Nous avons cherché à améliorer l'isolation de la balance et le gradient a été réduit de moitié par l'ajout d'un écran en plexiglas. Les premiers tests réalisés pour la décade de 10 g à 100 g donnent des résultats encourageants. Pour la décade de 1 g à 10 g, nous avons fait fabriquer des étalons de masse auxiliaires qui répondent à des spécifications particulières, afin qu'ils s'intègrent facilement à notre échangeur de masse. Le but est d'utiliser ces étalons auxiliaires comme masses de transfert. Leur étalonnage peut être automatisé sur la balance de 100 g. Pour les étalons pesant moins de 5 g, un étalonnage supplémentaire est ensuite effectué manuellement à l'aide de notre balance Mettler-Toledo UMT5. Nous espérons que la balance de 100 g pourra être totalement opérationnelle l'année prochaine.

2.3 Balances servant aux programmes de recherche en cours de développement (P. Barat et A. Picard)

Comme nous l'avons mentionné dans le rapport de l'an passé, les erreurs de position du comparateur de masse Sartorius CCL 1007 utilisé sous vide ont été évaluées afin de réduire les incertitudes des déterminations de masse. Cette année, les erreurs de position dans l'air ont été étudiées. Pour les huit positions possibles du carrousel, elles restent inférieures à $1,7\text{ }\mu\text{g}$, avec une incertitude associée du même ordre. Ces résultats ne sont pas suffisamment exacts pour pouvoir exploiter pleinement le potentiel du comparateur de masse, c'est pourquoi une nouvelle évaluation des erreurs de position dans l'air est en cours ; cette fois, deux étalons de masse en acier inoxydable de volumes équivalents sont utilisés afin de réduire la correction due à la poussée de l'air et les effets de la dérive du zéro de la balance.

Notre logiciel LabVIEW a été mis à jour. Les programmes ont ainsi été réécrits comme cela avait été requis. Ces programmes servent à acquérir les données fournies par les instruments de mesure des paramètres de l'air (température thermodynamique de l'air T , humidité relative h , température du point de rosée t_r , pression barométrique p et fraction molaire de dioxyde de carbone dans l'air x_{CO_2}).

Nous avons expliqué l'an passé que certaines anomalies dans la détermination de la masse volumique de l'air avaient été observées depuis la rénovation complète de notre laboratoire fin 2006. De fait, nous pouvons suivre la différence de la masse volumique de l'air estimée à l'aide de deux méthodes :

d'une part, au moyen d'artefacts pour la mesure de la masse volumique de l'air (méthode de mesure gravimétrique) et d'autre part, en utilisant la formule la plus récente du CIPM pour la détermination de la masse volumique de l'air. Début 2007, la différence relative était de $2,5 \times 10^{-4}$. Aucun contaminant en quantité critique n'a été détecté dans l'air du laboratoire (une recherche de composés organiques volatils dans l'air ambiant a été réalisée par le NPL) et aucune explication évidente n'a été proposée. La différence relative de la masse volumique de l'air déterminée par les deux méthodes diminue avec le temps et, fin septembre 2008, elle était inférieure à 9×10^{-5} . Nous préférons, lorsque cela est possible, utiliser le procédé consistant à vider l'enceinte de son air et à injecter de l'air frais venant de l'extérieur du bâtiment. La différence relative de masse volumique de l'air entre les deux méthodes précédemment citées, obtenue par ce procédé est de $2,5 \times 10^{-5}$ ce qui reste dans les limites des incertitudes. L'évolution de cette différence reste problématique et fait l'objet d'une étude continue.

Trois projets majeurs sont en cours cette année (voir sections 2.5, 2.6 et 2.7). Nous avons démontré le potentiel du comparateur de masse Sartorius CCL 1007 à fournir des résultats de comparaisons de masse dans l'air ou dans le vide de la plus haute exactitude.

2.4 Système de transfert dans le vide (P. Barat et A. Picard)

Le système de transfert dans le vide commandé auprès de la société Sartorius AG nous a été livré. Intégré à notre comparateur CCL 1007, ce système nous permettra de charger sur notre comparateur des artefacts stockés dans un gaz inerte ou sous vide, sans qu'il n'y ait de contact avec l'air du laboratoire. Un conteneur pour chargement automatique permet le transfert des artefacts entre la boîte à gants externe et le système de transfert dans le vide. L'ensemble formé par le comparateur de masse, le système de transfert dans le vide, la boîte à gants équipée de son étuve à vide et le conteneur pour chargement automatique, est essentiel pour les comparaisons de masse dont le BIPM est chargé dans le cadre de l'IAC. Cet équipement nous permettra de déterminer la quantité d'eau adsorbée à la surface d'une sphère en silicium. Par ailleurs, cette installation unique sera utilisée pour la dissémination à venir de l'unité de masse fondée sur un ensemble d'étalons de masse conservés dans un gaz neutre purifié ou dans le vide. Le premier transfert d'artefacts de vide à vide a été réalisé avec succès lors de la mise en service du nouvel équipement.

2.5 Comparaison bilatérale de masses d'essai utilisées dans la balance du watt du NPL (P. Barat et A. Picard)

Le NPL (Royaume-Uni) a mis au point une balance du watt pour laquelle des masses d'essai sont utilisées dans le vide (2 mPa) afin de procéder à des mesures de force lors de la phase statique de l'expérience. La dernière détermination de la constante de Planck h obtenue par le NPL diffère d'environ 3×10^{-7} du résultat de la balance du watt du NIST. Un facteur possible, bien que peu vraisemblable, expliquant cette différence serait que les valeurs assignées aux masses d'essai utilisées pour les balances du watt du NPL ou du NIST ne sont pas compatibles. Les masses d'essai utilisées comme références par le NPL pour sa balance du watt sont deux cylindres : l'un de 1 kg en cuivre plaqué or, nommé 1000B, et l'autre de 500 g fait d'un monocristal de silicium naturel, nommé C4.

Lors de la CPEM qui s'est tenue en juin 2008 à Broomfield dans le Colorado (États-Unis), le BIPM a proposé d'effectuer des étalonnages de masse dans le vide afin de vérifier les valeurs de ces deux masses d'essai. Parallèlement, le laboratoire de masse du NPL procéderait également à un étalonnage dans le vide de ces deux masses. Les deux laboratoires ont obtenu un accord satisfaisant entre les valeurs mesurées (de l'ordre de 20 μg et 2 μg pour les artefacts 1000B et C4, respectivement). Les incertitudes-types composées obtenues par le NPL (et le BIPM) sont de 7 μg (5,4 μg) pour le 1000B et de 4 μg (2,8 μg) pour le C4. Ainsi, les différences de 300×10^{-9} (300 $\mu\text{g}/1 \text{ kg}$; 150 $\mu\text{g}/0,5 \text{ kg}$) ne sont pas imputables à la métrologie des masses du NPL.

2.6 Projet de collaboration internationale sur la constante d'Avogadro (P. Barat et A. Picard)

Le BIPM continue à participer activement au Groupe de travail du CCM sur la constante d'Avogadro et au projet de collaboration internationale sur la constante d'Avogadro (IAC). Le BIPM est le laboratoire pilote de la comparaison internationale de masse, dans le vide, des deux sphères de 1 kg en silicium enrichi isotopiquement appelées AVO28#5 et AVO28#8. Les autres laboratoires participant à cette comparaison sont le NMIJ AIST (Japon) et la PTB (Allemagne). Le protocole de comparaison est fondé sur l'expérience acquise lors de la précédente comparaison mentionnée dans le rapport 2006-2007. Le BIPM a reçu la sphère AVO28#8 en septembre 2008 et la sphère AVO28#5 en octobre 2008. Les comparaisons ont été effectuées dans le vide par rapport à nos artefacts de sorption, puis ces derniers ont pu être transférés dans l'air pour une comparaison par rapport à nos étalons de travail

(occasionnant ainsi une comparaison indirecte entre les artefacts en silicium maintenus dans le vide et les artefacts en platine iridié maintenus dans l'air). Ces comparaisons ont été réalisées à quatre reprises pour la sphère AVO28#8 et à trois reprises pour la sphère AVO28#5. Les résultats préliminaires obtenus par le BIPM montre que l'incertitude cible fixée par l'IAC, qui requiert une détermination de la masse avec une incertitude d'environ 5 µg pour une sphère en silicium de 1 kg, a été atteinte. En effet, l'incertitude-type composée pour la détermination de masse dans le vide de ces deux sphères est de 5,4 µg. Cette comparaison internationale de masse se poursuit.

2.7 Sous-groupe de travail 1 du Groupe de travail du CCM sur les étalons de masse : comparaison de masse utilisant des artefacts de sorption (P. Barat et A. Picard)

Afin d'anticiper la mise en pratique de la nouvelle définition du kilogramme, le sous-groupe de travail 1 du Groupe de travail du CCM sur les étalons de masse examine les méthodes pratiques de comparaison de masse dans le vide ou dans un gaz inerte. Le comité d'organisation du sous-groupe de travail 1 a lancé une étude pilote afin de préparer une comparaison de masse, dans le vide, de plus grande ampleur entre les participants du sous-groupe de travail 1. Les laboratoires participant à cette étude pilote sont le BIPM, le LNE, la PTB, le METAS et le NPL, ce dernier étant le laboratoire pilote.

Les artefacts de surface du NPL utilisés pour cette comparaison consistent en deux piles à surface géométrique élevée en acier inoxydable et en un cylindre classique présentant une surface minimale.

La différence de surface entre les deux piles est d'environ 48 cm², et celle entre les piles et le cylindre classique est de l'ordre de 145 cm². L'objectif de cette comparaison spécifique est de déterminer la masse dans le vide de l'étalon classique et, à partir des mêmes données, de déterminer la quantité d'eau adsorbée de façon réversible par unité de surface entre le vide et l'air humide.

Les artefacts ont été livrés au BIPM en novembre 2008 et toutes les mesures ont déjà été effectuées. L'étude pilote est toujours en cours et devrait s'achever avant la fin de 2009.

2.8 Stockage d'un ensemble d'étalons de masse (F. Idrees et A. Picard)

Dans le cadre de la future mise en pratique de la nouvelle définition du kilogramme, l'un de nos objectifs est de créer un ensemble de douze artefacts de 1 kg fabriqués à partir de matériaux différents jugés stables dans le temps.

Le fait de contrôler l'évolution de ce groupe de nouveaux étalons de masse, plutôt que celle d'un unique étalon - le prototype international - utilisé actuellement à la fois pour la définition du kilogramme et sa réalisation, permettra d'avoir un système de représentation du kilogramme plus robuste. Afin de conserver ce groupe dans le vide ou dans une atmosphère inerte contrôlée, nous mettons au point des caissons dans lesquels seront stockés les étalons. Ces caissons s'intégreront au banc de stockage équipé d'instruments de contrôle de la qualité du vide ou de la pureté du gaz injecté dans les caissons. Ces caissons devront être modulaires : nous pourrions ainsi les retirer facilement du banc de stockage pour transférer vers la boîte à gants les artefacts utilisés pour les mesures de masse à venir du BIPM, à l'aide du comparateur de masse CCL 1007 et de son système de transfert dans le vide. Le système de transfert complet, incluant la boîte à gants et le caisson transportable, nous permettra de transférer un étalon de masse du BIPM vers un autre laboratoire national pour comparaison. La mise au point du banc de stockage est en cours et sera achevée fin 2009.

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

Cette année, nous avons déterminé la masse volumique d'un étalon de masse en acier inoxydable appartenant au NML-SIRIM (Malaisie) et de deux artefacts qui seront utilisés pour des déterminations gravimétriques de la masse volumique de l'air. L'un de ces artefacts a la forme d'un tube à paroi épaisse et l'autre est un cylindre creux. Ils présentent une différence de volume de l'ordre de 82 cm^3 . Ces deux artefacts seront utilisés dans des comparateurs de masse pour une détermination directe de la poussée de l'air et serviront à vérifier les résultats obtenus à l'aide de la formule CIPM-2007 à intervalles de temps réguliers. (Comme ces artefacts occupent deux positions d'un échangeur de masse automatisé, il n'est pas pratique de les utiliser en permanence dans les échangeurs qui ne disposent que de quatre positions, tels ceux de nos balances d'étalonnage.)

Les déterminations de la masse volumique de trois nouveaux prototypes de 1 kg ont été effectuées. L'un de ces prototypes avait été utilisé pour une comparaison bilatérale de masse volumique avec la PTB (Allemagne), alors que sa masse était encore supérieure de 16 g à 1 kg (avant ajustement final au BIPM). Les résultats obtenus au BIPM et à la PTB sont cohérents avec leurs incertitudes composées. À notre connaissance, c'est la première comparaison bilatérale moderne de la masse volumique du platine iridié au niveau de masse de 1 kg.

Des tests de validation ont été réalisés sur deux échantillons de 300 g d'un lingot en platine iridié conformément au protocole mis en place avec notre fournisseur, Johnson Matthey. Comme mentionné précédemment (voir section 2.1.2), ces tests ont été en partie effectués pour le NMIJ AIST.

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

Quatre campagnes d'étalonnage de manomètres du BIPM, par rapport à la balance de pression conservée à la section Masse, ont été effectuées cette année et trente et un certificats internes ont été émis.

2.11 Générateur d'humidité (H. Fang et C. Goyon-Taillade)

Notre objectif est d'introduire un service d'étalonnage d'humidité pour les instruments de mesure des paramètres de l'air ambiant, et d'intégrer ce service dans le Système Qualité du BIPM. Ce projet a peu progressé ces dernières années car la priorité a été donnée aux travaux sur la balance du watt et l'IAC. Toutefois, en juin 2008, C. Goyon-Taillade a suivi une semaine de formation en métrologie de l'humidité afin de poursuivre le travail de mise au point d'un générateur d'humidité, initié par H. Fang et A. Picard.

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

Le BIPM a mis fin à cette expérience en mai 2008 et une grande partie de l'appareil a été transférée à l'université de Birmingham (Royaume-Uni) conformément à un précédent accord. L'équipement est désormais en fonctionnement sur son nouveau site. Les résultats de l'expérience *G* sont en cours d'évaluation par M. C.C. Speake

2.13 Publications, conférences, voyages : section Masse

2.13.1 Publications extérieures

1. Picard A., Bignell N., Borys M., Downes S., Mizushima S., Mass comparison of the 1 kg silicon sphere AVO#3 traceable to the International Prototype K, *Metrologia*, 2009, **46**(1), 1-10.

* Directeur émérite du BIPM.

** Université de Birmingham (Royaume-Uni).

2. Davis R.S., Redefining the kilogram: How and Why?, *MAPAN-Journal of the Metrology Society of India*, 2008, **23**(3), 131-138. (Note : R.S. Davis était l'un des deux rédacteurs invités de ce numéro de *MAPAN*.)
3. Harvey A.H., Span R., Fujii K., Tanaka M., Davis R.S., Density of water: roles of the CIPM and IAPWS standards, *Metrologia*, 2009, **46**(3), 196-198.

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

R.S. Davis :

- 2008 NCSL International Workshop and Symposium (Orlando, États-Unis), le 4 août 2008, pour une présentation intitulée « Why the kilogram should be redefined » ;
- NIST, Gaithersburg (États-Unis), le 8 août 2008, pour rendre visite aux groupes Thermométrie et Masse, et présenter un séminaire intitulé « Minimizing magnetic errors in measurements of small forces and torques » ;
- NPL, Teddington (Royaume-Uni), accompagné d'A. Picard, le 26 août 2008, pour discuter de la collaboration entre le NPL et le BIPM au sujet des préparations techniques pour la mise en pratique d'une nouvelle définition du kilogramme ;
- VSL (Pays-Bas), le 2 octobre 2008, pour une présentation invitée intitulée « Redefining the kilogram, Why? How? When? » lors d'une conférence d'une journée ;
- INMETRO, Xerém-RJ (Brésil), le 6 octobre 2008, pour des discussions techniques avec les membres de la section Masse ;
- Rio de Janeiro (Brésil), du 8 au 10 octobre 2008, pour assister au 1^{er} International Congress on Mechanical Metrology (CIMMEC) et y faire le 8 octobre une présentation invitée intitulée « The proposed redefinition of the kilogram – consequences for the metrological community » ;
- NPLI, New Delhi (Inde), les 30 et 31 octobre 2008, en qualité d'expert technique lors d'un examen par les pairs ;
- Laboratoire d'Annecy-le-Vieux de Physique des Particules (LAPP, France), le 16 janvier 2009, pour un séminaire invité intitulé « Redefinition of the kilogram based on a physical constant » ;
- St George's Bay (Malte), les 2 et 3 avril 2009, pour la réunion du Comité technique de l'EURAMET en thermométrie ;

- St Louis (États-Unis), les 13 et 14 avril 2009, pour assister à la session annuelle du National Organization for the Professional Advancement of Black Chemists and Chemical Engineers (NOBCCChE) et y faire une présentation invitée intitulée « Is the kilogram losing mass? Redefining the kg through a fundamental constant » ;
- NIST, Gaithersburg (États-Unis), du 15 au 17 avril 2009, pour rendre visite aux groupes Masse, Balance du watt et Thermométrie, et présenter le 16 avril le séminaire intitulé « Realizing the new kilogram » ;
- Prague (République tchèque), les 11 et 12 mai 2009, pour accompagner L. Vitushkin, Z. Jiang et L. Robertsson à une réunion du comité d'organisation de l'ICAG-2009 ;
- Bad Honnef (Allemagne), accompagné d'E. de Mirandés, du 15 au 17 juin 2009, pour assister au séminaire 434. WE-Heraeus et y faire une présentation invitée intitulée « Experiments to underpin a new SI ».

A. Picard :

- BIPM, les 24 et 25 novembre 2008, pour assister à une réunion de l'IAC dont il était également organisateur local ;
- BIPM, le 26 novembre 2008, pour assister à une réunion du sous-groupe de travail 1 du Groupe de travail du CCM sur les étalons de masse ;
- Technische Universität Ilmenau (Allemagne), le 16 décembre 2008, pour surveiller le travail accompli sur le système de transfert dans le vide et préciser le cahier des charges ;
- PTB, Braunschweig (Allemagne), le 17 décembre 2008, pour visiter le nouveau laboratoire de masse et discuter de la participation du BIPM au sous-groupe de travail 1 du Groupe de travail du CCM sur les étalons de masse ;
- METAS, Berne (Suisse), les 18 et 19 février 2009, pour discuter de la coopération à venir entre le METAS et le BIPM sur les mesures de gravimétrie (pour la balance du watt) et les analyses de surface par XPS (pour la future mise en pratique du kilogramme) ;
- Malte, du 4 au 6 mars 2009, pour assister à la réunion du Comité technique de l'EURAMET sur la masse ;
- NMIJ AIST, Tsukuba (Japon), les 15 et 16 avril 2009, pour assister à une réunion de l'IAC ;
- BIPM, le 25 mai 2009, pour assister à une réunion du CODATA Task Group on Fundamental Constants et y présenter l'avancement des travaux sur la balance du watt ;

- Paris, du 22 au 25 juin 2009, pour assister au 14^e Congrès international de métrologie au cours duquel P. Barat a présenté un poster, réalisé en équipe, sur la détermination de la masse des sphères en silicium dans le cadre du projet sur la constante d'Avogadro.
- C. Goyon-Taillade :
- PTB, Braunschweig (Allemagne), le 3 mars 2009, pour livrer un étalon en platine iridié destiné à être utilisé pour une comparaison bilatérale de masse volumique, et visiter les laboratoires de masse ;
- LNE-CETIAT, Villeurbanne (France), du 25 au 29 mai 2009, pour suivre une formation sur « L'humidité dans les gaz » ;
- Paris (France), du 22 au 25 juin 2009, pour assister au 14^e Congrès international de métrologie et présenter un poster décrivant les déterminations de la masse volumique des prototypes et des étalons de masse au BIPM (co-auteur : R.S. Davis) ; C. Goyon-Taillade a reçu le prix du meilleur poster de ce congrès.

2.14 Activités liées au travail des Comités consultatifs

R.S. Davis est secrétaire exécutif du Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées (CCM) et du Comité consultatif de thermométrie (CCT). Il est membre du Groupe de travail du CCM sur la définition du kilogramme dans le SI, du sous-groupe de travail 2 du Groupe de travail du CCM sur les étalons de masse et du sous-groupe de travail du CCT sur le SI, chargés d'élaborer les mises en pratique des futures redéfinitions du kilogramme et du kelvin.

A. Picard coordonne les mesures de masse dans le cadre du projet de collaboration sur la constante d'Avogadro et du Groupe de travail du CCM sur la constante d'Avogadro (voir section 2.6). Il est membre du comité d'organisation du Groupe de travail du CCM sur la définition du kilogramme dans le SI et du sous-groupe de travail 1 du Groupe de travail du CCM sur les étalons de masse, chargés d'élaborer la mise en pratique de la future redéfinition du kilogramme.

Trois membres de la section Masse consacrent une part importante de leur temps à la balance du watt, l'un des projets majeurs du BIPM :

- A. Picard, 80 % ;
- H. Fang, 80 %. H. Fang répartit les 20 % restant de son temps entre les activités de la section Masse (voir section 2.11) et ses fonctions de responsable de la sécurité au BIPM (par intérim) ;

- A. Kiss, 100 %.

Par ailleurs, depuis qu'il a rejoint le BIPM le 23 février 2009, F. Idrees consacre 50 % de son temps aux projets de la section Chimie.

Remarque : les progrès concernant la balance du watt du BIPM sont présentés à la section 7.

2.15 Visiteurs de la section Masse

- M. C.C. Speake, Université de Birmingham (Royaume-Uni), les 1^{er} et 2 juillet 2008, pour transférer des éléments clés de l'appareil du BIPM de détermination de la constante gravitationnelle de Newton vers l'université de Birmingham ;
- M. P. Conceição, IPQ (Portugal), du 22 au 26 septembre 2008 ;
- M. Martin Firlus, PTB (Braunschweig, Allemagne), le 28 octobre 2008, pour des conseils sur l'entretien d'un comparateur de masse ;
- M. T. Froehlich, Sartorius AG, le 21 janvier 2009, pour effectuer des réglages sur le comparateur de masse CCL 1007 ;
- MM. T. Froehlich, D. Heydenbluth et M. Schreiber, Sartorius AG, le 5 mai 2009, pour effectuer des modifications et des réglages sur le comparateur de masse CCL 1007 ;
- MM. T. Froehlich, D. Heydenbluth, M Schreiber et S. Schwetschenau, Sartorius AG, du 8 au 12 juin 2009, pour livrer et installer le système de transfert dans le vide ;
- M. Wang Jian et Mlle Yao Hong, NIM (Chine), le 26 juin 2008, pour apporter deux prototypes à étalonner.

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

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

Les échelles de temps de référence, le Temps atomique international (TAI) et le Temps universel coordonné (UTC), sont établies à partir des données fournies régulièrement au BIPM par les laboratoires de temps qui maintiennent des réalisations locales de l'UTC ; les résultats du calcul sont publiés chaque mois dans la *Circulaire T. Le Rapport annuel du BIPM sur les activités du temps*, volume 3, complété par des fichiers informatiques accessibles sur le site Web du BIPM (<http://www.bipm.org>), donne les résultats définitifs de l'année 2008.

3.2 Algorithmes pour les échelles de temps (Z. Jiang, W. Lewandowski, G. Panfilo et G. Petit)

L'algorithme ALGOS 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 effectué dans la section sur les algorithmes utilisés pour établir les échelles de temps a pour but d'améliorer la stabilité à long terme de l'EAL et l'exactitude du TAI.

Les effets de l'algorithme de prédiction linéaire ont été étudiés pour les différents types d'horloges atomiques. ALGOS prédit la fréquence de toutes les horloges à l'aide d'un modèle linéaire parfaitement adapté à l'horloge à césium, mais non au maser à hydrogène. Une version test de l'EAL sans masers à hydrogène a été calculée pour évaluer les effets de cette modélisation uniforme des fréquences des horloges. Une nouvelle expression mathématique pour prédire la fréquence des masers à hydrogène, qui tient compte de leur dérive, a été proposée. Des tests ont été effectués sur une période de trois ans : une prédiction linéaire a été appliquée aux horloges à césium et une prédiction quadratique aux masers à hydrogène. Une version de l'EAL fondée sur la prédiction de fréquence proposée pour les masers à hydrogène, et utilisant la méthode de pondération classique des horloges, a été évaluée. Les résultats

* Assistante depuis le 3 novembre 2008.

semblent indiquer que la non-modélisation de la dérive de fréquence des masers à hydrogène pourrait être responsable de 20 % de la dérive de l'EAL. Lors de ce test, la dérive de fréquence a été évaluée à partir des données d'une période d'un mois, mais il est nécessaire de répéter cette opération sur de plus longues périodes. L'EAL présente toujours une dérive importante et nous devons donc continuer d'étudier l'algorithme de pondération de l'EAL.

3.2.1 Stabilité de l'EAL

Environ 87 % des horloges utilisées pour le calcul des échelles de temps sont des horloges à césium du commerce du type Symmetricom/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 15 % des horloges ont atteint, en moyenne, le poids maximal en 2008. Cette procédure permet d'obtenir 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 4×10^{-16} , pour des durées moyennes d'un mois. Une dérive à long terme, lentement variable, limite sa stabilité à 2×10^{-15} pour des durées moyennes de six mois.

3.2.2 Exactitude du TAI

L'exactitude du TAI est caractérisée par l'estimation de la différence relative, et de son incertitude, entre la durée de l'unité d'échelle du TAI et la seconde du SI telle qu'elle est produite, sur le géoïde en rotation, par les étalons primaires de fréquence. Depuis juillet 2008, des mesures ponctuelles de la fréquence du TAI ont été délivrées par douze étalons primaires de fréquence, dont huit fontaines à césium (IT CSF1, LNE-SYRTE FO1, LNE-SYRTE FO2, LNE-SYRTE FOM, NICT CSF1, NIST F1, NMIJ F1 et PTB CSF1). Des comptes rendus sur les mesures des étalons primaires de fréquence sont publiés régulièrement dans le *Rapport annuel du BIPM sur les activités du temps* et sur le site Web du BIPM.

Depuis juillet 2004, une correction d'amplitude maximale de 7×10^{-16} peut être appliquée tous les mois à la fréquence du TAI pour la piloter 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 2008, de $+2,6 \times 10^{-15}$ à $+5,7 \times 10^{-15}$,

avec une incertitude-type inférieure à 1×10^{-15} . Au cours de l'année, douze corrections de pilotage ont été appliquées, avec une correction totale de $[f(EAL) - f(TAI)]$ de $-5,2 \times 10^{-15}$.

3.2.3 Échelles de temps atomique indépendantes : TT(BIPM)

Comme le TAI est calculé en « temps réel » et subit des contraintes opérationnelles, il ne fournit pas une réalisation optimale du Temps terrestre (TT), le temps-coordonnée du système de référence géocentrique. Le BIPM calcule donc une autre réalisation, l'échelle de temps TT(BIPM), établie rétrospectivement et 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 mise à jour de TT(BIPM), nommée TT(BIPM08), valable jusqu'en décembre 2008, qui a une exactitude estimée de l'ordre de 5×10^{-16} . Des études visant à améliorer le calcul de TT(BIPM) ont été entreprises, afin de tenir compte des améliorations apportées aux étalons primaires de fréquence.

3.3 Étalons primaires de fréquence et représentations secondaires de la seconde (E.F. Arias, G. Petit, R. Felder et L. Robertsson)

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

D'autres transitions atomiques micro-ondes et optiques sont proposées comme représentations secondaires de la seconde par le Groupe de travail commun au CCL et au CCTF sur les étalons de fréquence. Le Comité consultatif du temps et des fréquences (CCTF) a recommandé en 2009 d'apporter certaines modifications à la liste contenant les valeurs des fréquences et les incertitudes associées pour le Rb, l'ion Hg^+ , l'ion Yb^+ , l'ion Sr^+ et le Sr. Le personnel du BIPM continue à participer aux travaux liés aux étalons de fréquence optiques, domaine d'activités en évolution très rapide : il étudie, par exemple, leur comparaison à un niveau d'incertitude relative de 10^{-17} .

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

Le TAI repose actuellement sur les données communiquées par 68 laboratoires horaires équipés de récepteurs GNSS et/ou effectuant des comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellites de télécommunication géostationnaires.

La méthode des solutions globales « all-in-view » du GPS est largement utilisée et bénéficie de la qualité de plus en plus élevée des produits de l'International GNSS Service (IGS) (horloges et temps IGS). Les comparaisons d'horloges sont actuellement réalisées au moyen de récepteurs du GPS à une seule fréquence et de mesures du code C/A ; de récepteurs géodésiques à deux fréquences et à canaux multiples (de type P3) ; et de comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellites de télécommunication géostationnaires. Les récepteurs classiques du GPS à un seul canal et une seule fréquence, qui représentent aujourd'hui 6 % seulement des équipements pour les liaisons horaires, ont été remplacés par des récepteurs à canaux multiples, à une ou deux fréquences. Dix liaisons obtenues par aller et retour sur satellite sont officiellement utilisées pour le calcul du TAI, soit 15 % des liaisons horaires. Des liaisons supplémentaires par aller et retour existent dans la région Asie-Pacifique mais elles n'ont pas été officiellement incluses dans le calcul ; de nombreux autres laboratoires européens seront également bientôt prêts à utiliser cette technique.

Suite à la Recommandation CCTF 4 (2006), la section a lancé en avril 2008 une expérience pilote appelée 'TAIPPP' : des laboratoires participent aux mesures de phase et de code des signaux du GPS et le BIPM utilise la technique de positionnement précis (PPP) pour générer chaque mois des solutions, en temps légèrement différé après le calcul classique du TAI. Lors de sa réunion en juin 2009, le CCTF a approuvé le rapport concernant cette expérience pilote et a donné son accord pour intégrer les liaisons TAIPPP au calcul du TAI. Le nombre de laboratoires concernés de façon régulière est désormais de 25. Ces liaisons seront introduites dans le calcul du TAI avant fin 2009. Des comparaisons entre les résultats de liaisons obtenus par TAIPPP, par aller et retour sur satellites géostationnaires et par des récepteurs de type P3 sont publiées chaque mois sur le serveur ftp de la section.

La section continue à étudier les autres méthodes et techniques de comparaison de temps et de fréquences.

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

Pour toutes les liaisons par le GPS, les données sont corrigées pour tenir compte des positions des satellites déduites des éphémérides précises, calculées rétrospectivement par l'IGS. Les données des récepteurs à une seule fréquence sont corrigées en utilisant les mesures ionosphériques de l'IGS.

3.4.2 Mesures de phase et de code des récepteurs géodésiques

Outre les mesures de codes utilisant le GPS et le GLONASS, les comparaisons de temps et de fréquences peuvent être effectuées par des mesures de la phase des porteuses aux deux fréquences émises. Cette technique, déjà couramment utilisée par la communauté des géodésiens, peut être adaptée aux besoins des comparaisons de temps et de fréquences. Une étude est effectuée dans le cadre du groupe de travail de l'IGS sur les produits horaires, dont est membre l'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 d'utiliser ce récepteur pour étalonner de manière différentielle des récepteurs similaires dans le monde. Les campagnes d'étalonnage ont débuté en janvier 2001. Depuis 2006, les résultats d'étalonnage d'un nouveau type de récepteur, le Septentrio PolaRx2, ont été obtenus. D'autres types de récepteurs sont aussi à l'étude en collaboration avec des laboratoires qui en sont équipés. Un nouveau récepteur récemment mis au point et commercialisé (GTR50) a été acheté par le BIPM et est utilisé dans les procédures d'étalonnage depuis 2008. Dans tous les cas, au moins deux récepteurs restent au BIPM pour servir de référence locale à laquelle comparer le récepteur voyageur entre les campagnes d'étalonnage.

Des données de récepteurs de type géodésique en fonctionnement dans le monde entier sont collectées pour le calcul du TAI, en utilisant des procédures et un logiciel mis au point en collaboration avec l'Observatoire royal de Belgique (ORB). De telles liaisons horaires de type P3 sont maintenant calculées et comparées systématiquement à celles générées au moyen d'autres techniques disponibles, notamment celles obtenues par comparaison de temps par aller et retour.

Les récepteurs de type géodésique fournissent aussi des mesures de phase brutes qui peuvent être utilisées, avec les mesures de code, pour calculer des liaisons horaires. Ceci est fait régulièrement par l'IGS pour certains laboratoires horaires qui participent aussi à son réseau. Une étude comparative des récepteurs de type géodésique et des techniques de traitement des liaisons

horaires a été réalisée pendant une durée de 6 semaines à l'AIUB (Berne) et au METAS (Wabern) en milieu d'année en 2008. Le BIPM calcule depuis octobre 2007 ses propres solutions pour de telles liaisons horaires au moyen d'un logiciel de positionnement précis (Precise Point Positioning, PPP). Comme indiqué précédemment, le BIPM prévoit d'introduire ces liaisons horaires PPP dans le calcul du TAI avant fin 2009.

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

Deux réunions des stations participant aux comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite ont eu lieu depuis juillet 2008, et le Groupe de travail du CCTF sur les comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite s'est réuni au SP (Borås, Suède) en octobre 2008. La technique de comparaison de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite est actuellement opérationnelle dans douze laboratoires européens, deux nord-américains et sept de la région Asie-Pacifique. Dix liaisons par aller et retour sont régulièrement utilisées dans le calcul du TAI ; quatre autres sont en préparation pour être introduites ou réintroduites dans le calcul du TAI, ou sont utilisées pour des études spécifiques telles que l'expérience T2L2. La technique de comparaison de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite appliquée aux comparaisons horaires du TAI atteint son potentiel maximum avec des sessions programmées toutes les deux heures.

Le BIPM est également impliqué dans l'étalonnage des liaisons horaires par comparaison de temps par aller et retour par rapport au GPS.

Les résultats des liaisons horaires et des comparaisons de liaisons par GPS à une ou deux fréquences et par observations par aller et retour sont publiés chaque mois sur le serveur ftp de la section (<http://tai.bipm.org/TimeLink/LkC>).

3.4.4 Incertitudes sur les liaisons horaires du TAI

Les valeurs des incertitudes de types A et B affectant les liaisons horaires du TAI, ainsi que les informations relatives aux liaisons horaires utilisées pour chaque calcul mensuel, sont publiées dans la *Circulaire T*. Les valeurs de u_A sont actualisées le cas échéant, en fonction du niveau de bruit observé dans les liaisons.

3.4.5 Étalonnage des retards des équipements de comparaisons de temps et de fréquences

Le BIPM continue à organiser des campagnes de mesure des retards relatifs des récepteurs du temps du GPS des laboratoires horaires participant au calcul du TAI. De juillet 2008 à juin 2009, des récepteurs du GPS à une ou deux fréquences ont été étalonnés. Le BIPM participe aussi à l'organisation des campagnes d'étalonnage des équipements pour les comparaisons de temps et de fréquence par aller et retour sur satellite ; un récepteur du GPS de notre laboratoire de temps est utilisé pour ces campagnes.

Grâce à la collaboration du Space Research Centre de Varsovie (Pologne), il a été possible d'améliorer la mesure des retards relatifs des équipements du GLONASS. Les mesures ont déjà commencé, un récepteur TTS-3 ayant été envoyé au VNIIFTRI au troisième trimestre de 2008.

Un doctorant a commencé à travailler sur l'étalonnage absolu des récepteurs GNSS, grâce à une collaboration cofinancée par le CNES et impliquant le LNE-SYRTE. En plus de la mise au point d'équipement effectuée par le CNES, ce travail comprend une étude globale de tous les résultats d'étalonnage disponibles, à savoir les étalonnages absolus passés et actuels, les séries d'étalonnages différentiels réalisés par le BIPM, ainsi que d'autres informations disponibles auprès de l'IGS.

3.5 Comparaisons clés (E.F. Arias, W. Lewandowski, G. Panfilo, L. Tisserand et A. Harmegnies)

Les résultats de la comparaison clé sur le temps, CCTF-K001.UTC, impliquant les laboratoires de temps qui participent au CIPM MRA, ont été régulièrement publiés dans la KCDB après la publication mensuelle de la *Circulaire T*.

Suite à la décision du CCTF lors de sa 17^e session en 2006, le BIPM a coopéré avec le Groupe de travail du CCTF sur le CIPM MRA et a mis en place le calcul des décalages de fréquence et de leurs incertitudes afin de proposer une nouvelle comparaison clé de fréquence, CCTF-K002.FREQ. En juin 2009, le CCTF a décidé lors de sa 18^e session que la comparaison CCTF-K001.UTC resterait l'unique comparaison clé dans le domaine du temps et des fréquences, que ses résultats seraient publiés uniquement dans la *Circulaire T*, et que les laboratoires participants dériveraient les résultats et incertitudes nécessaires pour étayer leurs aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages en fréquence, conformément aux directives données par la section du temps, des fréquences et de la gravimétrie du BIPM au Groupe de travail du CCTF sur le CIPM MRA.

3.6 Pulsars (G. Petit)

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

3.7 Références spatio-temporelles (E.F. Arias et G. Petit)

Le BIPM maintient le site Web et le serveur ftp pour les *Conventions de l'IERS* (<http://tai.bipm.org/iers/>). Les mises à jour des *Conventions* (2003) ont été placées sur le site Web (<http://tai.bipm.org/iers/convupdt>). Ces mises à jour portent sur plusieurs nouveaux modèles 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. Suite aux conclusions de l'atelier sur les *Conventions de l'IERS*, organisé au BIPM les 20 et 21 septembre 2007, une nouvelle édition référencée des *Conventions de l'IERS* sera établie dans le courant de l'année prochaine.

Des activités liées à la réalisation de repères de référence pour l'astronomie et pour la géodésie sont développées en partenariat avec l'IERS. Dans ces domaines, les améliorations en matière d'exactitude renforceront la nécessité d'un traitement totalement relativiste. Il est donc fondamental de continuer à participer aux groupes de travail internationaux traitant de ces questions, comme la nouvelle commission de l'UAI sur la relativité en astronomie fondamentale. La collaboration sur le système de référence céleste international se poursuit et le travail progresse dans le cadre de l'UAI, de l'IVS et de l'IERS pour l'élaboration d'un nouveau repère de référence conventionnel qui sera soumis à l'UAI en août 2009.

3.8 Travaux sur les peignes de fréquence (R. Felder et L. Robertsson)

En raison de la réorganisation de la section, les activités dans ce domaine sont limitées à la maintenance des peignes de fréquence pour des applications internes au BIPM (voir section 3.10).

3.9 Comparaisons clés BIPM.L-K11 et CCL-K11 (R. Felder et L. Robertsson)

Après l'arrêt de la comparaison clé BIPM.L-K11 et une période de préparation, la comparaison clé CCL-K11 est désormais en cours. Des mesures ont déjà été effectuées au MIKES (Finlande) et au BEV (Autriche), et deux campagnes de mesures plus importantes sont prévues au NMIJ AIST (Japon) et au NRC (Canada). Le BIPM continue à apporter des conseils techniques et assure également la présence d'un membre du BIPM lors des mesures, aussi souvent que possible et si nécessaire. Cette comparaison a également soulevé la question de savoir quelle est la manière optimale de valider les peignes de fréquence optiques eux-mêmes. Le BIPM participe toujours à cette discussion et examine les différentes possibilités d'apporter son aide d'un point de vue international.

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

La section fournit un service d'étalonnage et de mesurage de lasers afin de répondre aux besoins internes du BIPM. Ceci concerne notamment la détermination périodique de la fréquence absolue de nos lasers de référence, à 633 nm et à 532 nm, qui servent aux vérifications de la qualité des cuves à iode, au projet de condensateur calculable et au gravimètre au BIPM. Les peignes sont conservés en état de fonctionner de manière passive et sont utilisés dès que nécessaire.

Les travaux de préparation pour l'ICAG-2009 (voir section 3.13), la 8^e comparaison internationale de gravimètres absolus, se déroulent bien. Au cours de cette comparaison, une vingtaine de lasers seront mesurés. Par ailleurs, une étude sur les caractéristiques des interféromètres des gravimètres participants est programmée, afin de tenir compte de petites corrections liées aux effets de la diffraction.

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

Comme indiqué à la section 1.2, le CIPM a pris la décision en 2008 que le BIPM cesserait de vendre des cuves à iode. Le BIPM interrompra définitivement cette activité fin juillet 2009.

Le BIPM a averti ses clients par courrier afin de leur expliquer la situation, de leur demander quels laboratoires pourraient être intéressés par la reprise de ce service (essentiel pour de nombreuses activités scientifiques) et de leur

proposer un transfert de la technologie du BIPM. Quatre laboratoires nationaux de métrologie, un institut et une société privée se sont montrés intéressés par la reprise de cette activité du BIPM.

Environ vingt cuves à iode ont été vendues pendant la période couverte par ce rapport.

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

La tête du laser compact à Nd:YVO₄/KTP/I₂, à la longueur d'onde de 532 nm, a été modifiée et le système délivrant le faisceau lumineux à l'interféromètre du gravimètre FG5-108 au moyen d'une fibre optique a été testé. Le moteur cassé de la chambre de chute a été remplacé et le système de contrôle de chute est en cours de réajustement.

3.13 8^e comparaison internationale de gravimètres absolus, ICAG-2009 (L. Vitushkin, Z. Jiang, L. Robertsson, J. Labot et L. Tisserand)

L'évaluation des résultats obtenus pendant l'ICAG-2005 est terminée et fournit de précieuses données pour l'organisation et la préparation de l'ICAG-2009, qui se tiendra au BIPM au troisième trimestre 2009.

Deux réunions du comité d'organisation de l'ICAG-2009 ont eu lieu : l'une en novembre 2008 au BIPM et l'autre les 11 et 12 mai 2009 à l'Institut de recherche géodésique, topographique et cartographique à Prague (République tchèque). Il est prévu que vingt-sept gravimètres absolus participent à la comparaison, dont dix-sept dans le cadre de la nouvelle comparaison clé CCM.G-K1. Les mesures des dix autres gravimètres serviront à une étude pilote menée pendant l'ICAG-2009.

Les protocoles techniques ont été rédigés : ils définissent la stratégie pour les mesures absolues et relatives, le traitement des données et l'évaluation des valeurs de référence de la comparaison et de leurs incertitudes. Des protocoles distincts ont été établis pour la comparaison clé CCM.G-K1 et pour l'ICAG-2009 dans sa globalité. Les résultats obtenus pour l'ensemble des gravimètres participants seront intégrés à l'évaluation générale de l'ICAG-2009, alors que seuls les résultats des gravimètres utilisés dans le cadre de la comparaison clé seront utilisés pour calculer sa valeur de référence clé, publiée dans la KCDB.

* Chercheur associé du VNIIM.

Des programmes préliminaires pour les mesures absolues et relatives ont été préparés et distribués aux participants. Cinq stations du réseau gravimétrique du BIPM seront utilisées, ce qui semble être un nombre convenable pour obtenir des mesures homogènes et un ajustement optimal.

Comme indiqué à la section 3.10, le BIPM vérifiera les fréquences des lasers utilisés pour la mesure interférométrique du déplacement du corps de test lors de sa chute, ainsi que les fréquences des horloges à rubidium de référence des gravimètres absolus. La stabilité du champ de gravité au BIPM sera contrôlée à l'aide du gravimètre FG5-108 du BIPM.

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

Les mesures de gravimétrie absolue pour la balance du watt du BIPM doivent présenter une incertitude relative de 10^{-8} . Des études préliminaires de l'équipement et de l'influence de l'environnement local et global ont été effectuées dans ce but.

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

3.15.1 Publications extérieures

1. Petit G., Arias F., Use of IGS products in TAI applications, *J. Geodesy*, 2009, **83**, 327-334.
2. Petit G., Klioner S., Does relativistic time dilation contribute to the divergence of Universal Time and Ephemeris Time?, *Astron. J.*, 2008, **136**, 1909-1912.
3. Petit G., Relativistic aspects in astronomical standards and the IERS Conventions, *Proc. Journées 2008 Systèmes de référence spatio-temporels* (Dresde, Allemagne ; 22-24 septembre 2008), Ed. by Soffel M. and Capitaine N., Paris : Observatoire de Paris, 2009, 41-45.
4. Petit G., Atomic time scales TAI and TT(BIPM): present status and prospects, *Proc. 7th Symposium on Frequency Standards and Metrology* (Pacific Grove, CA, États-Unis ; 5-11 octobre 2008), Ed. by L. Maleki, World Scientific, 2009, 475-482.
5. Petit G., The TAIPPP pilot experiment, *Proc. EFTF-IFCS 2009* (Besançon, France ; 20-24 avril 2009), IEEE, 2009, 116-119.

6. Petit G., Bernier L.-G., Uhrich P., Time and frequency transfer by geodetic GPS: comparison of receivers and computation techniques, *Proc. EFTF-IFCS 2009* (Besançon, France ; 20-24 avril 2009), IEEE, 2009, 269-273.
7. Lewandowski W., Matsakis D., Panfilo G., Tavella P., Analysis of Correlations, and Link and Equipment Noise in the Uncertainties of [UTC – UTC(k)], *UFFC*, 2008, **4**, 750-760.
8. Lui Y., Jiang Z., Precise time transfer activities in Singapore, *Proc. EFTF-IFCS 2009* (Besançon, France ; 20-24 avril 2009), IEEE, 2009, 634-638.
9. Panfilo G., Tavella P., Atomic clock prediction based on stochastic differential equations, *Metrologia*, 2008, **45**(6), 108-116.
10. Bibbona E., Panfilo G., Tavella P., The Ornstein-Uhlenbeck process as a model of a low-pass filtered white noise, *Metrologia*, 2008, **45**(6), 117-126.
11. Panfilo G., Arias E.F., Studies and possible improvements on EAL algorithm, *Proc. EFTF-IFCS 2009* (Besançon, France ; 20-24 avril 2009), IEEE, 2009, 110-115.
12. Arias E. F., Panfilo G., International time scales at the BIPM: impact and applications, *Proc. 14th International Metrology Congress* (Paris ; 22-25 juin 2009), Paris, 2009, CD-Rom.
13. Jiang Z., Lewandowski W., Piester D., Calibration of TWSTFT links through the Triangle Closure Condition, *Proc. 40th PTTI* (Reston, VA, États-Unis ; 1-4 décembre 2008), Curran Associates, 2009, 467-484.
14. Jiang Z., Niessner A., Calibrating GPS with TWSTFT for accurate time transfer, *Proc. 40th PTTI* (Reston, VA, États-Unis ; 1-4 décembre 2008), Curran Associates, 2009, 577-586.
15. Lewandowski W., Arias F., Nawrocki J., Nogaś P., Use of GLONASS for International Time Keeping, *Proc. Inst. Appl. Astron.* (Saint-Petersbourg, Féd. de Russie ; 5-9 avril 2009), 2009, Vol. 20, 358-366.
16. Vitushkin L., Current Status and Perspectives of Absolute Ballistic Gravimetry, *Proc. Inst. Appl. Astron.* (Saint-Petersbourg, Féd. de Russie ; 5-9 avril 2009), 2009, Vol. 20, 303-308.
17. Li H., Zhang H., Lewandowski W., Jiang Z., TWSTFT Activities at Chinese National Time Service Centre, *Proc. EFTF-IFCS 2009* (Besançon, France ; 20-24 avril 2009), IEEE, 2009, 1206-1208.

18. Jiang Z., Full use of the redundancy in TWSTFT and GNSS time and frequency transfer, *Proc. EFTF-IFCS 2009* (Besançon, France ; 20-24 avril 2009), IEEE, 2009, 1194-1197.

3.15.2 Publications du BIPM

19. *Rapport annuel du BIPM sur les activités du temps (2008)*, 2009, **3**, 102 p.
20. *Circulaire T* (mensuelle), 7 p.
21. Lewandowski W., Tisserand L., Determination of the differential time corrections for GPS time equipment located at the OP, PTB, NPL and VSL, 2008, *Rapport BIPM-2008/01*, 19 p.
22. Lewandowski W., Tisserand L., Determination of the differential time corrections for GPS time equipment located at the OP, NTSC, HKO, TL, SG, AUS, KRIS, NMIJ, and NICT, 2008, *Rapport BIPM-2008/02*, 27 p.
23. Lewandowski W., Tisserand L., Determination of the differential time corrections for GPS time equipment located at the OP, TCC, ONBA, IGMA and CNMP, 2008, *Rapport BIPM-2008/03*, 18 p.
24. Lewandowski W., Tisserand L., Determination of the differential time corrections for GPS time equipment located at the OP, PTB, NPL and VSL, 2008, *Rapport BIPM-2008/04*, 21 p.

3.15.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

E.F. Arias :

- Borås (Suède), les 2 et 3 octobre 2008, pour une réunion du Groupe de travail du CCTF sur les comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite ;
- Genève (Suisse), du 8 au 13 octobre 2008, pour une réunion du Groupe de travail 7A de l'Union internationale des télécommunications, Secteur radiocommunications (UIT-R) ;
- Washington DC (États-Unis), les 4 et 5 décembre 2008, pour une réunion des Groupes de travail de l'UAI et de l'IVS sur le système de référence céleste international ICRF2 ;
- Pasadena (États-Unis), du 8 au 12 décembre 2008, pour assister à la 3^e réunion de l'ICG et y faire une présentation ;
- San Francisco (États-Unis), les 14 et 15 décembre 2008, pour des réunions du comité d'organisation du GGOS et du Directoire de l'ICG ;

- Besançon (France), du 20 au 24 avril 2009, pour assister au congrès commun EFTF/FCS, ainsi qu'à des réunions des présidents du Groupe de travail du CCTF, et du Groupe de travail du CCTF sur le CIPM MRA ;
- Virginia Beach (États-Unis), du 27 avril au 1^{er} mai 2009, pour présider une séance du Symposium 261 de l'UAI sur la relativité en astronomie fondamentale et y présenter une conférence invitée ;
- Paris (France), le 24 juin 2009, pour assister au 14^e Congrès international de métrologie.

Z. Jiang :

- Borås (Suède), les 2 et 3 octobre 2008, pour une réunion du Groupe de travail du CCTF sur les comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite ;
- Besançon (France), du 20 au 24 avril 2009, pour assister au congrès commun EFTF/FCS ;
- Prague (République tchèque), les 11 et 12 mai 2009, pour la 2^e réunion du comité d'organisation de l'ICAG-2009.
- W. Lewandowski :
- Varsovie (Pologne), pour plusieurs voyages de quelques jours chacun, au SRC (Space Research Centre) et au GUM (Central Office of Measures) ;
- Toulouse (France), du 10 au 12 septembre 2008, pour visiter le CNES et EADS/Astrium ;
- Savannah, Géorgie (États-Unis), du 13 au 20 septembre 2008, pour le 48^e CGSIC, dont il préside le sous-comité du temps, et la convention ION GNSS ;
- Borås (Suède), du 1^{er} au 4 octobre 2008, pour la 16^e session du Groupe de travail du CCTF sur les comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite ;
- Genève (Suisse), du 7 au 13 octobre 2008, pour une réunion du Groupe de travail sur le thème « Future of UTC Leap Seconds » à l'UIT ;
- Bruxelles (Belgique), le 11 novembre 2008, pour visiter la Commission européenne et l'Autorité de surveillance de Galileo (GSA) ;
- Riyad (Arabie Saoudite), du 22 au 28 novembre 2008, pour un atelier sur la métrologie du temps internationale ;
- Washington DC (États-Unis), du 2 au 4 décembre 2008, pour la 40^e réunion du PTTI et pour une réunion des stations participant aux comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite ;

- Pasadena, Californie (États-Unis), du 8 au 12 décembre 2008, pour la 3^e session du Comité international sur le GNSS ;
- ICG, Vienne (Autriche), les 15 et 16 février 2009, pour la première réunion préparatoire à la 4^e session du Comité international sur le GNSS ;
- NPLI, New Delhi (Inde), du 18 au 21 février 2009, pour le symposium d'AdMet ;
- Bangalore (Inde), les 23 et 24 février 2009, pour l'atelier « Time Structure for GNSS » à l'Indian Space Research Organization ;
- Bruxelles (Belgique), le 11 mars 2009, pour une réunion sur le temps de l'EURAMET ;
- Saint-Petersbourg (Féd. de Russie), du 5 au 9 avril 2009, pour une conférence sur GLONASS ;
- Besançon (France), du 19 au 25 avril 2009, pour le symposium EFTF et pour une réunion des stations participant aux comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite ;
- Londres (Royaume-Uni), du 19 au 21 mai 2009, pour la réunion du European Antiparliamentary Group on Space ;
- Bruxelles (Belgique), le 28 mai 2009, pour une présentation didactique sur le temps GNSS à l'Autorité de surveillance de Galileo (GSA) ;
- ICG, Vienne (Autriche), le 2 juin 2009, pour la deuxième réunion préparatoire à la 4^e session du Comité international sur le GNSS.

G. Panfilo :

- Washington DC (USA), du 1^{er} au 5 décembre 2008, pour assister à la 40^e réunion du PTTI et y présenter un poster ;
- Turin (Italie), le 5 mars 2009, pour une réunion sur les comparaisons clés de fréquence pour les aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages ;
- Besançon (France), du 20 au 24 avril 2009, pour assister au congrès commun EFTF/FCS et aux réunions du Groupe de travail du CCTF sur le CIPM MRA et sur les stations participant aux comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite, et y faire une présentation didactique et un exposé ;
- Paris (France), le 24 juin 2009, pour une présentation lors du 14^e Congrès international de métrologie.

G. Petit :

- Wabern et Berne (Suisse), du 28 juillet au 5 septembre 2008, en détachement au METAS et à l'AIUB ;

- Dresde (Allemagne), du 22 au 24 septembre 2008, pour assister aux Journées Systèmes de référence spatio-temporels, et y faire une présentation invitée ;
- Pacific Grove (États-Unis), du 5 au 10 octobre 2008, pour assister au 7^e symposium sur la métrologie et les étalons de fréquence, et y faire une présentation invitée ;
- Noordwijk (Pays-Bas), le 16 décembre 2008, pour une réunion du comité consultatif scientifique sur le GNSS ;
- Paris (France), le 12 janvier 2009, pour une réunion du groupe de physique fondamentale du CNES ;
- Biarritz (France), du 17 au 19 mars 2009, pour le séminaire de prospective du CNES ;
- Besançon (France), du 21 au 24 avril 2009, pour assister au congrès commun EFTF/FCS et y faire deux présentations ;
- Virginia Beach (États-Unis), du 27 avril au 1^{er} mai 2009, pour assister au Symposium 261 de l'UAI sur la relativité en astronomie fondamentale, en présider une séance et y faire une présentation invitée ;
- Paris (France), le 12 mai 2008, pour une réunion du comité consultatif scientifique sur le GNSS.

L. Robertsson :

- Prague (République tchèque), les 11 et 12 mai 2009, pour la deuxième réunion du comité d'organisation de l'ICAG-2009.
- L. Vitushkin :
- Saint-Petersbourg (Féd. de Russie), du 6 au 9 avril 2009, pour le symposium « Coordinate and time assurance in navigation, KVNO-2009 » ;
- Prague (République tchèque), les 11 et 12 mai 2009, pour la deuxième réunion du comité d'organisation de l'ICAG-2009 ;
- Bruxelles (Belgique), les 16 et 17 mars 2009, pour assister à l'atelier « Hydrological and other local effects in gravity measurements », COST ES0701 ;
- Dresde (Allemagne), les 4 et 5 juin 2009, pour assister à l'atelier « Aerogravimetry: Technology and Applications ».

3.16 Activités en liaison avec des organisations extérieures

E.F. Arias est membre de l'UAI et participe à deux de ses groupes de travail sur la nutation et sur le système de référence céleste international. Elle est membre associée de l'IERS, et membre de l'International Celestial Reference System Centre et du Conventions Centre de l'IERS. Elle est membre de l'International VLBI Service (IVS) et de son groupe de travail sur l'analyse du repère de référence céleste international. Elle représente le BIPM au directoire de l'IGS. Elle représente le BIPM au comité international sur le GNSS et préside le groupe de travail sur les références du temps. 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.

W. Lewandowski représente le BIPM au Civil GPS Service Interface Committee et il préside son sous-comité sur le temps. Il est membre du conseil scientifique du Space Research Centre de l'Académie des sciences de Pologne. Il préside également un Groupe de travail sur la métrologie scientifique au ministère polonais de l'Économie. Il représente, avec E.F. Arias, le BIPM au Groupe de travail 7A du Groupe d'étude 7 de l'UIT-R.

G. Petit est co-directeur du Conventions Product Centre de l'IERS. Il est vice-président de la Commission 52 de l'UAI sur la relativité en astronomie fondamentale. Il est membre du groupe de travail de l'UAI « Numerical Standards in Fundamental Astronomy » ; membre du groupe de travail de l'IGS sur les produits horaires ; membre du comité consultatif scientifique sur le GNSS de l'ESA ; et membre du groupe de physique fondamentale du CNES.

L. Vitushkin est président de la sous-commission I « Gravimetry and Gravity Networks » de l'AIG et du groupe d'étude 2.1.1 sur les comparaisons de gravimètres absolus de la Commission 2 « Gravity field » de l'AIG.

3.17 Activités liées au travail des Comités consultatifs

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

R. Felder est secrétaire exécutif du CCL et co-secrétaire du Groupe de travail commun au CCL et au CCTF sur les étalons de fréquence.

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. Panfilo est membre du Groupe de travail du CCTF sur les étalons primaires de fréquence et du sous-groupe sur les algorithmes du Groupe de travail du CCTF sur le TAI.

G. Petit est membre du Groupe de travail du CCTF sur le TAI et de son sous-groupe sur les algorithmes, ainsi que des groupes de travail sur les étalons primaires de fréquence et sur la normalisation des comparaisons d'horloges utilisant les systèmes de navigation par satellite à couverture globale (CGGTTS).

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

La 18^e session du CCTF s'est tenue au BIPM les 4 et 5 juin 2009. Elle a été précédée par les réunions du Groupe de travail commun au CCL et au CCTF sur les étalons de fréquence et du Groupe de travail du CCTF sur le TAI.

La 14^e session du CCL s'est tenue au BIPM les 10 et 11 juin 2009. Elle a été précédée par la réunion du Groupe de travail du CCL sur la métrologie dimensionnelle.

Beaucoup de temps a été consacré à l'organisation de ces sessions des Comités consultatifs et de leurs Groupes de travail respectifs. Le personnel de la section a préparé un certain nombre de documents et de rapports qui ont été soumis à discussion lors des sessions du CCL et du CCTF.

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

- M. Ernst Boyarsky et Mme Larisa Afanasieva (O. Yu. Schmidt Institute for the Physics of the Earth, Moscou, Féd. de Russie), les 13, 23 et 24 octobre 2008, pour tester le logiciel de traitement des données brutes de mesures de gravité absolue et pour discuter des méthodes d'ajustement des résultats.

- MM. J. Ray (NGS-NOAA) et K. Senior (NRL, États-Unis), le 8 juin 2009, pour discuter des comparaisons de temps GNSS et des Conventions de l'IERS.
- Mme S. Junqueira (ONRJ, Brésil), le 22 mai 2009, pour discuter des comparaisons de temps utilisant le GPS.
- M. M. Zucco (INRIM, Italie), le 15 juin 2009, pour discuter des comparaisons de fréquence optiques.
- M. M. Higgins (FIG) et M. Z. Altamimi (IGN), le 10 février 2009, pour une réunion du groupe de travail D de l'ICG.

3.19 Chercheurs invités

- Mlle A. Proia (doctorante), du 3 novembre au 20 décembre 2008 et du 8 au 12 juin 2009.
- M. Oleg Orlov (VNIIM, Saint-Petersbourg, Féd. de Russie), du 6 février au 20 mars 2009, pour apporter des modifications aux lasers compacts Nd:YVO₄:KTP/I₂ du BIPM.

4 ÉLECTRICITÉ (M. STOCK)

4.1 Potentiel électrique (R. Chayramy, S. Solve)

La rénovation du laboratoire de mesures de tension, commencée en octobre 2007, s'est achevée en septembre 2008. Nous disposons désormais d'un laboratoire moderne dont le contrôle de la température et de l'humidité est amélioré. Les étalons de tension primaires et secondaires, ainsi que leurs équipements de mesures, ont été remis en place dans le laboratoire rénové. Nous avons procédé à de nombreux tests afin de valider nos aptitudes de mesure et vérifier les incertitudes estimées. Un audit interne effectué dans le cadre du Système Qualité du BIPM a été réalisé avec succès en novembre 2008.

Ce processus de validation a permis de montrer que le nouveau système automatique d'étalonnage des étalons de tension à diode de Zener à 1,018 V fonctionnait correctement. Les cellules étalons saturées, ainsi que des étalons de tension à diode de Zener, ont été étalonnés à l'aide du dispositif à effet

Josephson conventionnel et du nouveau système automatique de mesure. Les résultats montrent un bon accord, dans les limites des incertitudes.

Cependant, au cours de ces tests, nous avons observé un décalage de tension systématique de 100 nV dans les lectures du détecteur analogique du nouvel équipement. En poursuivant nos recherches, nous avons découvert que la partie externe du connecteur délivrant la fréquence de 10 MHz créait une boucle de masse induisant ce décalage systématique. Des modifications sont actuellement apportées à l'installation afin d'isoler le potentiel du synthétiseur micro-onde de celui de la sortie externe du connecteur de type BNC.

Le nouvel étalon de tension de Josephson conventionnel, transportable et fonctionnant à 10 V, a été comparé à notre étalon primaire de Josephson. Les résultats montrent un très bon accord :

$(U_{\text{transportable}} - U_{\text{référence}}) / U_{\text{référence}} = 8,7 \times 10^{-11}$, avec une incertitude-type de $8,3 \times 10^{-11}$. Nous prévoyons d'utiliser cet étalon de tension primaire compact dans le cadre de comparaisons sur site d'étalons de Josephson effectuées par le BIPM. La comparaison conduite au BIPM a montré que des modifications sont toutefois nécessaires afin d'améliorer la fiabilité du nouveau système, ce qui est fondamental pour le programme de comparaisons sur site.

La puissance distribuée par la source micro-onde n'est pas uniforme sur toute la bande de fréquences à laquelle le réseau devrait fonctionner. Selon nos premières recherches, l'installation d'un amplificateur micro-onde supplémentaire pourrait apporter une amélioration significative, mais cette hypothèse doit être confirmée par d'autres tests.

En ce qui concerne la source de polarisation en continu, il est nécessaire d'utiliser un oscilloscope numérique à haute vitesse pour visualiser les marches de Shapiro, à la place de l'oscilloscope analogique imposant que nous utilisions jusqu'à présent. Nous n'avons pas encore trouvé d'instrument de ce type qui génère un bruit suffisamment faible pour cette application.

Le nouveau guide d'onde transmet considérablement plus de puissance que la sonde utilisée sur l'étalon de tension primaire de Josephson ; toutefois, de temps à autre, les marches de tension ne sont pas obtenues. Nous avons découvert que cela est dû au flux magnétique piégé qui ne peut pas être détecté en mode statique en raison des filtres électroniques trop puissants sur les câbles d'alimentation. Les filtres ont été modifiés pour que nous ayons une meilleure visibilité de la caractéristique $I-U$ en mode statique. Un écran en niobium qui, par effet Meissner, protège efficacement contre les champs magnétiques aux températures cryogéniques, sera ajouté à la sonde.

Le travail sur la mise au point d'un étalon de tension de Josephson spécifiquement conçu pour la balance de watt du BIPM a commencé.

Le personnel de la section Électricité a également travaillé avec celui de la section des rayonnements ionisants afin d'effectuer à nouveau en interne des étalonnages de thermomètres à résistance de platine étalons. La performance du pont thermométrique de précision a été vérifiée et la qualité des cellules au point de fusion du gallium testée (voir section 5.3).

4.2 Résistance électrique et impédance

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

En raison de l'absence prolongée de deux membres de la section, nous avons concentré notre travail sur le développement et la maintenance des équipements d'étalonnage des étalons de résistance, sur les comparaisons internationales, et sur la préparation des futures comparaisons sur site des étalons à effet Hall quantique, comme l'ont récemment demandé plusieurs laboratoires nationaux de métrologie. La sonde du comparateur de courant continu cryogénique a été reconstruite et une nouvelle sonde est en cours de construction.

Comme le cryostat à effet Hall quantique actuel présente une fuite, un nouveau cryostat équipé d'un aimant supraconducteur et répondant à nos besoins spécifiques a été commandé : sa conception a été optimisée de façon à le rendre facilement transportable et très fiable, ce qui est essentiel pour les comparaisons sur site. L'une de nos tâches à court terme est de dupliquer et de remplacer plusieurs des appareils électroniques principaux, construits par le BIPM il y a un grand nombre d'années. Le système électronique d'un second pont à 1 Hz est en cours de développement : ce pont sera utilisé pour comparer des résistances de 100 Ω avec la résistance de Hall quantifiée qui sera utilisée avec le nouveau cryostat.

Un autre laboratoire a été rénové cette année, mettant ainsi fin au programme de rénovation de la section Électricité.

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

L'étalon de référence de capacité fondé sur l'effet Hall quantique a été activement maintenu et utilisé pour effectuer des étalonnages pour les laboratoires nationaux de métrologie, mais aucun développement majeur n'a

été nécessaire. Le BIPM a collaboré avec la PTB pour évaluer les étalons voyageurs de capacité de 10 pF qui seront utilisés dans la comparaison EURAMET.EM-S31 prévue en 2010, dans le cadre du projet de recherche commun REUNIAM de l'EURAMET sur la redéfinition de l'ampère. Cette comparaison, en particulier pour ce qui concerne la traçabilité fondée sur R_{K-90} , devrait constituer le meilleur test jamais effectué dans ce domaine. Elle permettra au BIPM de vérifier la réduction des incertitudes associées à la chaîne de mesure de capacité, apportée par le projet de condensateur calculable.

4.3 Condensateur calculable (N. Fletcher, R. Goebel, L. Robertsson*, J. Sanjaime**, M. Stock)

L'objectif de ce projet, mis en œuvre en collaboration avec le NMIA (Australie), est de construire deux condensateurs calculables capables de réaliser une capacité de 0,4 pF avec une incertitude de l'ordre de 1×10^{-8} en valeur relative. Ceci nous permettra d'effectuer une mesure directe de la valeur de la constante de von Klitzing, R_K , avant le prochain ajustement des constantes fondamentales de CODATA. Une comparaison des résultats obtenus par des mesures électriques directes avec ceux dérivés des mesures de la constante de structure fine permettra de tirer des conclusions en ce qui concerne la validité de l'équation $R_K = h/e^2$, où e est la charge élémentaire et h la constante de Planck. La future mise en pratique des unités électriques sera en partie fondée sur cette équation. Par ailleurs, le condensateur calculable raccourcira de manière significative la chaîne de traçabilité pour nos étalonnages et comparaisons de capacité. Des membres du personnel de la section d'électricité, de la section du temps, des fréquences et de la gravimétrie, et de l'atelier contribuent à ce projet.

L'atelier de mécanique du BIPM a terminé de fabriquer un grand nombre de pièces pour les deux condensateurs. Le NMIA travaille encore à l'usinage des barres d'électrode et des vis-mères. Le laboratoire a pris un certain retard en raison de la difficulté à produire des barres respectant la cylindricité requise de 0,1 μm . Cependant, des progrès ont récemment été réalisés en façonnant les barres par polissage, sans rodage. Nous espérons recevoir les barres et la vis-mère au premier semestre de 2010. Entre-temps, l'atelier de mécanique du BIPM a fabriqué quatre barres d'électrode ne répondant pas parfaitement aux

* Section du temps, des fréquences et de la gravimétrie.

** Atelier de mécanique du BIPM.

spécifications, ainsi qu'une vis simplifiée, afin de pouvoir tester l'assemblage de l'ensemble des pièces.

Le BIPM a mis en place un banc d'essai pour tester l'interféromètre qui mesurera les déplacements de l'électrode mobile. Une autre composante importante des condensateurs est le dispositif optique de couplage de mode du faisceau laser à la cavité de l'interféromètre Fabry-Perot. Cette cavité a été optimisée pour réduire les effets de la diffraction. Les deux miroirs ont un très grand rayon de courbure de sorte que la cavité est proche d'une cavité à miroirs plans. Elle sera donc plus sensible aux défauts de surface et la présence de modes d'ordre supérieur de la cavité est à craindre.

La finesse actuelle de la cavité ne permettrait pas de résoudre les modes d'ordre supérieur dans le spectre de transmission de l'interféromètre. Néanmoins, ces modes provoqueraient un changement significatif de l'intensité dans le plan du détecteur par rapport au mode fondamental. Des calculs ont été effectués afin d'établir si ce phénomène pourrait être utilisé pour détecter la présence de modes d'ordre supérieur. Selon les résultats, cette technique donnerait en effet une indication claire de la présence ou non de modes d'ordre supérieur.

Nous nous sommes mis d'accord avec nos collègues du NMIA pour acquérir un second ensemble de miroirs plus réfléchissants afin d'obtenir une cavité avec un plus grand pouvoir de résolution. Cela permettra de vérifier les effets systématiques liés à la configuration optique.

La capacité du condensateur calculable variera de 0,2 pF à 0,6 pF. Afin de tester notre pont de capacité, deux condensateurs ont été construits avec ces valeurs. Figurant le condensateur calculable, ils seront utilisés pour vérifier la procédure de transfert vers un étalon conventionnel de 1 pF, à l'aide du pont coaxial déjà construit.

4.4 Comparaisons clés en continu du BIPM d'étalons électriques (R. Chayramy, N. Fletcher, R. Goebel, A. Jaouen, S. Solve, M. Stock)

La comparaison sur site d'étalons de tension de Josephson effectuée avec le NIST a été menée à bien en mars 2009. Les résultats ne sont pas encore disponibles officiellement, mais l'accord entre le BIPM et le NIST est excellent. Les résultats de la comparaison réalisée avec le LNE en décembre 2007 ont été publiés :

$$\text{à } 10 \text{ V} : (U_{\text{LNE}} - U_{\text{BIPM}}) = -0,1 \text{ nV} \qquad u = 0,1 \text{ nV}$$

Deux comparaisons de tension utilisant des étalons de tension à diode de Zener comme étalons de transfert ont été effectuées avec le NML (Irlande) en mai 2008 et en mai 2009. Les résultats de l'exercice le plus récent ne sont pas encore disponibles.

$$\text{à } 10 \text{ V (juin 2008)} : (U_{\text{NMLI}} - U_{\text{BIPM}}) = -0,56 \mu\text{V} \quad u = 1,32 \mu\text{V}$$

Dans le cadre des comparaisons clés de résistance en continu du BIPM, des comparaisons bilatérales ont été organisées avec le NML (Irlande), le NMIA (Australie) et le NIMT (Thaïlande). Les rapports des comparaisons avec le NMIA et le NIMT sont au stade de projet A.

En ce qui concerne la comparaison BIPM.EM-K13.a, fondée sur des étalons voyageurs à 1Ω , la différence relative entre les étalonnages du NML (Irlande) et du BIPM est de :

$$(R_{\text{NMLI}} - R_{\text{BIPM}}) / (1 \Omega) = +0,042 \times 10^{-6} \quad u = 0,11 \times 10^{-6}$$

Pour la comparaison BIPM.EM-K13.b, concernant des étalons à $10 \text{ k}\Omega$, elle est de :

$$(R_{\text{NMLI}} - R_{\text{BIPM}}) / (10 \text{ k}\Omega) = +0,039 \times 10^{-6} \quad u = 0,60 \times 10^{-6}$$

Les mesures d'une comparaison d'étalons de 10 pF et 100 pF avec le CMI (République tchèque), organisée dans le cadre des comparaisons BIPM.EM-K14.a et K14.b, sont en cours.

4.5 Étalonnages

De juillet 2008 à juin 2009, la section d'électricité a effectué les étalonnages suivants :

- étalons de tension à diode de Zener à $1,018 \text{ V}$ et à 10 V pour le GUM (Pologne), le BIM (Bulgarie ; 10 V uniquement), le DMDM (Serbie) et l'INM (Roumanie) ;
- étalons de résistance de 1Ω pour le BEV (Autriche), la Division Métrologie (Belgique), le MSL (Nouvelle Zélande), l'INM (Roumanie) et le NMC, A*STAR (Singapour) ; étalons de résistance de 100Ω pour le MSL (Nouvelle Zélande) et le GUM (Pologne) ; étalons de résistance de $10 \text{ k}\Omega$ pour le BEV (Autriche), le DFM (Danemark), le NML-SIRIM (Malaisie), l'INM (Roumanie) et le NMC, A*STAR (Singapour) ;
- étalons de capacité de 1 pF pour le CEM (Espagne) et l'INMETRO (Brésil) ; étalons de capacité de 10 pF pour le CEM (Espagne), l'INMETRO (Brésil), le BEV (Autriche), l'EIM (Grèce), le MSL (Nouvelle Zélande) et le CENAM (Mexique) ; étalons de capacité de

100 pF pour le CEM (Espagne), l'INMETRO (Brésil), le BEV (Autriche), l'EIM (Grèce), le MSL (Nouvelle Zélande) et le CENAM (Mexique).

Une liste des Certificats d'étalonnage et Notes d'étude se trouve à la section 12.

4.6 Publications, conférences et voyages : section d'électricité

4.6.1 Publications extérieures

1. Power O., Murray J., Solve S., Chayramy R., Bilateral comparison of 10 V standards between the NML (Ireland) and the BIPM, May to June 2008 (part of the ongoing BIPM key comparison BIPM.EM-K11.b), *Metrologia*, 2008, **45**, *Tech. Suppl.*, 01008.
2. Djordjevic S., Séron O., Solve S., Chayramy R., Direct comparison between a programmable and a conventional Josephson voltage standard at the level of 10 V, *Metrologia*, 2008, **45**(4), 429-435.
3. Solve S., Chayramy R., Stock M., Kim K.-T., Song W., Kim M.-S., Chong Y., Comparison of the Josephson voltage standards of the KRIS and the BIPM (part of the ongoing BIPM key comparison BIPM.EM-K10.b), *Metrologia*, 2008, **45**, *Tech. Suppl.*, 01006.
4. Goebel R., Chrobok P., Fletcher N., Stock M., Bilateral comparison of 10 k Ω standards (ongoing BIPM key comparison BIPM.EM-K13.b) between the CMI (Czech Republic) and the BIPM, *Metrologia*, 2008, **45**, *Tech. Suppl.*, 01010.
5. Solve S., Chayramy R., Stock M., Kim K.-T., Song W., Kim M.-S., Chong Y., Bilateral comparison of 1.018 V and 10 V standards between the KRIS (Republic of Korea) and the BIPM, February 2008 (part of the ongoing BIPM key comparison BIPM.EM-K11.a and b), *Metrologia*, 2008, **45**, *Tech. Suppl.*, 01007.
6. Solve S., Chayramy R., Djordjevic S., Séron O., Comparison of the Josephson voltage standards of the LNE and the BIPM (part of the ongoing BIPM key comparison BIPM.EM-K10.b), *Metrologia*, 2009, **46**, *Tech. Suppl.*, 01002.

4.6.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

M. Stock :

- Jakarta (Indonésie), les 3 et 4 novembre 2008, pour participer à la réunion du Comité technique sur l'électromagnétisme de l'APMP ;

- Sofia (Bulgarie), les 23 et 24 avril 2009, pour participer à la réunion du Comité technique sur la photométrie et la radiométrie de l'EURAMET.

N. Fletcher :

- Dublin (Irlande), les 16 et 17 octobre 2008, pour participer à la réunion du Comité technique sur l'électromagnétisme de l'EURAMET ;
- LNE, Paris (France), les 4 et 5 juin 2009, pour participer à la réunion des experts de la métrologie électrique quantique dans le cadre du Comité technique sur l'électromagnétisme de l'EURAMET.

S. Solve :

- LNE, Trappes (France), le 18 juillet 2008, pour discuter de recherches à venir sur les étalons de tension de Josephson avec Sophie Djordjevic (LNE) et Ralf Behr (PTB) ;
- LNE, Trappes, (France), les 7 et 8 octobre 2008, pour participer en tant qu'expert technique à l'audit des activités du LNE dans le domaine des mesures de tension ;
- LCIE, Fontenay aux Roses (France), le 16 octobre 2008, pour un séminaire sur la compatibilité électromagnétique ;
- CEA, Saclay (France), le 21 novembre 2008, pour discuter de sa thèse de doctorat avec Daniel Estève ;
- METAS, Berne (Suisse), les 26 et 27 novembre 2008, pour un séminaire sur les mesures de précision des signaux radio-fréquence ;
- CNAM, Paris (France), le 4 décembre 2008, pour soutenir sa thèse de doctorat ;
- PTB, Braunschweig (Allemagne), les 4 et 5 mai 2009, pour des discussions techniques sur les étalons de tension de Josephson ;
- Braunschweig (Allemagne), les 5 et 7 mai 2009, pour une présentation sur le rôle du BIPM et ses activités dans le domaine de la métrologie des tensions en continu lors de l'atelier « S-Pulse Workshop » ;
- ESM, Douai (France), le 12 mai 2009, pour une présentation sur le rôle du BIPM et ses activités dans le domaine de la métrologie des tensions en continu ;
- LNE, Paris (France), les 4 et 5 juin 2009, pour assister à la réunion des experts en métrologie électrique quantique en continu de l'EURAMET.

S. Solve et R. Chayramy :

- NIST, Gaithersburg (États-Unis), du 19 au 26 mars 2009, pour une comparaison sur site d'étalons de Josephson dans le cadre des comparaisons en continu du BIPM.

R. Goebel :

- LNE, Trappes (France), les 7 et 8 octobre 2008, pour participer en tant qu'expert technique à l'audit des activités du LNE dans le domaine des mesures d'impédance.

E. de Mirandés :

- Santander (Espagne), le 1^{er} juin 2009, pour une présentation sur le nouveau SI au IV Congreso Español de Metrología ;
- Bad Honnef (Allemagne), du 15 au 17 juin 2009, pour assister à la conférence « Precision Experiments at Lowest Energies for Fundamental Tests and Constants ».

4.7 Activités en liaison avec des organisations extérieures

M. Stock est membre du Comité exécutif de la CPEM et membre du Comité du programme de la CPEM 2010.

N. Fletcher est membre du Comité du programme de la CPEM 2010.

4.8 Activités liées au travail des Comités consultatifs

M. Stock est secrétaire exécutif du CCEM et du CCPR, et membre de plusieurs de leurs groupes de travail. La 26^e session du CCEM a eu lieu les 12 et 13 mars 2009 au BIPM.

R. Goebel organise l'examen des protocoles et des rapports de comparaisons dans le cadre du Groupe de travail du CCPR sur les comparaisons clés.

4.9 Visiteurs de la section d'électricité

- Mme S. Djordjevic et M. O. Seron (LNE), le 3 juillet 2008, pour discuter d'une collaboration à venir concernant les étalons de tension de Josephson.
- Mme R. Vasconcellos (INMETRO), les 23 et 24 octobre 2008, pour des discussions et une formation sur les mesures de capacité et les ponts coaxiaux.

- M. M. Himbert (LNE-INM), le 21 novembre 2008, pour discuter de la préparation de la soutenance de la thèse de doctorat de S. Solve.
- M. L. Palafox (PTB), le 3 décembre 2008, pour visiter la section d'électricité et donner une présentation intitulée « 1 V and 10 V SNS Programmable Voltage Standards for 70 GHz ».
- M. H. Martinez (DIGENOR, République dominicaine) et M. Moritz Ackermann (PTB), le 2 février 2009.
- M. H. Bothe (PTB), du 23 au 27 mars 2009, pour effectuer des mesures et échanger des connaissances en vue de la comparaison de capacité EURAMET.EM-S31.
- Délégation du LNE Tunis, le 27 mars 2009.
- Mme J. Lee (NMC, A*STAR, Singapour), le 2 juin 2009, pour visiter le laboratoire de mesure des tensions en continu.
- M. Yi-hua Tang (NIST), le 2 juin 2009, pour discuter du rapport de la comparaison bilatérale NIST-BIPM d'étalons de tension de Josephson.
- M. M. Goetz (PTB), le 2 juin 2009, pour des discussions techniques sur les ponts de résistance.

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

5.1 Rayons x et γ (P.J. Allisy-Roberts, D.T. Burns, C. Kessler, S. Picard, P. Roger et J. Alvarez Romero*)

5.1.1 Étalons et équipements pour la dosimétrie

Suite à la réévaluation de l'étalon de kerma dans l'air dans le faisceau de ^{60}Co , une réévaluation similaire a été réalisée pour l'étalon de kerma dans l'air dans le faisceau de ^{137}Cs , en tenant compte des changements proposés concernant les corrections de paroi et de non-uniformité axiale, le volume de la cavité et la correction pour la recombinaison des ions. Un court article approuvé par la Section I du CCRI sera publié sur ce sujet dans *Metrologia*.

* En détachement de l'ININ (Mexico) du 22 septembre 2008 au 23 janvier 2009.

Une série d'étalons à cavité a été construite et le volume des chambres mesuré à l'aide d'une machine de mesure de coordonnées tridimensionnelles. Chaque chambre a été testée par rapport à l'étalon primaire pour le kerma dans l'air dans le faisceau de ^{60}Co . Après avoir appliqué les facteurs de correction appropriés, notamment en ce qui concerne l'effet d'orientation de la chambre, les résultats sont en accord à 3×10^{-4} près. L'étalon primaire existant (CH5-1), présentant un courant de fuite, a été remplacé par l'une des nouvelles chambres (CH6-1). Deux des nouvelles chambres, dont la conception a légèrement été modifiée, ont été construites afin d'être utilisées avec le calorimètre étalon pour la conversion de la dose absorbée du graphite à l'eau. Suite à nos travaux dans l'air à basse pression, l'année dernière, les composants de l'une des chambres ont été fabriqués à partir d'un matériau en plastique « équivalent à l'air » et font actuellement l'objet de tests. Alors que ce matériau n'est pas conducteur, il présente, lorsqu'il est poli, une conduction de surface suffisante qui le rend adapté. Des mesures dans l'air à basse pression seront effectuées dès que nous le pourrons.

Le calorimètre en graphite a été utilisé plusieurs fois pour des mesures dans le faisceau de référence du ^{60}Co : le taux de dose absorbée dans le graphite à 5 g cm^{-2} est d'environ $0,4 \text{ Gy min}^{-1}$, avec une incertitude relative statistique atteignant 2×10^{-3} . Le fait d'ajouter au calorimètre des surfaces réfléchissantes a permis de réduire considérablement les pertes de chaleur, comme le prouve l'étroite concordance entre l'élévation de température du cœur et celle de l'enveloppe en graphite. Les modifications apportées au câblage et l'intégration de ponts dans les voltmètres ont diminué le niveau de bruit typique de $12 \text{ } \mu\text{K}$ à $8 \text{ } \mu\text{K}$. Un rapport du BIPM décrivant la construction du calorimètre a été publié. Les deux chambres d'ionisation de transfert, l'une remplaçant le cœur en graphite et l'autre devant être utilisée dans le fantôme d'eau, ont également fait l'objet de mesures à plusieurs reprises. Des calculs préliminaires de la conversion de la dose absorbée du graphite à l'eau à l'aide de la méthode de Monte Carlo ont été effectuées pour le faisceau de référence du ^{60}Co . Étant donné la géométrie complexe, les calculs ont nécessité un certain temps et l'on a obtenu une incertitude-type statistique d'environ $0,07 \%$ à ce jour.

En avril 2008, le Groupe de travail de la Section I du CCRI sur la dosimétrie des accélérateurs a recommandé d'utiliser le calorimètre du BIPM pour une série de comparaisons bilatérales sur les sites des huit laboratoires nationaux de métrologie équipés d'accélérateurs. Des modifications ont été apportées au calorimètre du BIPM afin qu'il présente la géométrie requise pour une utilisation dans des faisceaux d'accélérateurs. Par ailleurs, un protocole a été

préparé pour ces comparaisons qui ont pour référence BIPM.RI(I)-K6 dans la KCDB. Des mesures d'essai ont été réalisées dans les faisceaux du ^{60}Co et de l'accélérateur du LNE-LNHB (France). Ces mesures ont permis d'obtenir de précieuses informations, notamment sur le bruit, la reproductibilité et le contrôle du faisceau. La première comparaison, au cours de laquelle on a travaillé à trois qualités de faisceau d'accélérateur, a eu lieu à l'Institut des étalons nationaux de mesure du NRC (Canada) en juin 2009. Les calculs de Monte Carlo de conversion de la dose dans ces faisceaux sont en cours : ils sont effectués à l'aide de fichiers de distribution spatiale et phasique fournis par le NRC-INMS.

Un article sur les corrections de diaphragme apportées aux étalons de chambre d'ionisation à parois d'air libre a été publié dans *Physics in Medicine and Biology*. Un court article sur ce sujet a été préparé pour une publication dans *Metrologia* et approuvé par la Section I du CCRI. Cet article propose une modification de la détermination du kerma dans l'air dans les faisceaux de rayons x, suite aux nouvelles corrections de diaphragme et à la correction mesurée pour la dispersion due au support du diaphragme aux énergies moyennes.

Le BIPM a reçu une chambre à parois d'air libre de forme cylindrique et de volume variable du NIS (Égypte) pour une étude préliminaire de détermination de ses caractéristiques. Il en résulte que la chambre peut être utilisée comme étalon primaire seulement si certaines procédures sont respectées. Les mesures effectuées au BIPM et les procédures qui ont été recommandées au NIS feront l'objet d'un prochain rapport du BIPM.

Le coefficient de température des diviseurs de tension a été mesuré à un niveau élevé d'exactitude : les résultats indiquent que la mesure de la tension à 250 kV est plus stable que précédemment. Un nouveau système de refroidissement à l'eau des deux tubes de rayons x aux basses énergies a été installé. Le système de mesure du courant d'anode a été modifié afin de corriger pour tenir compte du courant parasite qui traverse le système de refroidissement et qui augmente lorsque l'eau est moins pure. Le générateur à moyennes énergies a été ajusté afin de fournir deux nouvelles qualités de 50 kV de manière à pouvoir comparer les étalons à moyennes et basses énergies.

L'analyse des résultats d'un certain nombre de mesures et calculs publiés, ayant un impact sur la « valeur- I » pour le graphite, a permis de déduire une valeur moyenne d'environ 82 eV. Ce résultat peut avoir des répercussions importantes car il engendrerait une modification de plus de 0,8 % pour tous les

étalons à cavité du monde : il a été présenté à la Section I du CCRI et une note technique a été soumise pour publication dans *Metrologia*.

Trois articles rédigés par des membres de la section ont été publiés dans le numéro spécial de *Metrologia* consacré à la dosimétrie des rayonnements (46(2), 2009).

Le travail sur l'équipement du BIPM pour la mammographie se poursuit. Des mesures des profils de faisceau horizontaux et verticaux ont été effectuées à l'aide d'une chambre d'ionisation dé ; les données ainsi acquises permettront de déterminer la taille et la position du collimateur requises pour obtenir un champ de 10 cm de diamètre dans le plan de référence. Des mesures supplémentaires effectuées avec le nouvel étalon primaire pour la mammographie ont été réalisées afin d'identifier la cause de la différence avec l'étalon actuel aux basses énergies : étude de l'effet des potentiels de contact en appliquant quelques volts à la plaque de garde tandis que le collecteur reste au potentiel de la terre ; mesure de la température et de la stabilité à l'intérieur de la chambre en ajoutant temporairement une thermistance au centre du volume collecteur ; évaluation de la planarité du collecteur par rapport à la plaque de garde, établie à l'aide d'une machine de mesure de coordonnées tridimensionnelles. Une tolérance initiale de 50 μm a été testée en levant et en abaissant le bord amont du collecteur d'environ 100 μm par rapport à la plaque de garde ; cela a donné lieu à des différences significatives, indiquant que la tolérance de 50 μm était trop élevée et pourrait expliquer les variations des résultats. Un nouveau support a été conçu pour que le collecteur puisse être ajusté par rapport à la plaque de garde à mieux que 5 μm . Cette nouvelle configuration permet de réduire la différence relative entre les étalons à moins de 2×10^{-3} . Nous poursuivons donc nos recherches pour expliquer cette différence.

Les mesures primaires et les étalonnages des chambres de référence continuent dans tous les faisceaux de référence de rayons x et de rayonnement γ , y compris pour les qualités de rayonnements simulées pour la mammographie. Les comparaisons et les étalonnages sont étayés par un effort significatif consacré à l'étalonnage et à la maintenance des équipements, comme l'exige le Système Qualité du BIPM.

5.1.2 Comparaisons de dosimétrie

Trois comparaisons de kerma dans l'air dans le faisceau de rayonnement gamma du ^{137}Cs ont été effectuées : avec l'ITN (Portugal) en juillet 2008, avec

le LNE-LNHB (France) en novembre 2008 et avec le BEV (Autriche) en mars 2009. Les projets de rapports ont été préparés.

Trois comparaisons de dose absorbée dans l'eau dans le faisceau de rayonnement gamma du ^{60}Co ont été réalisées : avec le BEV (Autriche) en mars 2009, avec le VNIIFTRI (Féd. de Russie) en avril 2009 et avec le NRC (Canada) en mai 2009. Les projets de rapports du BEV et du VNIIFTRI ont été préparés.

Deux comparaisons de kerma dans l'air dans le faisceau de rayonnement gamma du ^{60}Co ont été effectuées : avec le BEV (Autriche) en mars 2009 et avec le NRC (Canada) en mai 2009. Le projet de rapport du BEV a été préparé.

Une comparaison de kerma dans l'air dans les faisceaux de rayons x aux basses énergies a été réalisée avec l'ARPANSA (Australie) en novembre 2008. Le rapport de l'ARPANSA est en cours de préparation.

Les rapports de comparaisons précédentes pour les rayons x avec le NMIJ AIST (Japon) et le VSL (Pays-Bas), et pour le rayonnement gamma du ^{60}Co avec l'ITN (Portugal), ont été publiés dans le *Technical Supplement* de *Metrologia*. Les rapports de comparaisons pour les rayons x de l'ARPANSA (Australie), du NPL (Royaume-Uni) et du NRC (Canada) sont en cours de préparation, et les rapports du BARC (Inde) et du NIM (Chine) sont encore en discussion.

Les quatre chambres de transfert pour la comparaison clé du CCRI de dose absorbée aux hautes énergies continuent à faire l'objet de mesures périodiques dans le faisceau de ^{60}Co du BIPM. L'une de ces chambres est régulièrement étalonnée pour les mesures de kerma dans l'air dans le faisceau de ^{60}Co du BIPM et pour la qualité de rayons x de 250 kV. Cette chambre ainsi qu'une chambre d'ionisation à puits seront utilisées dans la prochaine comparaison du CCRI de dosimétrie en curiethérapie avec des sources de ^{192}Ir dont le BIPM sera le laboratoire pilote.

Le BIPM a piloté une comparaison à haute dose avec le NIST (États-Unis) et le NPL (Royaume-Uni) qui ont fourni les dosimètres de transfert à l'alanine. Le BIPM a également fourni les irradiations de référence au niveau de dose le plus bas, 1 kGy. Tous les résultats ont été reçus et sont en cours d'analyse.

Suite à la réunion du Groupe de travail de la Section I du CCRI sur la curiethérapie, au cours de laquelle avaient été exigés deux types différents de comparaison de curiethérapie, le BIPM est parvenu à faire venir un scientifique de l'ININ (Mexico) en détachement pour effectuer ce travail. Les protocoles ont été préparés et l'équipement nécessaire pour la première

comparaison a été achetée et mise en service. Toutefois, dans l'attente d'autres personnes en détachement pour réaliser les mesures de stabilité et la détermination des caractéristiques des grains d'iode 125, les comparaisons n'ont pas encore été lancées.

5.1.3 Étalonnage d'étalons nationaux pour la dosimétrie

Suite à un audit interne réalisé en novembre 2008, une révision des procédures d'étalonnage et un audit externe des services d'étalonnage se sont achevés en mai 2009 : aucune non-conformité n'a été observée.

Trois séries d'étalonnages d'étalons nationaux pour les rayons x aux moyennes énergies ont été effectuées pour le CRRD (Argentine), le LNMRI (Brésil) et le NRPA (Norvège). Une série d'étalonnages et une étude ont été réalisées pour les rayons x aux basses énergies pour le NRPA (Norvège).

Dix-huit étalonnages d'étalons nationaux ont été effectués dans les faisceaux de rayonnement gamma du BIPM pour le kerma dans l'air, l'équivalent de dose ambiant et la dose absorbée dans l'eau, à la demande de l'AIEA (Vienne), du LNMRI (Brésil), du CRRD (Argentine) et du NRPA (Norvège).

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

5.2 Radionucléides (P.J. Allisy-Roberts, S. Courte, C. Michotte*, M. Nonis, G. Ratel et D. Kryeziu**)

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

En 2008, le BIPM a reçu neuf ampoules contenant huit radionucléides différents appartenant à cinq laboratoires : deux ampoules du BEV (l'une contenant du ^{134}Cs et l'autre du ^{139}Ce) ; deux ampoules de l'IFIN-HH (l'une contenant du ^{57}Co et l'autre du ^{131}I) ; une ampoule du NIST contenant du ^{99}Mo ; deux ampoules du NPL (l'une contenant du ^{56}Mn et l'autre du $^{99}\text{Tc}^m$) ; et deux ampoules de la PTB (l'une contenant du ^{88}Y et l'autre du ^{139}Ce).

Toutes les ampoules soumises l'ont été en vue d'obtenir des valeurs d'équivalence dans le cadre des comparaisons clés correspondantes. Un

* En congé maternité jusqu'en septembre 2008, puis en poste à temps partiel (80 %).

** En détachement de l'université de Tirana (Albanie) jusqu'en novembre 2008.

radionucléide, le ^{139}Ce , a été mesuré au moyen de deux méthodes différentes par le même laboratoire qui a donné son accord pour que la moyenne pondérée des résultats des deux méthodes soit calculée pour déterminer la valeur du degré d'équivalence. Avec les nouvelles mesures enregistrées pour 2008, le nombre total d'ampoules mesurées depuis les débuts du SIR en 1976 est maintenant de 914, délivrant 670 résultats indépendants pour 63 radionucléides différents.

Les résultats des nouvelles mesures ont été enregistrés dans le fichier maître du SIR, pour cinq radionucléides différents : ^{56}Mn (NPL), ^{88}Y (PTB), ^{131}I (IFIN-HH), ^{134}Cs (BEV) et ^{139}Ce (BEV et PTB). Les rapports actualisés de quatre comparaisons ont été publiés en 2008 (pour le ^{54}Mn , le ^{131}I , le ^{186}Re et le ^{201}Tl), et les résultats pour le ^{99}Mo (NIST) et le ^{134}Cs (NPL) sont en attente. Quatre autres rapports actualisés ont été publiés depuis le début de 2009.

Sept résultats de 2006 sont encore en attente de publication dans la KCDB. Parmi les résultats soumis après 2006, 16 % ont été publiés, 59 % en sont au stade de projet A ou B de rapport, et nous attendons encore les mesures d'activité de laboratoires nationaux de métrologie pour les 25 % restants. Conformément à la recommandation du CCRI en 2005, les résultats de comparaison datant de plus de 25 ans sont supprimés de la KCDB et chaque laboratoire national de métrologie en est informé. Les résultats du SIR antérieurs à 1989 sont désormais colorés en noir dans la KCDB.

Concernant le projet d'identifier les effets de pression des gaz sur le SIR en utilisant des ampoules remplies de gaz de ^{85}Kr préparées par le LNE-LNHB, nous sommes en attente des résultats des mesures d'activité. Lorsque nous les aurons reçus, le BIPM pourra établir un rapport sur cet effet.

Un audit interne du SIR effectué dans le cadre du Système Qualité du BIPM a été réalisé avec succès au second semestre de 2008, puis un audit externe a eu lieu en juin 2009. Les documents du Système Qualité ont été actualisés afin d'intégrer le nouveau système électronique d'acquisition de données actuellement utilisé. La linéarité de ce nouveau système a été mesurée à l'aide d'une source de ^{64}Cu .

5.2.2 Spectrométrie gamma

Une impureté de ^{103}Ru a été identifiée dans la solution de ^{99}Mo ; elle a été mesurée à l'aide du spectromètre Ge(Li) en 2008. Aucune impureté n'a été détectée dans la solution de ^{64}Cu récemment soumise au SIR par la PTB. Comme nous nous y attendions, une impureté de $^{177}\text{Lu}^m$ a été identifiée dans deux ampoules de ^{177}Lu , l'une provenant de l'IRMM et l'autre du NPL.

L'étalonnage du spectromètre au germanium hyper-pur avance bien. L'incertitude associée à la base de l'ampoule a été évaluée. La correction d'empilement a été mesurée à l'aide de la méthode des deux sources. L'analyse de l'ensemble des données est en cours, tout comme les mesures d'efficacité.

5.2.3 Extension du SIR à des radionucléides à courte durée de vie

L'analyse des mesures de radionucléides à courte durée de vie comprend : le lien au SIR à l'aide de solutions de $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ provenant du LNE-LNHB et du NPL, la mesure de la réponse de l'instrument de transfert à toute impureté de ^{99}Mo à l'aide d'une solution du NIST, et une comparaison d'essai au NPL. La moyenne pondérée des mesures de stabilité utilisant du ^{94}Nb , réalisées depuis mars 1997, est de $8492,4 (8) \text{ s}^{-1}$. Les facteurs de lien au SIR mesurés à l'aide des solutions du NPL et du LNE-LNHB sont en accord à 3×10^{-4} près lorsque le taux d'impureté en ^{99}Mo de la solution du LNE-LNHB est ajusté afin d'obtenir des résultats constants. La comparaison d'essai au NPL s'est déroulée avec succès : l'activité équivalente obtenue à l'aide de l'instrument de transfert et du facteur de lien au SIR est en accord avec le résultat du NPL enregistré dans le SIR à 2×10^{-4} près. Les trois mesures d'activité du NPL impliquées dans cet exercice sont traçables à la même mesure primaire. La comparaison d'essai effectuée au NPL a mis à jour l'influence significative que peut avoir la présence d'une gouttelette dans l'épaule ou le cou de l'ampoule, de sorte que nous avons pris encore plus de précaution pour réaliser les mesures suivantes.

Comme nous avons décidé de transporter le détecteur au Na(Tl) et sa gaine en laiton comme bagages à main, de nouvelles caisses ont été achetées pour l'expédition du reste de l'équipement, y compris de la source en Nb. Deux gaines en laiton de rechange ont été fabriquées par l'atelier de mécanique du BIPM et leur épaisseur a été ajustée afin d'obtenir avec les trois gaines le même taux de comptage pour une ampoule donnée de ^{57}Co .

Le Groupe de travail de la section II sur l'instrument de transfert s'est réuni au BIPM en mars. Il a discuté des résultats mentionnés ci-dessus, ainsi que du bilan d'incertitude préliminaire et du protocole de la comparaison.

Une première comparaison d'activité de $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ (BIPM.RI(II)-K4.Tc-99m) a eu lieu au NIST en mai 2009. Les mesures de stabilité utilisant du ^{94}Nb ont été menées à bien malgré la température de $26 \text{ }^{\circ}\text{C}$ dans le laboratoire. Une fois encore, la présence de gouttelettes sur la paroi de l'ampoule a affecté les

mesures mais ce problème a été résolu en la centrifugeant. Les résultats de la comparaison sont en cours d'analyse.

5.2.4 Extension du SIR aux émetteurs de rayonnement bêta pur

En ce qui concerne l'extension du SIR aux émetteurs de rayonnement bêta pur, des progrès ont été réalisés pour identifier la cause de la différence persistante observée entre les scintillateurs fabriqués à partir des mêmes procédés et composants par le CIEMAT et le BIPM. Un autre lot du scintillateur XAN6040 a été préparé récemment alors que le taux d'humidité de la salle de pesée du BIPM était seulement de 37 % au lieu du taux de 60 % habituellement maintenu afin de réduire la charge électrostatique. Des aliquotes de 15 ml de cette préparation ont été versées dans des fioles en verre à faible teneur en potassium et des mesures de comptage ont été effectuées à l'aide des deux spectromètres à scintillation liquide du commerce du BIPM. Environ 30 mg d'eau tritiée achetée ont été ajoutés à chacune des fioles, puis l'on a renouvelé le comptage à l'aide des mêmes appareils. Les résultats sont assez prometteurs, les valeurs obtenues pour l'atténuation et l'efficacité déduite étant en accord avec les valeurs obtenues au CIEMAT. Toutefois, des tests complémentaires sont nécessaires pour valider le scintillateur XAN6040 de façon définitive avant de l'utiliser comme base de l'extension du SIR aux émetteurs de rayonnement bêta pur.

5.2.5 Améliorations au système de comptage du BIPM par la méthode du rapport des coïncidences triples aux coïncidences doubles (TDCR)

Cette année, le BIPM a continué d'apporter des améliorations à son système de comptage par la méthode du rapport des coïncidences triples aux coïncidences doubles (TDCR). Suite au conseil du LNE-LNHB, le BIPM a mis au point de nouveaux dispositifs de polarisation pour les trois photomultiplicateurs afin de pouvoir leur appliquer une tension positive et ainsi réduire le bruit. Les sources à haute tension ont été remplacées afin que les trois photomultiplicateurs soient alimentés par des dispositifs identiques. Afin de pouvoir utiliser la méthode du rapport des coïncidences triples aux coïncidences doubles pour étalonner des émetteurs de rayonnement bêta pur dans le cadre de l'extension du SIR, il est nécessaire d'effectuer une détermination rapide et fiable du niveau d'atténuation des échantillons. Pour ce faire, nous appliquons une méthode développée par P. Cassette (LNE-LNHB), fondée sur la diffusion Compton des photons produits par une source extérieure de rayonnement γ et déviés vers le bas à un angle de 90° dans le scintillateur. Un détecteur à Ge hyper-pur

transportable a été placé en position verticale pour détecter les photons diffusés dans la base de la fiole en verre placée dans le spectromètre. Les mesures commenceront dès qu'une source de ^{241}Am d'activité appropriée aura été achetée.

Le BIPM a participé à une comparaison de l'ICRM organisée par le NIST, concernant les logiciels utilisés pour traiter les résultats obtenus par la méthode TDCR. La comparaison consistait à évaluer une série de données expérimentales TDCR fournies par le NIST. L'objectif de notre participation était de nous assurer de la validité des procédures de calcul utilisées au BIPM. Les résultats sont prometteurs, bien que l'exercice ait révélé un besoin global d'évaluation plus robuste des incertitudes.

5.2.6 Comparaison de mesures d'activité du ^{85}Kr du CCRI

Le BIPM avait préalablement remis des ampoules préparées par le LNE-LNHB aux neuf participants potentiels à la comparaison de mesures d'activité du ^{85}Kr gazeux. Deux laboratoires ont décidé de ne pas participer. Le BIPM a récemment reçu les résultats du dernier des sept laboratoires. Les résultats sont en cours d'analyse.

5.2.7 Comparaison de mesures d'activité du ^3H du CCRI

La comparaison de mesures d'activité d'une solution d'eau tritiée est en cours. Le LNE-LNHB a envoyé 18 ampoules aux 16 participants déclarés. Pour permettre aux laboratoires nationaux de métrologie d'effectuer leurs mesures dans les meilleures conditions, la proposition de repousser la date limite de la comparaison à fin juin 2009 a été acceptée.

5.2.8 Mesures d'activité du ^3H

Le BIPM participe à la comparaison précédemment mentionnée et applique la méthode du CIEMAT/NIST aux deux spectromètres à scintillation liquide du commerce, en utilisant le ^{54}Mn comme étalon externe. Le BIPM utilise également son système de comptage par la méthode du rapport des coïncidences triples aux coïncidences doubles : ce sera la première validation expérimentale de ce système dans le cadre d'une comparaison internationale.

5.3 Thermométrie (P.J. Allisy-Roberts, M. Stock*, S. Picard, M. Nonis et S. Solve*)

En janvier 2009, la section des rayonnements ionisants s'est à nouveau attelée à la maintenance des étalons de thermométrie du BIPM, en collaboration avec la section Électricité, afin que le BIPM puisse à nouveau procéder à l'étalonnage des thermomètres à résistance de platine étalon utilisés en interne, aux niveaux d'incertitude requis pour les calorimètres étalons et les étalons de masse. L'activité d'étalonnage en thermométrie du BIPM reprend donc après avoir été suspendue en 2006. La performance du pont thermométrique de précision a été vérifiée et la qualité des cellules au point de fusion du gallium testée.

5.4 Publications, conférences et voyages : section des rayonnements ionisants

5.4.1 Publications extérieures

1. Allisy P.J., Burns D.T., Andreo P., International framework of traceability for radiation dosimetry quantities, *Metrologia*, 2009, **46(2)**, S1-S8.
2. Allisy-Roberts P.J., Burns D.T., Kessler C., Cardoso J., Comparison of the standards for air kerma of the ITN (Portugal) and the BIPM for ^{60}Co Y-rays, *Metrologia*, 2009, **46**, *Tech. Suppl.*, 06007.
3. Allisy-Roberts P.J., Day M., Uncertainty evaluation and expression in dose and risk assessment, *J. Radiol. Prot.*, 2008, **28**, 265–269.
4. Büermann L., Burns D.T., Air-kerma cavity standards, *Metrologia*, 2009, **46(2)**, S24–S38.
5. Burns D.T., Kessler, C., Diaphragm correction factors for free-air chamber standards for air kerma in x-rays, *Phys. Med. Biol.*, 2009, **54**, 2737–2745.
6. Burns D.T., Büermann L., Free-air ionization chambers, *Metrologia*, 2009, **46(2)**, S9–S23.
7. Burns D.T., de Prez L.A., Key comparison BIPM.RI(I)-K3 of the air-kerma standards of the VSL, Netherlands and the BIPM in medium-energy x-rays, *Metrologia*, 2009, **46**, *Tech. Suppl.*, 06002.

* M. Stock et S. Solve sont membres de la section Électricité.

8. Burns D.T., Nohtomi A., Saito N., Kurosawa T., Takata N., Key comparison BIPM.RI(I)-K2 of the air-kerma standards of the NMIJ and the BIPM in low-energy x-rays, *Metrologia*, 2008, **45**, *Tech. Suppl.*, 06015.
9. Kessler, C., Allisy-Roberts P.J., Burns D.T., de Prez L.A., de Pooter J.A., Damen P.M.G., Comparison of the standards for absorbed dose to water of the VSL and the BIPM for ^{60}Co γ -rays, *Metrologia*, 2009, **46**, *Tech. Suppl.*, 06009.
10. Lee J.H., Hwang W.S., Kotler L.H., Webb D.V., Büermann L, Burns D.T., Takeyeddin M., Saha V.V., Srimanoroth S., Meghzifene A., Hah S.H., Chun K.J., Kadni T.B., Takata N., Msimang Z., APMP/TCRI key comparison report of measurement of air kerma for medium-energy x-rays (APMP.RI(I)-K3), *Metrologia*, 2008, **45**, *Tech. Suppl.*, 06012.
11. Michotte C., Courte S., Ratel G., Kossert K., Nähle O.J., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Cu-64 of the activity measurements of the radionuclide ^{64}Cu , *Metrologia*, 2009, **46**, *Tech. Suppl.*, 06010.
12. Michotte C., Ratel G., Courte S. Hino Y., Yunoki A., Bobin C., Moune M., Activity measurements of the radionuclide ^{57}Co for the NMIJ, Japan and the LNE-LNHB, France in the ongoing comparison BIPM.RI(II)-K1.Co-57, *Metrologia*, 2009, **46**, *Tech. Suppl.*, 06005.
13. Michotte C., Ratel G., Courte S., Nedjadi Y., Bailat C., Johansson L., Hino Y., Update of the BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Ho-166m activity measurements to include the IRA and the NPL and a re-evaluation of the degrees of equivalence for the APMP.RI(II)-K2.Ho-166m comparison, *Metrologia*, 2009, **46**, *Tech. Suppl.*, 06008.
14. Ratel G., Michotte C., Kryeziu D., Moune M., Iwahara A., Update of the BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Cr-51 to include new activity measurements for the LNE-LNHB (France) and the pilot study result of the LNMRI (Brazil), *Metrologia*, 2009, **46**, *Tech. Suppl.*, 06001.

5.4.2 Rapports BIPM

15. Picard S., Burns D.T., Roger P., Measurement of the specific heat capacity of synthetic sapphire ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) from 293 K to 301 K, *Rapport BIPM-2008/05*, 12 p.
16. Picard S., Burns D.T., Roger P., Construction of an absorbed-dose graphite calorimeter, *Rapport BIPM-2009/01*, 12 p.

5.4.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

P.J. Allisy-Roberts :

- Londres (Royaume-Uni), le 2 juillet 2008, pour une réunion du comité de rédaction du *Journal of Radiological Protection* ; le 30 juillet 2008, pour le Measurement Board du National Measurement System (NMS) du Royaume-Uni ; le 4 novembre 2008, pour une réunion sur la protection contre les rayonnements de sources radioactives non scellées ; le 18 mars 2009, pour une réunion concernant le blindage de salles équipées d'accélérateurs linéaires ;
- Teddington (Royaume-Uni), du 30 septembre au 1^{er} octobre 2008, et le 23 février 2009, pour présider les réunions du groupe de travail sur l'acoustique et les rayonnements ionisants du NMS ; le 13 novembre 2008, pour faire une présentation lors de l'inauguration officielle du nouvel accélérateur linéaire du NPL ; le 20 mars 2009, pour assister au lancement de la stratégie du Royaume-Uni en matière de métrologie, ainsi qu'à l'inauguration officielle du National Measurement Office ;
- Vienne (Autriche), du 16 au 19 février 2009, pour co-présider le comité du programme scientifique de l'AIEA afin de préparer le symposium sur la dosimétrie de 2010 ;
- LNE (France), le 8 avril 2009, pour assister au Comité Scientifique dans le domaine des rayonnements ionisants ; le 2 juin 2009, pour assister à une réunion du comité de rédaction de la *Revue Française de Métrologie*.

D.T. Burns :

- Genève (Suisse), du 22 au 27 septembre 2008, pour une réunion de la commission principale de l'ICRU ;
- Rome (Italie), les 9 et 10 octobre 2008, pour une réunion des délégués de l'EURAMET dans le domaine des rayonnements ionisants ;
- Saclay (France), du 20 au 24 octobre 2008, pour une comparaison d'essai de calorimètres étalons dans le faisceau de ⁶⁰Co du LNE-LNHB ;
- Risø (Danemark), les 9 et 10 décembre 2008, pour être assesseur technique auprès de la Danish Technical Safety Authority ;
- Saclay (France), du 5 au 9 janvier 2009, avec S. Picard et P. Roger, pour une comparaison d'essai de calorimètres étalons au laboratoire de l'accélérateur du LNE-LNHB ;
- Ottawa (Canada), du 2 au 11 juin 2009, pour une comparaison d'étalons pour la dose absorbée dans les faisceaux de l'accélérateur linéaire du NRC ;

- Oxford (Royaume-Uni), du 29 juin au 1^{er} juillet 2009, pour une réunion du comité de l'ICRU sur les unités et grandeurs fondamentales.

S. Picard :

- Saclay (France), du 16 au 24 octobre 2008, avec P. Roger, pour une comparaison d'essai de calorimètres étalons dans le faisceau de ^{60}Co du LNE-LNHB ;
- Lymm (Royaume-Uni), les 20 et 21 janvier 2009, pour assister à un cours intitulé « *In Vivo* and Pre-treatment Patient Dosimetry » donné par l'Inrad ;
- Ottawa (Canada), du 2 au 20 juin 2009, avec P. Roger, pour une comparaison d'étalons pour la dose absorbée dans les faisceaux de l'accélérateur linéaire du NRC.

C. Kessler :

- Vienne (Autriche), du 27 au 29 avril 2009, pour assister à l'ICARO (International Conference on Advances in Radiation Oncology).

G. Ratel :

- Saclay (France), le 1^{er} juillet 2008, pour faire partie du jury décidant de l'octroi du diplôme d'habilitation à diriger des recherches à P. Cassette;
- Paris (France), les 11 et 12 décembre 2008, pour assister aux « Sixièmes rencontres des personnes compétentes en radioprotection » afin d'actualiser sa certification de personne compétente en radioprotection ;
- Saclay (France), le 15 décembre 2008, pour discuter des résultats de la comparaison des mesures d'activité de la solution de ^{124}Sb ;
- Bratislava (Slovaquie), les 5 et 6 mars 2009, pour assister au comité scientifique de l'ICRM, puis à son comité exécutif.

C. Michotte :

- Gaithersburg (États-Unis), du 18 au 24 mai 2009, pour effectuer au NIST une comparaison liée au SIR des mesures d'activité du $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ en utilisant l'instrument de transfert du SIR du BIPM

5.5 Activités en liaison avec des organisations extérieures

P.J. Allisy-Roberts préside le Groupe de travail commun de l'UK National Measurement System Programme for Ionizing Radiation and Acoustics et l'UK Ionising Radiation Health and Safety Forum. Elle représente le BIPM au comité scientifique des laboratoires secondaires de dosimétrie de l'AIEA qu'elle préside actuellement. Elle est membre du Comité scientifique

« Rayonnements ionisants » (LNE, France), et membre du comité de rédaction du *Journal of Radiological Protection* et du comité éditorial de la *Revue française de métrologie*.

D.T. Burns représente le BIPM aux réunions de l'ICRU ; il est membre du comité de l'ICRU sur les unités et grandeurs fondamentales (qui prépare actuellement une révision du Rapport 60 de l'ICRU) et de l'ICRU Report Committee on Key Data for Dosimetry. Il est la personne du BIPM à contacter au Comité technique sur les rayonnements ionisants au sein de l'EURAMET et il est consultant à l'AIEA (qui prépare actuellement une révision du document TRS-374).

G. Ratel représente le BIPM à l'International Committee for Radionuclide Metrology (ICRM), dont il est l'un des vice-présidents.

5.6 Activités liées au travail des Comités consultatifs

P.J. Allisy-Roberts est secrétaire exécutive du CCRI et de ses trois Sections, qui se sont réunis au BIPM en avril, mai et juin 2009. Ces réunions ont donné l'occasion de célébrer 50 années de collaboration internationale dans le domaine des rayonnements ionisants. Au cours de cette période, P.J. Allisy-Roberts a par ailleurs organisé un atelier et sept réunions de groupes de travail. Elle est également secrétaire exécutive du CCAUV, qui s'est réuni au BIPM en octobre 2008. Un nouveau volume de la *Monographie BIPM 5*, en soutien au travail de la Section II du CCRI, a été publié l'année dernière. En septembre 2008 a été organisé un atelier sur les comparaisons et incertitudes des mesures d'activité, auquel C. Michotte et G. Ratel ont également assisté.

P.J. Allisy-Roberts et D.T. Burns sont membres des groupes de travail de la Section I du CCRI sur les comparaisons clés, sur la dosimétrie des accélérateurs et sur les étalons en curiethérapie. Les groupes de travail de la Section I du CCRI sur les comparaisons clés et sur les étalons en curiethérapie se sont réunis en avril 2008, et un atelier sur la curiethérapie a été organisé en mai 2009 à l'occasion de la réunion de la Section I du CCRI. P.J. Allisy et D.T. Burns ont contribué au numéro spécial de *Metrologia* sur la dosimétrie des rayonnements comme auteurs principaux (articles sur les aspects internationaux et sur les chambres à parois d'air libre, respectivement). D.T. Burns est également co-auteur de l'article sur les étalons à cavité de ce numéro de *Metrologia*.

C. Michotte coordonne le Groupe de travail de la Section II du CCRI sur l'instrument de transfert, qui s'est réuni en mars 2009. Elle est également la personne à contacter au BIPM et le rapporteur du Groupe de travail 1 du

Comité commun pour les guides en métrologie, qui s'est réuni en novembre 2008 et en avril 2009 au BIPM.

G. Ratel est membre des groupes de travail de la Section II du CCRI suivants : Groupe de travail sur l'extension du SIR aux émetteurs de rayonnement bêta, qui s'est réuni en avril et en juin 2009 ; Groupe de travail sur les comparaisons clés, qui s'est réuni en septembre 2008 et en juin 2009 ; Groupe de travail sur les incertitudes de mesures, qui s'est réuni en juin 2009 ; et Groupe de travail sur la réalisation du becquerel, qui s'est réuni en juin 2009 et dont il est rapporteur. G. Ratel a fait plusieurs présentations lors de l'atelier sur les comparaisons de mesures d'activité organisé en septembre 2008.

5.7 Visiteurs de la section des rayonnements ionisants

- M. U. Wätjen (IRMM), le 19 septembre 2008.
- Mme O. Garcia Diaz (ININ), le 19 septembre 2008.
- M. A. Ostrowsky (LNE-LNHB), le 1^{er} décembre 2008.
- M. M. Mc Ewen (NRC), le 23 janvier 2009.
- M. H. Bjerke (NRPA), le 30 janvier 2009.
- MM. L. Énard (LNE), B. Chauvenet, F. Damoy, J.-M. Bordy (LNE-LNHB), le 6 février 2009.
- M. X. Mougeot et Mme M.-M. Bé (LNE-LNHB), le 19 février 2009.
- M. P.-O. Hetland (NRPA), le 24 février 2009.
- M. A. Steurer (BEV), le 12 mars 2009.
- Mme E. Renaot (LNE-INM), le 15 avril 2009 (thermométrie).
- M. T. Steele (ANSTO), le 21 avril 2009.
- M. I. Csete (MKEH), le 19 mai 2009.
- M. Ming-Chen Yuan (INER), le 11 juin 2009.

5.8 Chercheurs invités

- M. J. Cardoso (ITN), du 21 au 25 juillet 2008.
- M. L. Czap (AIEA), du 25 au 29 août 2008.
- M. D.B. Kulkarni (BARC), du 16 au 20 septembre 2008.
- Mme J. Lye (ARPANSA), du 7 au 14 novembre 2008.
- M. M. Donois (LNE-LNHB), du 24 novembre au 1^{er} décembre 2008.
- Mme M.T. Carlos (LNMRI-IRD), du 28 novembre au 8 décembre 2008.

- M. A. El-Sersy (NIS), du 19 au 26 janvier 2009.
- MM. V. Berlyand et A. Berlyand (VNIIFTRI), du 20 au 23 avril 2009.

6 CHIMIE (R.I. WIELGOSZ)

6.1 Programme sur la métrologie des gaz (J. Viallon, E. Flores, M. Petersen, P. Moussay, F. Idrees, R.I. Wielgosz)

6.1.1 Programme de comparaisons de photomètres mesureurs d'ozone

Le premier cycle de deux ans du programme de la comparaison clé en continu BIPM.QM-K1 (Ozone au niveau ambiant), auquel ont participé 15 laboratoires au total, s'est achevé en décembre 2008.

Depuis juillet 2008, trois laboratoires ont apporté ou envoyé leur étalon national mesureur d'ozone au BIPM pour comparaison directe au photomètre étalon de référence BIPM-SRP27 : le METAS (Suisse) et le NMISA (Afrique du Sud) en juillet 2008, et le VSL (Pays-Bas) en septembre 2008. Le rapport de la comparaison avec le METAS a été publié dans le *Technical Supplement* de *Metrologia* en juin 2009. Le rapport de la comparaison avec le NMISA est en cours de préparation, et celui de la comparaison avec le VSL en est au stade de projet B.

En novembre 2008, les membres du Groupe de travail du CCQM sur l'analyse des gaz ont accepté de lier les résultats des laboratoires ayant effectué une comparaison avec l'étalon voyageur SRP0 du NIST à ceux de la comparaison BIPM.QM-K1. Le lien est fondé sur les résultats de la comparaison entre l'étalon du BIPM et le SRP0 du NIST, réalisée en janvier 2007, et ceux de la comparaison subséquente entre le SRP0 du NIST et l'étalon du laboratoire. Les rapports de liens avec l'UBA (Allemagne), le NIM (Chine) et le JRC (Union européenne) ont été revus et publiés comme *Technical Supplements* de *Metrologia*. Huit autres rapports de comparaisons effectuées au BIPM entre juillet 2007 et juin 2008 ont également été examinés cette année et publiés comme *Technical Supplements* de *Metrologia* ; une liste complète des publications est présentée à la section 6.8.

Le programme d'étalonnage des étalons mesureurs d'ozone a commencé en juillet 2008 avec l'étalonnage du photomètre mesureur d'ozone du NMISA (Afrique du Sud). Un second étalonnage a été réalisé pour le SP (Suède) en mars 2009.

En octobre 2008, une comparaison respectant le protocole de BIPM.QM-K1 a été effectuée par le Department of Environment and Climate Change (NSW, Australie). Le rapport de cette comparaison sera publié sous la forme d'un rapport BIPM.

En mai 2009, les kits de mise à niveau pour les photomètres mesureurs d'ozone du NIST ont été installés avec succès dans les deux photomètres étalons de référence maintenus par le BIPM (SRP27 et SRP28). L'effet de cette mise à niveau sur l'accord entre l'étalon de référence de la comparaison clé, BIPM-SRP27, et les étalons nationaux des laboratoires sera décrit dans un rapport de comparaison spécifique, dont les résultats indiquent très peu de changements dans les degrés d'équivalence. Un rapport résumant l'ensemble des mises à niveau effectuées par le NIST et par le BIPM est également en préparation. Cela montrera comment les mises à jour du NIST appliquées aux photomètres étalons de référence ont amélioré l'accord général des étalons nationaux mesureurs d'ozone entre l'étude pilote CCQM-P28 menée en 2003–2004 et le premier cycle de la comparaison clé BIPM.QM-K1 en 2007–2008.

Le second cycle de la comparaison clé BIPM.QM-K1 a débuté par une comparaison avec le NIST en juin 2009.

6.1.2 Comparaisons à l'aide de l'équipement pour le titrage en phase gazeuse

Les études sur le système de titrage en phase gazeuse du BIPM ont été effectuées par M. Ochman en détachement du GUM (Pologne), de septembre à novembre 2008. La teneur en oxygène de l'air de référence a été analysée et l'on a observé une différence de 1 % par rapport aux valeurs attendues, ce qui a nécessité d'appliquer des corrections aux mesures de flux à l'intérieur du système. Une détection de fuites à l'hélium a été réalisée afin de s'assurer de l'absence d'effets systématiques sur les résultats de mesures de flux. Les mesures préliminaires de fraction molaire d'ozone à l'aide de l'équipement pour le titrage en phase gazeuse semble confirmer la différence précédemment observée par rapport à la méthode de photométrie par ultraviolet de la comparaison CCQM-P28.

6.1.3 Équipement pour les comparaisons d'étalons de monoxyde d'azote

Huit étalons primaires ont été analysés avec l'équipement de mesure de monoxyde d'azote afin d'étudier plus en profondeur l'incertitude de mesure des deux analyseurs utilisés pour la comparaison CCQM-P73. Les mesures ont

été effectuées en décembre 2008 et en juin 2009. Les rapports de ces analyses sont en cours de rédaction.

6.1.4 Maintenance de l'équipement pour le dioxyde d'azote et coordination des comparaisons CCQM-K74, CCQM-P110, CCQM-P120

L'équipement du BIPM pour le dioxyde d'azote (NO_2) a été optimisé en réduisant le nombre d'éléments à flux laminaire et de contrôleurs de débit massique présents dans le système afin de diminuer les niveaux d'humidité ambiante. L'étude de validation est désormais terminée : elle était fondée sur la comparaison d'étalons primaires de dioxyde d'azote à des mélanges de gaz produits dynamiquement par l'équipement pour le dioxyde d'azote, la validation des mesures de flux à l'aide d'un calibrateur primaire de flux gazeux, la comparaison des résultats de mesures et l'établissement d'un bilan d'incertitude complet. L'équipement pour le dioxyde d'azote sera utilisé pour assigner des valeurs à 25 cylindres de dioxyde d'azote dans l'air à une valeur nominale de 10 mmol/mol ; ces cylindres seront ensuite distribués aux laboratoires nationaux de métrologie participant aux comparaisons CCQM-K74 et CCQM-P120.

Des progrès ont été réalisés dans la détermination des caractéristiques de l'équipement fondé sur la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) destiné à être utilisé comme méthode analytique exacte pour la métrologie des gaz. Les études ont compris des mesures par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier réalisées à l'aide d'une cellule de White multi-passage bien définie, ainsi que des mesures améliorées de la température de la cellule à gaz. Les chemins optiques de la cellule de White multi-passage ont été récemment validés à l'aide d'une cellule à gaz simple passage et des étalons de gaz à fraction molaire connue. Les sources d'incertitude et l'utilisation de spectres synthétiques pour les étalonnages par FTIR, reposant sur des bases de données d'intensités de raie, ont été étudiées. Une procédure et un bilan d'incertitude ont été mis au point afin de les appliquer aux mesures de concentrations en gaz par étalonnage de spectres synthétiques. L'équipement FTIR sera utilisé pour la comparaison CCQM-P110 ouverte aux laboratoires maintenant des équipements de spectroscopie par FTIR, afin d'étudier les sources d'incertitude et de décalage lors de la mise en œuvre de méthodes primaires potentielles et spectroscopiques.

6.1.5 Comparaison clé d'étalons de méthane

Début 2009, la section Chimie a commencé une nouvelle activité de mise en œuvre d'équipements pour déterminer la comparabilité internationale des étalons de méthane dans l'air au niveau ambiant. Le méthane est le deuxième gaz à effet de serre et il est nécessaire d'expliquer les différences observées entre les étalons primaires de méthane dans les résultats de la comparaison CCQM-P41 en 2003.

L'équipement sera conçu afin de pouvoir déterminer la cohérence des étalons de méthane dans l'air dans des conditions de répétabilité. Cette approche permettra de réduire les incertitudes de mesure analytique. Les étalons de mesure seront analysés à l'aide de deux techniques distinctes : la spectroscopie par absorption laser dans un résonateur optique en anneau (CRDS) et la chromatographie en phase gazeuse avec détection d'ionisation de la flamme.

6.1.6 Mise au point d'un équipement de génération de formaldéhyde

Le programme visant à mettre au point un générateur de formaldéhyde (HCHO) dans l'azote a commencé cette année. Cet équipement repose sur la pesée en continu d'un tube à perméation contenant la substance à analyser. Une balance à suspension magnétique a été achetée et devrait être livrée en septembre 2009. Entre-temps, de nouvelles lignes de gaz ont été installées dans un laboratoire spécifique. L'appel d'offres concernant l'instrument analytique nous a amenés à acheter un spectromètre CRDS pour la détection de formaldéhyde dans l'azote à des fractions molaires allant de 100 nmol/mol à 20 μ mol/mol. Les cylindres étalons de formaldéhyde dans l'azote, que nous avons achetés, seront utilisés avec le système de dilution de gaz récemment mis au point pour l'équipement pour le dioxyde d'azote, afin de pouvoir valider les caractéristiques de l'analyseur CRDS dès que nous le recevrons.

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

Le laser à argon ionisé, qui sera utilisé pour les mesures d'absorption laser de la concentration en ozone et pour une nouvelle mesure de la section efficace de l'absorption de l'ozone, a été à nouveau étudié en termes de stabilité de puissance.

Un modulateur acousto-optique et un équipement optique supplémentaire ont été achetés pour stabiliser la puissance de la lumière laser par modulation acousto-optique. Des programmes LabVIEW ont été créés pour évaluer la stabilité de la puissance lumineuse en termes d'écart-type d'Allan, et pour

contrôler la température ambiante autour de l'expérience. Le dispositif électronique de stabilisation de la puissance a été assemblé et nous sommes parvenus à obtenir des caractéristiques satisfaisantes après un certain nombre d'itérations. Un filtre spatial a été ajouté à l'avant du système de stabilisation de puissance du faisceau laser afin d'éviter tout problème avec la partie non-gaussienne du faisceau laser. Le système de stabilisation de la puissance a été monté, en utilisant tout d'abord une simple photodiode, puis à l'aide d'un piège à lumière servant de photodiode de verrouillage. La stabilisation de la puissance conduit à des valeurs prometteuses de l'écart-type d'Allan : environ 1×10^{-5} pour des durées moyennes de 1 s à 30 s.

6.2 Programme d'analyse organique (S. Westwood, R. Josephs et A. Daireaux., T. Choteau, R.I. Wielgosz)

Le programme d'analyse organique s'est concentré sur la coordination des comparaisons du CCQM pour la détermination de la fraction massique de substances pures de composés organiques destinés à être utilisés comme étalons primaires. Dans le cadre de son programme général de comparaisons clés à venir, le Groupe de travail du CCQM sur l'analyse organique a identifié ce type d'évaluation de la pureté comme une aptitude technique fondamentale pour tous les laboratoires nationaux de métrologie proposant des services de mesure dans le domaine de l'analyse organique. Il a recommandé que la participation à la comparaison CCQM-K55 coordonnée par le BIPM soit obligatoire pour tous les laboratoires nationaux qui fournissent des services dans le domaine de l'analyse organique, dans le cadre du CIPM MRA, ou déclarent des aptitudes en matières de mesures et d'étalonnages dans ce domaine dans l'Annexe C de la KCDB.

Les équipements installés au BIPM sont utilisés pour la manipulation, la préparation, la détermination des caractéristiques et le stockage des matériaux d'étude du CCQM. Les aptitudes d'analyse dans le cadre de ce programme ont été améliorées en 2008/2009 par l'acquisition d'un système de détection des aérosols qui s'ajoutera à nos appareils de chromatographie liquide à haute performance par ultraviolet. Si nécessaire, le programme du BIPM est soutenu par des collaborations externes et le détachement de personnel des laboratoires nationaux de métrologie. Cette année, la section a fourni un effort considérable pour élaborer des procédures documentées dans le cadre du Système Qualité, couvrant les activités du programme d'analyse organique. Ces procédures sont progressivement intégrées au Système Qualité général du BIPM.

Suite à la proposition faite par le Groupe de travail sur l'analyse organique lors de la réunion en novembre 2008 à Bangkok, puis révisée et examinée lors de la réunion d'avril 2009 à Sèvres, il a été décidé d'un commun accord d'étendre le champ d'activités du programme d'analyse organique afin d'y inclure la coordination de comparaisons visant à déterminer la fraction massique de substances organiques dans des solutions. En 2010, le BIPM coordonnera la comparaison clé CCQM-K78 pour la détermination de la fraction massique d'une solution d'aldrine.

6.2.1 Mise au point des méthodes

La mise au point et la validation des méthodes d'analyse nécessaires pour la production et la détermination des caractéristiques du matériau d'étude de la comparaison CCQM-K55.a (estradiol), sont terminées. Concernant l'estradiol, le point principal a été d'identifier et de quantifier les principales impuretés présentes dans l'échantillon soumis à étude. Les résultats montrent que ces impuretés sont en majorité de l'eau et des impuretés de structure apparentée.

Les procédures mises au point ou étudiées dans le cadre de la comparaison CCQM-K55.a comprennent :

- les méthodes de chromatographie liquide par ultraviolet pour identifier et quantifier, par étalonnage externe, l'estradiol et ses composés connexes. Les procédures ont été utilisées à la fois pour la détermination des caractéristiques du matériau candidat et pour l'évaluation des résultats soumis par le BIPM pour la comparaison ;
- les protocoles d'analyse par chromatographie liquide par ultraviolet pour tester la stabilité et l'homogénéité du matériau d'étude de la comparaison CCQM-K55.a ;
- les méthodes de chromatographie liquide avec spectroscopie de masse utilisant la détection par photoionisation pour identifier, qualitativement et quantitativement, les stéroïdes apparentés à l'estradiol. Les procédures ont été utilisées à la fois pour la détermination des caractéristiques du matériau candidat et pour l'évaluation des résultats soumis par le BIPM pour la comparaison ;
- la mise en œuvre de conditions adéquates pour le titrage Karl Fischer, par ajout direct dans la cellule de titrage et par optimisation de la durée de titrage, afin de déterminer la teneur en eau. La procédure validée a été utilisée pour déterminer les caractéristiques du matériau candidat et pour évaluer la teneur en eau de l'échantillon d'étude fourni au BIPM pour sa participation à la comparaison clé ;

- la chromatographie en phase gazeuse avec spectroscopie de masse pour la détermination des impuretés organiques volatiles ;
- l'analyse thermogravimétrique comme méthode de soutien pour l'évaluation des impuretés volatiles totales et de la teneur en eau ;
- la spectroscopie de résonance magnétique nucléaire et la micro-analyse élémentaire pour obtenir des données confirmant la détermination des caractéristiques du matériau candidat et l'évaluation des résultats soumis par le BIPM pour la comparaison.

6.2.2 Analyse de pureté du calibrateur primaire de pesticide (aldrine)

La mise au point des méthodes destinées à être utilisées lors de la préparation et de la détermination des caractéristiques du matériau d'étude de la comparaison CCQM-K55.b (aldrine) a débuté en 2008. Le matériau source est de l'aldrine technique donnée par le NMIA au BIPM. Le BIPM poursuit ses travaux initiés en 2008 pour élaborer une méthode analytique de détermination des caractéristiques du matériau, ainsi que pour purifier le matériau à un niveau convenable pour la comparaison.

Les procédures mises au point ou étudiées à ce jour, et destinées à être utilisées pour la détermination des caractéristiques des matériaux candidats de la comparaison CCQM-K55.b, comprennent :

- les procédures de purification du matériau source, l'aldrine technique, à un niveau adéquat pour son utilisation dans la comparaison CCQM-K55.b ;
- les méthodes de chromatographie en phase gazeuse avec spectroscopie de masse ou avec détection d'ionisation de la flamme pour quantifier l'aldrine et ses composés connexes ;
- les méthodes de chromatographie liquide par ultraviolet pour quantifier l'aldrine et ses composés connexes ;
- la chromatographie en phase gazeuse avec spectroscopie de masse pour déterminer les impuretés volatiles organiques des matériaux candidats pour la comparaison CCQM-K55.b ;
- la spectroscopie de résonance magnétique nucléaire et la micro-analyse élémentaire pour obtenir des données confirmant la détermination des caractéristiques du matériau candidat.

Ces études ont largement bénéficié de l'aide de Chen Dazhou, en détachement du NIM (Chine) au BIPM lors du dernier trimestre de 2008.

6.2.3 Études sur les calibrateurs de peptides

Le BIPM a entrepris des recherches sur les méthodes de détermination des caractéristiques des matériaux purs pour les molécules de poids moléculaire élevé et à structure complexe qui présentent un intérêt pour les groupes de travail du CCQM sur l'analyse organique et sur la bioanalyse. Les peptides ont été choisis comme systèmes modèles car ils concernent directement les programmes des deux groupes de travail. Un membre de la section en détachement à la PTB a eu l'occasion de discuter de la possibilité de reprendre les travaux sur les acides aminés, les peptides et les protéines avec des collègues ayant déjà acquis une certaine expérience dans le domaine des molécules de grande taille, et d'obtenir des informations sur les méthodes, techniques et instruments clés nécessaires pour mettre au point des appareils de caractérisation des matériaux purs.

6.2.4 Coordination des comparaisons du CCQM pour l'évaluation de fractions massiques de matériaux purs

À la demande du Groupe de travail sur l'analyse organique, une proposition pour la détermination d'une valeur de référence pour le matériau d'étude de la comparaison CCQM-P20.f (digoxine) a été faite par le BIPM. Cette valeur a été obtenue en additionnant les estimations de fraction massique de chacune des classes orthogonales d'impureté présentes dans l'échantillon. Les estimations pour chaque classe d'impureté consistaient en des valeurs de consensus dérivées des résultats spécifiques de chaque participant. Cette approche a été approuvée par le Groupe de travail sur l'analyse organique lors de sa réunion en novembre 2008. Un projet A de rapport résumé sur la comparaison CCQM-P20.f (digoxine) a été envoyé aux participants et a fait l'objet de discussions lors de la réunion du Groupe de travail sur l'analyse organique en avril 2009.

6.2.5 Comparaison de pureté CCQM-K55.a (estradiol)

Les évaluations d'homogénéité et de stabilité du matériau candidat, l'estradiol, pour la comparaison CCQM-K55.a se sont achevées fin 2008. Douze laboratoires ont participé à la comparaison CCQM-K55.a et huit à l'étude pilote CCQM-P117.a conduite en parallèle, ce qui en fait la plus grande comparaison entreprise par le Groupe de travail du CCQM sur l'analyse organique. Le BIPM est l'un des laboratoires participants. En décembre 2008, deux échantillons contenant chacun au moins 300 mg du matériau d'étude ont été envoyés à chacun des vingt laboratoires participants. Il était demandé aux

participants d'assigner une valeur à la fraction massique d'estradiol pour chaque échantillon et, si possible, de fournir des estimations de la fraction massique de toutes les impuretés majeures.

Les résultats ont été recueillis fin mars 2009 et un premier compte rendu a été distribué à l'ensemble des participants. Les résultats de la comparaison ont été discutés en détail lors de la réunion du Groupe de travail sur l'analyse organique en avril 2009.

Les résultats préliminaires montrent un bon accord entre la plupart des participants en ce qui concerne les estimations des fractions massiques des impuretés de structure connexes, des résidus de solvant organique volatil et d'éléments non volatils dans les échantillons étudiés. Toutefois, les estimations concernant la teneur en eau varie considérablement d'un participant à l'autre. Selon les discussions lors de la réunion du Groupe de travail sur l'analyse organique en avril 2009, ces variations sont très probablement dues à des conditions d'analyse non appropriées mises en œuvre par certains participants pour l'estimation de teneur en eau par titrage Karl Fischer. Il est apparu de façon claire, en particulier, que les méthodes sur le chauffage dans un four pour libérer l'eau du matériau conduisent à une teneur sous-estimée en eau lorsque les températures de transfert utilisées sont situées en dessous du point de fusion (176 °C) du matériau.

Le BIPM coordonne les études de suivi afin d'expliquer ces différences, ce qui permettra, en cas de succès, de proposer une valeur de référence et l'incertitude associée pour les résultats de la comparaison clé CCQM-K55.a fondées sur une approche par bilan massique des estimations de consensus similaire à celle utilisée pour la comparaison CCQM-P20.f.

Un autre problème posé par l'analyse consiste en la formation *in situ*, dans des conditions neutres, d'artefacts de dimères de l'estradiol observables au cours de la chromatographie liquide à haute performance lors de temps de rétention plus longs. Deux participants ont identifié ces pics comme des artefacts plutôt que comme des impuretés et les ont exclus, alors que le BIPM les a inclus comme véritables impuretés, ce qui conduit à un résultat général de son analyse plus petit que ceux de certains autres participants. D'autres participants ne les ont pas détectés ou la formation d'artefacts était trop faible, dans leurs conditions d'analyse, pour affecter de façon significative leur résultat.

6.2.6 Comparaison de pureté CCQM-K55.b (aldrine)

Le BIPM coordonnera le second cycle de la comparaison CCQM-K55.b (aldrine) d'évaluation de la pureté. La distribution du matériau d'étude aux

laboratoires participants, à savoir deux fioles contenant chacune 500 mg d'aldrine, devrait avoir lieu fin 2009, et la première discussion concernant les résultats est prévue en avril 2010 lors de la réunion du CCQM.

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

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

La réunion annuelle commune des Groupes de travail 1 et 2 du JCTLM s'est tenue au NIST en juillet 2008 ; elle a été suivie par un atelier intitulé « Identifying the Needs of the IVD Industry for Higher Order Reference Materials and Measurement Procedures for Nucleic Acid Testing and Immunodiagnosics ».

La septième réunion du comité exécutif du JCTLM a eu lieu au BIPM le 11 décembre 2008, et a été suivie le 12 décembre 2008 par une réunion des membres et parties prenantes du JCTLM sur le thème « International and National Systems for Traceability in Laboratory Medicine – Future Challenges and Activities ».

La liste des groupes d'examen des Groupes de travail 1 et 2 du JCTLM a été mise à jour afin d'inclure les membres nommés pour l'examen des propositions en matière de numération globulaire, et un calendrier a été approuvé en ce qui concerne l'examen des propositions exceptionnelles du Cycle 3 du Groupe de travail 1 concernant les procédures de mesure de référence pour la numération globulaire.

Le document « *Criteria to assess the quality of nominated nucleic acid reference materials with stated nominal properties* » élaboré par le groupe d'examen du JCTLM concernant l'acide nucléique a été approuvé, et l'on s'est mis d'accord sur le calendrier d'examen des propositions exceptionnelles du Cycle 3 du Groupe de travail 1 concernant les matériaux de référence pour l'acide nucléique.

La base de données du JCTLM a été mise à jour en janvier 2009 afin d'inclure les matériaux de référence du Cycle 5 du Groupe de travail 1 et les services de mesure de référence fournis par les laboratoires du Cycle 3 du Groupe de travail 2 approuvés par le comité exécutif en décembre 2008. En mai 2009, la base de données du JCTLM comprenait :

- 208 matériaux de référence disponibles certifiés couvrant neuf catégories de substances à analyser. Parmi ces matériaux de référence, 33 sont inclus dans la Liste II (matériaux de référence dont la valeur a été assignée conformément à des protocoles reconnus au niveau international) ;
- 146 méthodes ou procédures de mesure de référence qui représentent environ 75 substances à analyser différentes de huit catégories ;
- 128 services de mesure de référence pouvant être fournis par 16 laboratoires de référence de dix pays, et couvrant six catégories de substances à analyser.

Le nombre total de connexions externes à la base de données du JCTLM était d'environ 1000 visites par mois entre juin 2008 et mai 2009.

L'appel à propositions pour le Cycle 6 du Groupe de travail 1 concernant les matériaux de référence de rang hiérarchique supérieur et les méthodes ou procédures de mesure de référence, et l'appel à propositions pour le Cycle 4 du Groupe de travail 2 concernant les services de mesure de référence fournis par les laboratoires ont été annoncés sur le site Web du JCTLM en janvier 2009 ; un e-mail a par ailleurs été envoyé à ce sujet aux deux cents contributeurs potentiels.

Les procédures concernant le fonctionnement du secrétariat du JCTLM et les procédures résultant des décisions du comité exécutif du JCTLM, élaborées en collaboration avec M. C. Jackson (coordonnateur du groupe d'examen des Manuels Qualité du Groupe de travail 1 du JCTLM), ont été présentées au comité exécutif du JCTLM pour approbation. Deux séries de procédures seront accessibles sur les pages Web du JCTLM à la fin de 2009.

6.4 Activités liées à la métrologie en matière de bioanalyse

Le développement des activités internationales de métrologie dans le domaine des biosciences n'en est qu'à ses débuts par rapport aux sciences physiques. Toutefois, en raison de l'impact des biotechnologies sur la santé, l'industrie, l'agriculture, l'énergie et l'environnement, les programmes nationaux de métrologie accordent une attention croissante aux progrès scientifiques métrologiques effectués dans ce domaine. Le BIPM a mis en œuvre une étude intitulée « Study of Measurement Service and Comparison Needs for an International Measurement Infrastructure for the Biosciences and Biotechnology: Input for the BIPM Work Programme », avec pour objectif de rédiger un rapport exhaustif sur :

1) les services de mesure nécessaires pour établir une infrastructure internationale pour la métrologie des biosciences :

- on envisage que ces services soient fournis et/ou mis au point dans les 3 à 5 ans / 5 à 10 ans, par les laboratoires nationaux de métrologie et d'autres organisations développant des méthodes et étalons de mesure dans le domaine des biosciences ;
- l'industrie les réclame d'ici 3 à 5 ans / 5 à 10 ans.

2) les comparaisons internationales requises pour établir le degré d'équivalence des services de mesure qui sont ou seront développés et proposés ;

3) les activités de recherche et développement nécessaires pour mettre au point des méthodes et étalons de mesure d'ordre hiérarchique métrologique supérieur dans le domaine des biosciences.

Ce rapport permettra au BIPM de faire des propositions quant à ses demandes à venir pour les activités conduites par ses laboratoires dans le domaine de la métrologie en matière de biotechnologie et de biosciences. Il constituera également une référence utile pour les laboratoires nationaux de métrologie développant des programmes dans ces domaines. Un appel d'offres a été lancé au début du mois de juin 2009 : le projet devrait commencer en 2009, et l'on devrait pouvoir disposer de résultats préliminaires en 2010 et publier le rapport final début 2011.

6.5 Activités liées au travail des Comités consultatifs

R.I. Wielgosz est secrétaire exécutif du CCQM, dont la 15^e session s'est tenue au BIPM du 22 au 24 avril 2009, suite aux réunions de ses groupes de travail. Un atelier du CCQM intitulé « Measurement Traceability in Pharma and Bio-Pharma » a été organisé les 4 et 5 décembre 2008 en collaboration avec l'USP.

- S. Westwood est membre du Groupe de travail du CCQM sur l'analyse organique.
- R. Josephs est membre des Groupes de travail du CCQM sur la bioanalyse et sur l'analyse organique.
- J. Viallon est membre des Groupes de travail du CCQM sur l'analyse des gaz et sur l'analyse de surface.
- E. Flores est membre du Groupe de travail du CCQM sur l'analyse des gaz.

- S. Maniguet est membre du Groupe de travail du CCQM sur l'analyse de surface.

6.6 Comparaisons du CCQM coordonnées par le BIPM

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

- CCQM-P20.f – Digoxine, série d'analyses de pureté ;
- CCQM-K55.a – 17 β -estradiol, analyse de pureté ;
- CCQM-K55.b – Aldrine, analyse de pureté ;
- BIPM.QM-K1 – Ozone, niveau ambiant (comparaison en continu) ;
- CCQM-K74 – Dioxyde d'azote, assignation de valeur (10 μ mol/mol) ;
- CCQM-P11 – Dioxyde d'azote (10 μ mol/mol), étude spectroscopique par FIR ;
- CCQM-P120 – Dioxyde d'azote, assignation de valeur (10 μ mol/mol) ;
- CCQM-K78 – Solution d'étalonnage d'aldrine.

6.7 Activités en liaison avec des organisations extérieures

R.I. Wielgosz représente le BIPM à la Commission du Codex Alimentarius, à l'ISO TC 212 sur les laboratoires d'analyses de biologie médicale et les systèmes de diagnostic *in vitro* (Groupe de travail 2 sur les systèmes de mesure de référence), et à l'ISO TC 146 sur la qualité de l'air ; 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 est membre du groupe d'experts Laboratoires de l'Agence mondiale antidopage.

R. Josephs représente le BIPM à la réunion inter-institutions et au Comité du Codex sur les méthodes d'analyse et d'échantillonnage (CCMAS) de la Commission du Codex Alimentarius et il est membre du groupe de travail connexe sur l'incertitude de mesure, fonctionnant par courrier électronique.

J. Viallon représente le BIPM à l'ISO TC 229 sur les nanotechnologies et à l'ISO TC 146/SC 3 sur la qualité de l'air et sur les atmosphères ambiantes.

6.8 Publications, conférences et voyages : section de chimie

6.8.1 Publications extérieures

1. Viallon J., Moussay P., Wielgosz R., Norris J.E., Guenther F., Final report of the ongoing key comparison BIPM.QM-K1: Ozone at ambient level, comparison with NIST, 2007, *Metrologia*, 2008, **45**, *Tech. Suppl.*, 08008.
2. Viallon J., Moussay P., Wielgosz R., Konopelko L.A., Kustikov Y.A., Selyukov D., Final report of the ongoing key comparison BIPM.QM-K1: Ozone at ambient level, comparison with VNIIM, 2007, *Metrologia*, 2008, **45**, *Tech. Suppl.*, 08009.
3. Viallon J., Moussay P., Wielgosz R., Walden J., Kuronen P., Final report, ongoing key comparison BIPM.QM-K1: Ozone at ambient level, comparison with FMI, 2007, *Metrologia*, 2009, **46**, *Tech. Suppl.*, 08009.
4. Viallon J., Moussay P., Wielgosz R., Woo J.C., Final report, ongoing key comparison BIPM.QM-K1: Ozone at ambient level, comparison with KRIS, 2007, *Metrologia*, 2009, **46**, *Tech. Suppl.*, 08010.
5. Viallon J., Moussay P., Wielgosz R., Quincey P., Sweeney B., Final report, ongoing key comparison BIPM.QM-K1: Ozone at ambient level, comparison with NPL, 2008, *Metrologia*, 2009, **46**, *Tech. Suppl.*, 08011.
6. Viallon J., Moussay P., Wielgosz R., Sassi M., Malgeri E., Revel L., Final report, ongoing key comparison BIPM.QM-K1: Ozone at ambient level, comparison with INRIM, 2007, *Metrologia*, 2009, **46**, *Tech. Suppl.*, 08012.
7. Viallon J., Moussay P., Wielgosz R., Macé T., Couette J., Sutour C., Final report, ongoing key comparison BIPM.QM-K1: Ozone at ambient level, comparison with LNE, 2008, *Metrologia*, 2009, **46**, *Tech. Suppl.*, 08013.
8. Viallon J., Moussay P., Wielgosz R., Stummer V., Norris J.E., Guenther F., Final report, ongoing key comparison BIPM.QM-K1: Ozone at ambient level, comparison with UBA, 2007, *Metrologia*, 2009, **46**, *Tech. Suppl.*, 08014.
9. Viallon J., Moussay P., Wielgosz R., Morillo Gomez P., Sánchez Blaya C., Final report, ongoing key comparison BIPM.QM-K1: Ozone at ambient level, comparison with ISCI, 2007, *Metrologia*, 2009, **46**, *Tech. Suppl.*, 08015.
10. Viallon J., Moussay P., Wielgosz R., Niederhauser B., Final report, ongoing key comparison BIPM.QM-K1: Ozone at ambient level, comparison with METAS, 2008, *Metrologia*, 2009, **46**, *Tech. Suppl.*, 08016.

11. Viallon J., Moussay P., Wielgosz R., Borowiak A., Lagler F., Norris J.E., Guenther F., Final report, ongoing key comparison BIPM.QM-K1: Ozone at ambient level, comparison with JRC, 2008, *Metrologia*, 2009, **46**, *Tech. Suppl.*, 08017.
12. Viallon J., Moussay P., Wielgosz R., Zhou Z., Norris J.E., Guenther F., Final report, ongoing key comparison BIPM.QM-K1: Ozone at ambient level, comparison with NIM, 2008, *Metrologia*, 2009, **46**, *Tech. Suppl.*, 08018.
13. Westwood S., Josephs R., Daireaux A., Wielgosz R., Davies S., Kang M., Ting H., Phillip R., Malz F., Shimizu Y., Frias E., Pérez M., Apps P., Fernandes-Whaley M., De Vos B., Wiangnon K., Ruangritinon N., Wood S., Duewer D., Schantz M., Bedner M., Hancock D., Esker J., Final report on CCQM-P20.e: International comparison of mass fraction purity assignment of theophylline, *Metrologia*, 2009, **46**, *Tech. Suppl.*, 08019.
14. Buttinger G., Harbeck S., Josephs R.D.: Certification of mass fractions of aflatoxin B1, B2, G1 and G2 in peanut butter (BCR-385R and BCR-401R), *IRMM Information*, 2008, Report EUR 23522 EN.
15. Buttinger G., Harbeck S., Josephs R.D., The certification of the aflatoxin mass fractions in peanut butter, *World Mycotoxin Journal*, 2008, **1** (3), 283–289.
16. Buttinger G., Harbeck S., Josephs R.D., Certification of mass fractions of aflatoxin B1, B2, G1 and G2 in peanut meal (BCR-263R), *IRMM Information*, 2008, Report EUR 23386 EN.

6.8.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

R.I. Wielgosz :

- NIST, Gaithersburg (États-Unis), du 20 au 22 juillet 2008, pour participer à la conférence du NIST intitulée « Accelerating Innovation in 21st Century Biosciences: Identifying the Measurement, Standards and Technological Challenges » ;
- NIST, Gaithersburg (États-Unis), les 25 et 26 juillet 2008, pour participer à la réunion des groupes de travail du JCTLM et à l'atelier du JCTLM intitulé « Identifying the Needs of the IVD Industry for Higher Order Reference Materials and Measurement Procedures for Nucleic Acid Testing and Immunodiagnosics » ;

- Strasbourg (France), les 9 et 10 octobre 2008, pour assister à l'International Symposium on Pharmaceutical Reference Standards organisé par l'EDQM ;
- Berlin (Allemagne), le 31 octobre 2008, en tant que contact du BIPM à l'ISO TC 146 (Qualité de l'air – Air ambiant) ;
- Turin (Italie), le 7 novembre 2008, pour donner une présentation intitulée « Activities in Metrology in Chemistry » lors de la réunion du Comité technique 8 de l'IMEKO ;
- NIMT, Bangkok (Thaïlande), du 18 au 21 novembre 2008, pour les réunions des groupes de travail du CCQM sur l'analyse des gaz, sur la bioanalyse et sur l'analyse organique ;
- Bucarest (Roumanie), les 5 et 6 février 2009, pour assister à la séance plénière de l'EURAMET METCHEM et y faire un compte rendu sur les activités du JCTLM ;
- Genève (Suisse), du 5 au 7 mai 2009, pour représenter le BIPM à la réunion du programme de veille de l'atmosphère globale de l'OMM pour 2009 et y présenter un poster intitulé « International equivalence of reactive gas standards » ;
- Helsinki (Finlande), du 10 au 12 juin 2009, pour y donner une présentation intitulée « International Standards for Greenhouse Gas and Air Quality Monitoring » au MIKES, et faire partie du jury d'évaluation de la thèse de doctorat « Metrology of Gaseous Air Pollutants » de J. Walden à l'université d'Helsinki.

S. Westwood :

- Strasbourg (France), les 9 et 10 octobre 2008, pour présenter un poster intitulé « International comparisons of the assignment of mass fraction composition of pure organic compounds – a model for benchmarking capabilities for the assessment of Pharmaceutical Reference Substances? » lors de l'International Symposium on Pharmaceutical Reference Standards de l'EDQM ;
- NIMT, Bangkok (Thaïlande), du 18 au 21 novembre 2008, pour la réunion du Groupe de travail du CCQM sur l'analyse organique ;
- Amsterdam (Pays-Bas), du 7 au 9 mars 2009, pour assister à la réunion des directeurs de laboratoire de l'AMA et à une réunion du groupe d'experts Laboratoires de l'AMA ;
- Montréal (Canada), du 17 au 19 juin 2009, pour assister à une réunion du groupe d'experts Laboratoires de l'AMA.

R. Josephs :

- Strasbourg (France), les 9 et 10 octobre 2008, pour présenter un poster à l'International Symposium on Pharmaceutical Reference Standards de l'EDQM ;
- Strasbourg (France), les 6 et 7 novembre 2008, pour assister au 1er atelier européen de métrologie sur les biocarburants intitulé « Supporting Production, Use and Regulations » ;
- NIMT, Bangkok (Thaïlande), du 18 au 21 novembre 2008, pour les réunions des groupes de travail du CCQM sur l'analyse organique et sur la bioanalyse ;
- Budapest/Balatonalmádi (Hongrie), du 6 au 12 mars 2009, pour présenter un exposé intitulé « Evaluating Laboratory Performance Using Measurement Uncertainty » à l'atelier commun AOCS/BIPM/ICC/UICPA/NMKL « Method Performance and the Criteria Approach: Truth and Consequences » et pour représenter le BIPM aux réunions inter-institutions et Codex ;
- Bruxelles (Belgique), les 19 et 20 mars 2009, pour participer à la 2^e conférence internationale sur les étalons de biocarburants intitulée « Standards and Measurements for Biofuels: Facilitating Global Trade » ;
- PTB, Braunschweig (Allemagne), du 4 au 15 mai 2009, en détachement pour travailler sur l'analyse des acides aminés, peptides et protéines.

J. Viallon :

- Dubendorf (Suisse), du 7 au 9 juillet 2008, pour faire un exposé intitulé « Performance characteristics of dynamic methods for formaldehyde standards » lors de la réunion du programme de veille de l'atmosphère globale de l'OMM et du Groupe de travail du CCQM sur l'analyse des gaz portant sur le thème des composés organiques volatils ;
- Berlin (Allemagne), le 28 octobre 2008, comme contact du BIPM lors de l'ISO TC 146/SC 3 (Qualité de l'air – Air ambiant) pour discuter des révisions des normes de l'ISO en matière de mesures d'ozone ;
- Bangkok (Thaïlande), du 17 au 21 novembre 2008, pour la réunion du Groupe de travail du CCQM sur l'analyse des gaz ;
- Rotterdam (Pays-Bas), du 11 au 13 février 2009, pour présenter un poster lors de la conférence GAS2009 ;
- Genève (Suisse), du 11 au 13 mai 2009, pour donner un exposé intitulé « Requirements for new measurements of ozone absorption cross-sections for the accurate determination of ozone concentration » lors de la réunion

du programme de veille l'atmosphère globale de l'OMM sur le thème de l'ozone ;

- Seattle (États-Unis), du 8 au 12 juin 2009, comme contact du BIPM à l'ISO TC 229 (nanotechnologies) et pour une réunion du comité d'organisation de l'atelier du BIPM sur la métrologie à l'échelle nanométrique ;
- Paris (France), le 24 juin 2009, pour donner un exposé intitulé « Performance characteristics of dynamic methods for formaldehyde standards » lors du 14^e Congrès international de métrologie.

E. Flores :

- Rotterdam (Pays-Bas), du 11 au 13 février 2009, pour donner un exposé intitulé « Dynamic generation of NO₂ standards by permeation tubes: Performance evaluation using FTIR and UV techniques » lors de la conférence GAS2009 ;
- Paris (France), le 30 avril 2009, pour visiter les laboratoires du LNE dans le but de concevoir un nouvel équipement pour la comparaison internationale des étalons de méthane dans l'air fondé sur la chromatographie en phase gazeuse ;
- Teddington (Royaume-Uni), le 7 mai 2009, pour visiter les laboratoires du NPL dans le but de concevoir un nouvel équipement pour la comparaison internationale des étalons de méthane dans l'air fondé sur la chromatographie en phase gazeuse.

S. Maniguet :

- NIST, Gaithersburg (États-Unis), les 25 et 26 juillet 2008, pour la réunion des groupes de travail du JCTLM et l'atelier du JCTLM intitulé « Identifying the Needs of the IVD Industry for Higher Order Reference Materials and Measurement Procedures for Nucleic Acid Testing and Immunodiagnosics » ;
- DIN, Berlin (Allemagne), les 9 et 10 décembre 2008, pour la réunion du groupe de travail 2 de l'ISO TC 212.

6.9 Visiteurs de la section de chimie

- M. Bernhard Niederhauser (METAS), du 30 juin au 14 juillet 2008.
- M. James Tsilongo (NMISA), du 14 au 18 juillet 2008.
- Mme Dita Heikens (NMI-VSL), du 15 au 19 septembre 2008.

- M. Glenn Ross (Department of Environment and Climate Change, NSW Australie), du 20 au 24 octobre 2008.
- M. Bertil Magnusson et Mme Sarka Langer (SP), du 9 au 12 mars 2008.
- M. James E. Norris (NIST), du 2 au 5 juin 2009.

6.10 Chercheurs invités

- M. C. Dazhou (NIM), du 27 août au 30 novembre 2008.
- M. G. Ochmann (GUM), du 1^{er} septembre au 30 novembre 2008.

7 BALANCE DU WATT (M. STOCK)

7.1 Balance du watt (R. Chayramy, H. Fang, A. Kiss, E. de Mirandés, A. Picard, J. Sanjaime, S. Solve, M. Stock, A. Kanté*, B. Parker**)

Au cours de la réunion du CCU en mai 2009, l'importance de la future mise en pratique de la nouvelle définition du kilogramme et le rôle central de coordination que doit jouer le BIPM en la matière ont été soulignés lors des discussions. Cette réunion a également mis l'accent sur l'importance de la balance du watt du BIPM qui sera utilisée sur le long terme comme équipement de référence au niveau international.

La principale différence entre la balance du watt du BIPM et celles construites par d'autres laboratoires nationaux de métrologie tient au fait que toutes les grandeurs seront mesurées simultanément, de sorte que la mesure de la force et de la vitesse ne requiert pas d'expériences séparées. Ce mode de fonctionnement se concrétiserait, idéalement, sous la forme d'une balance du watt cryogénique intégrant une bobine supraconductrice. L'expérience actuelle fonctionne à température ambiante et permettra de tester la faisabilité des mesures simultanées de force et de vitesse. Un chercheur associé lancera, en septembre 2009, une étude de faisabilité de l'expérience cryogénique.

Depuis le second semestre de 2008, nous sommes capables de mesurer la tension induite et la vitesse de la bobine lorsque la bobine se déplace

* Étudiant de l'Institut Universitaire de Technologie d'Evry, mai-juin 2009.

** Étudiant du Massachusetts Institute of Technology, juin-juillet 2009.

verticalement dans l'entrefer de l'aimant. La valeur de l'induction magnétique au centre de l'entrefer peut être déduite de ces mesures, ce qui nous permet de tester la répétabilité de l'expérience. Les premiers résultats – obtenus dans l'air et sans isolation du système contre les vibrations – ont montré une répétabilité de 1×10^{-4} à 2×10^{-4} sur des moyennes de 16 jours et ont été présentés à la CPEM en 2008. Afin d'améliorer ces résultats, il est nécessaire de disposer d'une meilleure synchronisation temporelle des mesures de tension et de vitesse. Le bruit corrélé, inclus dans les deux signaux, est alors fortement réduit lors du calcul du rapport des deux grandeurs. La plus grande partie du travail a donc consisté à comprendre en détail le fonctionnement, et en particulier les bases temporelles, des voltmètres et de l'interféromètre. Nous avons découvert que la corrélation entre la tension et la vitesse était moins bonne que prévu en raison de mouvements oscillatoires de la bobine à une fréquence d'environ 25 Hz. Le fait que le miroir de l'interféromètre ait été fixé à la circonférence de la bobine génère une erreur d'Abbe significative dans les mesures de vitesse. Par conséquent, la position du miroir de l'interféromètre doit être modifiée. Nous espérons que le fait de travailler dans un nouveau laboratoire avec une base en béton lourde permettra également d'améliorer ces résultats, en réduisant le niveau de vibrations.

Grâce à l'intégration d'une cellule de pesée fin 2008, nous disposons désormais d'une balance du watt complète capable de mesurer toutes les grandeurs d'intérêt. Toutefois, de nombreux composants ne sont pas encore finalisés. Au cours de mesures de force préliminaires, on a observé que la force dépendait de la position verticale de la bobine, ce qui ne devrait pas être le cas en l'absence de courant dans la bobine et d'éléments ferromagnétiques ou paramagnétiques. Un calcul a montré que le très faible diamagnétisme du fil en cuivre et du support de la bobine, associé au gradient observé du champ magnétique, suffit pour expliquer cette observation. Cet effet ne peut être évité et intervient certainement dans toutes les balances du watt, bien qu'il n'ait jusqu'à présent pas fait l'objet de discussions. Si cet effet reste stable entre les expériences avec et sans masse d'essai, il ne devrait avoir aucune répercussion.

Un système mécanique équipé de huit transducteurs piézo-électriques a été assemblé afin de contrôler de façon dynamique l'alignement angulaire et horizontal de la bobine. Le système est actuellement testé avant d'être intégré à la balance du watt. Un échangeur de masse est en construction, avec l'aide d'un étudiant en ingénierie.

On a déterminé mécaniquement la géométrie du bobinage du solénoïde de grande précision, qui deviendra notre référence pour l'alignement du champ magnétique, et l'on a calculé des déviations du champ magnétique par rapport

à celui d'un solénoïde parfait. Nous en avons déduit que la qualité du solénoïde était suffisante pour que nous puissions l'utiliser comme référence pour l'alignement. La prochaine étape consiste à orienter le solénoïde horizontalement à l'aide d'une bobine plate (film de cuivre en forme de spirale déposé sur du verre optique), elle-même alignée par rapport à un bain de mercure à l'aide d'un autocollimateur. Une structure non magnétique permettant de placer la bobine plate à proximité du centre du solénoïde a été construite par l'atelier de mécanique du BIPM.

La collaboration avec le département de machines-outils de l'université technique (RWTH) d'Aix-la-Chapelle (Allemagne) pour la fabrication de l'aimant se poursuit. La complexité de ce projet réside dans la nécessité de respecter de très faibles tolérances pour certaines pièces et d'effectuer un montage très précis, ce qui sera difficile en présence de forces magnétiques allant jusqu'à 15 kN. Les schémas de l'aimant et des dispositifs d'assemblage sont sur le point d'être finalisés et la phase de fabrication commencera au second semestre 2009.

Le nouveau laboratoire est désormais opérationnel : il dispose de deux bases en béton, l'une de 64 tonnes pour la balance du watt et l'autre de 10 tonnes pour le gravimètre. Il est prévu que certains participants à ICAG-2009 (en octobre 2009) détermineront l'accélération gravitationnelle sur le site de gravimétrie du laboratoire de la balance du watt. Au cours des mois de juin et juillet 2009, un étudiant relèvera, à l'aide d'un gravimètre relatif, la distribution de l'accélération gravitationnelle dans ce laboratoire. Nous effectuons également des mesures du niveau de vibrations du nouveau laboratoire. Les résultats préliminaires montrent un faible niveau de vibrations, comparable à celui du meilleur site de gravimétrie du BIPM. Le nouveau laboratoire est équipé d'une alimentation électrique filtrée et d'un éclairage à semi-conducteurs et à faible bruit.

Le travail sur la fabrication d'un étalon de tension de Josephson, spécialement conçu pour mesurer la tension induite, a débuté. Ce système sera fondé sur un réseau supraconducteur-normal-supraconducteur (SNS) développé par le NIST. Au cours de l'année prochaine, la source de courant de polarisation sera mise au point à partir d'un système d'alimentation à faible bruit fonctionnant sur batterie. Le matériel de mesure nécessaire au fonctionnement du réseau SNS a été assemblé et le logiciel pour commander la tension continue de sortie a été écrit.

7.2 Publications, conférences, voyages

7.2.1 Publications extérieures

1. Picard A., Fang F., Kiss A., de Mirandés E., Stock M., Urano C., Progress on the BIPM watt balance, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 2009, **58**(4), 924-929.
2. Picard A., Fang H., Kiss A., de Mirandés E., Stock M., The BIPM watt balance for the future realization of the mass unit, *Proc. 14th International Metrology Congress* (Paris ; 22-25 juin 2009), Paris, 2009, CD-Rom.

7.2.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

- A. Picard :
- Sartorius, Immenhausen (Allemagne), le 16 décembre 2008, pour discuter des modifications à apporter à la cellule de pesée de la balance du watt ;
- ONERA, Palaiseau (France), le 9 juin 2009, accompagné d'E. de Mirandés, pour une présentation invitée sur la balance du watt du BIPM.

M. Stock et A. Picard :

- Département de machines-outils de l'université technique (RWTH), Aix-la-Chapelle (Allemagne), le 6 octobre 2008, pour discuter de la fabrication de l'aimant de la balance du watt.

H. Fang :

- 14^e Congrès international de métrologie, Paris, le 24 juin 2009, pour une présentation sur la balance du watt du BIPM.

E. de Mirandés, A. Picard et L. Le Mée :

- METAS, Berne (Suisse), les 19 et 20 février 2009, pour visiter la balance du watt et discuter d'une base de données regroupant les résultats de la balance du watt.

H. Fang, A. Kiss, E. de Mirandés, A. Picard, M. Stock :

- 14^e Congrès international de métrologie, Paris, le 24 juin 2009, pour y présenter deux posters sur la balance du watt du BIPM.

7.3 Visiteurs

- M. Jean-Jacques Guillet, maire de Chaville et député des Hauts de Seine, et Mme C. Mass de l'administration du Parlement allemand, le 2 juillet 2008.
- Membres du comité « Science et Métrologie » de l'Académie des Sciences, le 17 novembre 2008.
- M. R. Steiner (NIST, États-Unis), du 1^{er} au 5 décembre 2008.
- M. Hector Martinez (DIGENOR, République dominicaine) et M. Moritz Ackermann (PTB), le 2 février 2009.
- Participants au Watt balance technical meeting (WBTM) organisé par le LNE, le 18 mars 2009.
- M. J. Kallmerten (RWTH, Allemagne), le 16 juin 2009, pour discuter de la fabrication de l'aimant de la balance du watt.
- M. W. Schmid (PTB, Allemagne), secrétaire de l'EURAMET, le 26 juin 2009.

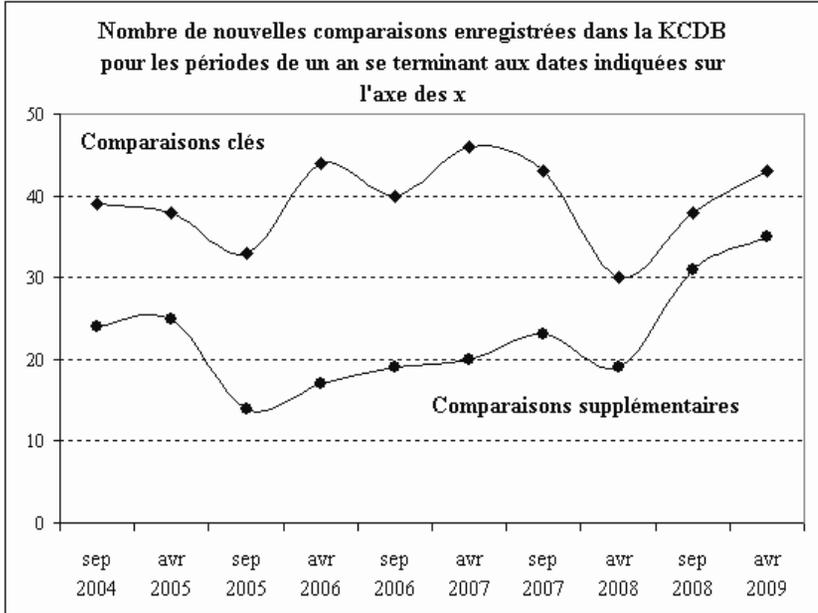
8 LA BASE DE DONNÉES DU BIPM SUR LES COMPARAISONS CLÉS, KCDB (C. THOMAS)

8.1 Contenu de la KCDB (S. Maniguet et C. Thomas)

8.1.1 Comparaisons clés et supplémentaires

Au 14 juin 2009, la KCDB comptait 659 comparaisons clés (81 conduites par le BIPM, 327 par les Comités consultatifs et 251 par les organisations régionales de métrologie) et 212 comparaisons supplémentaires. Deux nouvelles comparaisons clés du BIPM ont été récemment enregistrées dans la KCDB : BIPM.RI(II)-K1.Cu-64 et BIPM.RI(I)-K6. Elles correspondent à deux nouvelles études entreprises par la section des rayonnements ionisants du BIPM, l'une sur la mesure d'activité du radionucléide Cu-64 dans le Système international de référence (SIR), et l'autre sur la dose absorbée dans des faisceaux de rayons x aux hautes énergies délivrés par les accélérateurs linéaires.

La figure ci-dessous montre l'évolution du nombre de nouvelles comparaisons clés et supplémentaires enregistrées dans la KCDB sur des périodes de un an.



On remarque que 35 nouvelles comparaisons supplémentaires ont été enregistrées l'année passée, ce qui correspond à l'augmentation la plus élevée jamais constatée. Cela traduit la prise de conscience des organisations régionales de métrologie de l'intérêt de déclarer leurs exercices internes et de faire publier les rapports y afférents dans la KCDB, principalement dans le but d'étayer leurs déclarations d'aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages. Le nombre de nouvelles comparaisons clés enregistrées est en moyenne de l'ordre de 40 par an.

Parmi les 659 comparaisons clés enregistrées dans la KCDB au 14 juin 2009, on compte :

- 87 comparaisons clés qui correspondent à des exercices antérieurs à la mise en œuvre de l'Arrangement du CIPM, et dont les résultats ne seront jamais publiés dans la KCDB (elles ont reçu le statut « Approuvées pour l'équivalence provisoire ») ;
- 74 comparaisons clés en continu du BIPM parmi les 81 existantes, dont les résultats ont déjà été publiés dans la KCDB et sont régulièrement complétés par de nouvelles données (la plupart de ces comparaisons du BIPM ont un rôle de comparaisons clés centrales, auxquelles d'autres comparaisons clés des Comités consultatifs ou des organisations régionales de métrologie sont liées) ; et
- 267 comparaisons clés des Comités consultatifs et organisations régionales de métrologie dont le rapport final est approuvé et publié sur le

site de la KCDB, accompagné des résultats numériques et des graphiques correspondants.

Globalement, plus de 1 200 graphiques d'équivalence figurent sur le site de la KCDB.

Les résultats de 97 comparaisons clés régionales ont été publiés dans la KCDB. Des calculs de liens sont également réalisés pour les comparaisons clés bilatérales subséquentes à des comparaisons clés de Comités consultatifs, ce qui permet d'ajouter leurs résultats aux graphiques d'équivalence appropriés.

Les rapports finaux (ou les références adéquates) de près de la moitié des comparaisons supplémentaires enregistrées sont également placés dans le site de la KCDB.

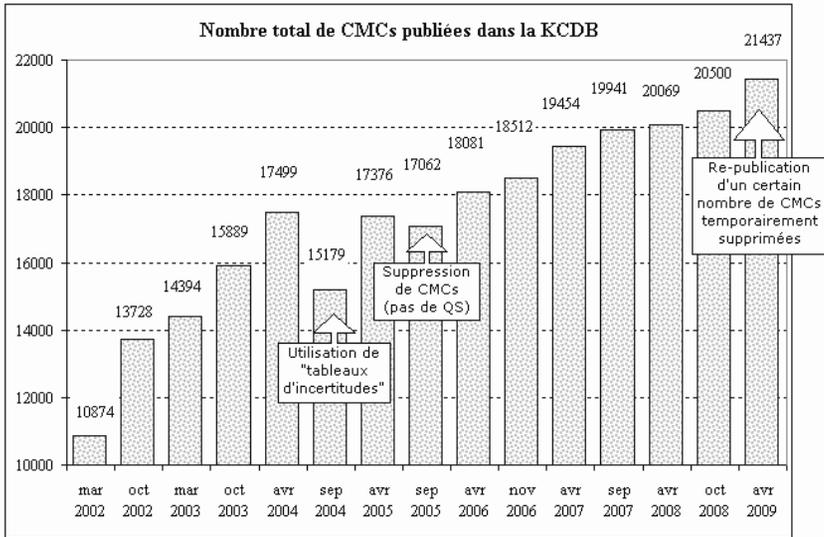
Notons que les rapports finaux des comparaisons clés et supplémentaires figurant sur le site de la KCDB sont, en général, également publiés sous la forme de *Technical Supplements de Metrologia*.

Les résultats d'un certain nombre de comparaisons clés sont régulièrement mis à jour. Cela concerne les comparaisons clés en continu du BIPM dans les domaines de l'électricité (tension, résistance et capacité), de la chimie (ozone) et des mesures d'activité de radionucléides réalisées dans le SIR. Ces mises à jour correspondent à de nouvelles comparaisons bilatérales effectuées régulièrement entre le BIPM et divers laboratoires nationaux de métrologie. Par ailleurs, les résultats de la comparaison clé CCTF-K001.UTC (calcul de l'UTC) sont enrichis chaque mois de nouvelles valeurs.

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

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

À la mi-juin 2009, près de 21 200 CMCs étaient publiées dans la KCDB, soit 1200 CMCs de plus par rapport à mai 2008. En effet, au cours de l'année passée, 38 nouveaux ensembles approuvés de CMCs déclarées par les organisations régionales de métrologie ont été publiés. Les deux ensembles les plus importants quant au nombre de CMCs ont été déclarés par l'APMP : il s'agit, dans le domaine de l'électricité et du magnétisme, de l'ensemble « APMP.EM.6.2008 » qui comprend 175 nouvelles CMCs et des dizaines de CMCs révisées, et dans le domaine de la chimie, de l'ensemble « APMP.QM.13.2008 » qui compte 195 nouvelles CMCs et des dizaines de CMCs révisées.



Notons que les premières CMCs déclarées par le Costa Rica (24 CMCs en Étalons de masse) et l'Égypte (2 CMCs en Longueurs) ont été publiées dans la KCDB le 26 novembre 2008 et le 11 février 2009, respectivement.

Des données complémentaires sur le nombre de CMCs actuellement publiées dans la KCDB, par pays et par domaine de métrologie, sont disponibles en temps réel dans la page des statistiques de la KCDB à l'adresse http://kcdb.bipm.org/kcdb_statistics.asp. Cette page donne également des informations sur les CMCs temporairement retirées de la KCDB (« greyed-out CMCs ») et sur la réintégration de CMCs suite à l'approbation des Systèmes Qualité qui y correspondent.

Au 3 juin 2009, 490 CMCs étaient encore supprimées de la KCDB car elles n'étaient pas couvertes par un Système Qualité approuvé. Le bureau de la KCDB a demandé au JCRB, lors de sa 20^e réunion, de clarifier le statut des CMCs supprimées en juillet 2005, suite à la décision prise lors de la 15^e réunion du JCRB : en effet, il se peut que certaines de ces CMCs ne soient jamais republiées car elles ne sont plus d'actualité ou ne correspondent plus à des services offerts par les laboratoires. Cette question a été examinée par les organisations régionales de métrologie et des rapports ont été soumis au JCRB lors de sa 22^e réunion. Le bureau de la KCDB a par conséquent pris les mesures suivantes, fin mars 2009 : suppression définitive ou confirmation du retrait temporaire de certaines CMCs de la KCDB, et réintégration de nombreuses CMCs. Depuis, le bureau de la KCDB effectue couramment la suppression temporaire de CMCs et leur réintégration dans la KCDB en

fonction de l'approbation des Systèmes Qualité, après concertation avec les présidents des comités techniques des organisations régionales de métrologie sur les Systèmes Qualité.

Outre la publication de nouveaux ensembles approuvés de CMCs, la suppression temporaire et la réintégration de CMCs en fonction du changement de statut de leur Système Qualité, le bureau de la KCDB gère les nombreuses corrections à apporter aux CMCs : modifications de nature éditoriale, suppression de services qui ne sont plus proposés, changement des noms et sigles de laboratoires (par exemple, le « NMI-VSL » est devenu le « VSL » le 1^{er} mars 2009).

Les données concernant l'évolution, au cours des deux dernières années, des chiffres et graphiques présentés dans la page des statistiques de la KCDB sont désormais disponibles sous la forme de fichiers Excel sur le site Web en accès restreint du JCRB sur les CMCs.

8.2 Visites du site de la KCDB (C. Thomas)

Un nouveau logiciel d'analyse des connexions au site Web de la KCDB a été mis en place en janvier 2009.

Depuis cette date, le nombre de visites mensuelles varie entre 7000 et 8000, ce qui correspond au total à 60 000 pages consultées chaque mois. Toutefois, ce chiffre n'intègre pas le nombre de visiteurs accédant à nos données à partir du moteur de recherche utilisant des mots clés.

Les visiteurs consultent l'ensemble des pages de la KCDB (notamment les pages « Toutes les news », « La KCDB en chiffres » et « Newsletters ») à parts égales, et les fichiers PDF de rapports de comparaisons et de listes de CMCs sont régulièrement téléchargés.

Des utilisateurs du monde entier viennent sur le site Web de la KCDB à partir :

- de favoris, d'adresses URL directement saisies ou de liens communiqués dans des e-mails, pour 75 % ;
- de moteurs de recherche d'internet (Google, Yahoo, etc.), pour 5 % ;
- de liens proposés sur d'autres sites Web (en particulier ceux des laboratoires nationaux de métrologie), pour les 20 % restant.

Il est très difficile d'identifier nos visiteurs, à l'exception de ceux venant de laboratoires nationaux de métrologie ; les statistiques montrent que notre site attire d'autres communautés, et nous pensons qu'il s'agit de celles des agences de régulation, des organismes d'accréditation, des industries et des sociétés commerciales.

8.3 Publicité et Newsletters de la KCDB (S. Maniguet et C. Thomas)

Nous cherchons à faire de la publicité pour la KCDB aussi souvent que possible, par exemple en distribuant la plaquette de la KCDB ou en présentant notre site Web au cours d'ateliers et de congrès. Par ailleurs, les numéros 10 et 11 de la *KCDB Newsletter*, considérée comme très populaire, ont été publiés les 18 décembre 2008 et 16 juin 2009 respectivement.

Nous préparons également une partie « Questions fréquemment posées » pour le site Web de la KCDB. Nous avons identifié neuf questions pour chacune desquelles nous donnerons une réponse abrégée ainsi que des explications plus détaillées. Cette FAQ a été soumise au JCRB afin que ses membres puissent nous faire part de leurs commentaires lors de la 23^e réunion du JCRB qui se tiendra en septembre 2009.

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

C. Thomas :

- Paris (France), le 12 septembre 2008, le 20 octobre 2008, le 26 novembre 2008, le 8 janvier 2009 et le 18 mai 2009 au LNE, et le 3 avril 2009 à l'OIML, pour des réunions du Comité d'organisation du 14^e Congrès international de métrologie ; le 18 novembre 2008 au Palais des Congrès de Paris pour la réunion du Comité scientifique et technique de ce 14^e Congrès ;
- Teddington (Royaume-Uni), le 2 février 2009, pour une réunion du Comité d'organisation du 14^e Congrès international de métrologie ;
- Reading (Royaume-Uni), le 3 février 2009, pour rencontrer MM. Ian Mills et Malcolm Sperrin ;
- Institut de France, Paris (France), le 2 mars 2009, pour une réunion du comité « Science et métrologie » de l'Académie des Sciences ;
- Paris, du 22 au 25 juin 2009, pour assister au 14^e Congrès international de métrologie et y donner une présentation invitée sur la base de données du BIPM sur les comparaisons clés.

8.5 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 est membre et Secrétaire scientifique du comité permanent de l'Académie des sciences dénommé « Science et métrologie ». Elle est membre et Secrétaire scientifique

du Comité d'organisation et du Comité scientifique et technique du Congrès international de métrologie 2009, qui s'est tenu à Paris du 22 au 25 juin 2009 (Métrologie'2009).

8.6 Activités liées au travail des Comités consultatifs

C. Thomas est secrétaire exécutive du CCU. Elle est membre des groupes de travail du CCEM sur les projets de modifications au SI et sur la coordination des organisations régionales de métrologie ; membre du Groupe de travail du CCM sur la définition du kilogramme dans le SI ; membre du Groupe de travail du CCRI des organisations régionales de métrologie et des aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages dans le domaine des RI ; et observatrice au Groupe de travail du CCT sur les comparaisons clés (Groupe de travail 7). Elle est également chargée d'assurer la liaison entre le BIPM et le CODATA Task Group on Fundamental Constants, et est la personne à contacter au BIPM en ce qui concerne le JCGM et son Groupe de travail 2 (VIM) du JCGM.

C. Thomas a assisté aux réunions suivantes, en totalité ou en partie :

- 21^e réunion du JCRB, les 24 et 25 septembre 2008 ;
- 6^e session du CCAUV et réunions connexes, du 8 au 10 septembre 2008 ;
- 97^e session du CIPM (en partie), du 14 au 16 octobre 2008 ;
- réunion du comité d'organisation de l'atelier « Grandeurs physiologiques et unités du SI » du BIPM, le 28 janvier 2009 ;
- 26^e session du CCEM et réunions connexes, du 11 au 13 mars 2009 ;
- atelier sur le Système Qualité du BIPM, le 17 mars 2009 (matin) ;
- 22^e réunion du JCRB, les 17 (après-midi) et 18 mars 2009 ;
- forum du BIPM sur la coordination des activités internationales des laboratoires nationaux de métrologie, les 19 et 20 mars 2009 ;
- 18^e réunion de la Section III du CCRI, les 1^{er} et 2 avril 2009 ;
- 15^e session du CCQM, du 22 au 24 avril 2009 ;
- 19^e réunion de la Section I du CCRI, du 13 au 15 avril 2009 ;
- CODATA Task Group on Fundamental Constants, le 25 mai 2009 ;
- 19^e session du CCU, du 26 au 28 mai 2009 ;
- 18^e session du CCTF, les 4 et 5 juin 2009 ;
- 14^e session du CCL et réunions connexes, du 8 au 11 juin 2009 ;
- Groupe de travail du CCRI des organisations régionales de métrologie, le 12 juin 2009 ;

- 20^e réunion de la Section II du CCRI, du 17 au 19 juin 2009 ;
- 14^e Congrès international de métrologie, du 22 au 25 juin 2009.

C. Thomas est aussi responsable de l'organisation des séminaires au BIPM, et secrétaire scientifique de l'école d'été du BIPM sur la métrologie de 2008 et de l'atelier « Grandeurs physiologiques et unités du SI » du BIPM.

8.7 Visiteurs

- M. A. Steele, NRC (Canada), le 25 septembre 2008.

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

9.1 AFRIMETS reconnue comme extension de SADC MET

Le JCRB a recommandé au CIPM de reconnaître l'AFRIMETS comme une extension de l'organisation régionale de métrologie existante, SADC MET : l'AFRIMETS possède ainsi déjà les structures requises, telles que des comités techniques capables d'examiner les aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages, les aptitudes techniques pour participer à des comparaisons clés et aux Comités consultatifs, ainsi qu'un comité responsable de l'examen des Systèmes Qualité. L'AFRIMETS fait désormais partie, de plein droit, du JCRB.

9.2 Évaluation des Systèmes Qualité

Un séminaire d'une demi-journée, ayant pour objectif d'harmoniser les procédures d'examen et d'approbation des Systèmes Qualité appliquées par les organisations régionales de métrologie, a été organisé au BIPM, simultanément à la réunion du JCRB en mars 2009. Chaque organisation régionale de métrologie a fait le point sur son système d'examen, en soulignant tout changement significatif apporté depuis le précédent séminaire en 2006 à Berlin.

Au cours de ce séminaire, le BIPM a également présenté son Système Qualité, ainsi que la méthode qu'il a choisie pour rendre publics ses services de mesure et d'étalonnage, étape nécessaire pour rendre plus transparent le chemin de

traçabilité des laboratoires nationaux de métrologie qui dépendent du BIPM pour leurs étalonnages.

Les organisations régionales de métrologie ont fait un certain nombre de propositions et de commentaires utiles, dont la plupart seront mis en œuvre en vue d'améliorer notre Système Qualité.

9.3 Nouveaux documents en cours d'examen

Le document CIPM MRA-D-05, intitulé *Comparisons in the CIPM MRA*, a été présenté au JCRB et a donné lieu à une discussion sur les exigences en matière de comparaison. Une nouvelle version a été préparée et distribuée aux organisations régionales de métrologie afin de recueillir leurs observations.

Le document CIPM MRA-P-01, intitulé *Procedure for approval of new RMOs*, a été à nouveau soumis à discussion afin de parvenir à une définition claire de ce qu'est une organisation régionale de métrologie et de couvrir les différences de signification du terme « Membre » entre les diverses organisations régionales de métrologie ; la version révisée de ce document sera présentée au CIPM en octobre 2009 pour approbation finale.

9.4 Compte rendu des Comités consultatifs et de leurs Groupes de travail

Afin d'obtenir un compte rendu formel des Comités consultatifs et de leurs Groupes de travail, un questionnaire a été distribué avant la réunion du JCRB. Il portait sur les points suivants :

- périodicité des examens des CMCs ;
- travail et questions liés au « dispositif soumis à mesure » ;
- remarques sur les catégories de service « de niveau inférieur » et actions mises en œuvre ;
- commentaires au sujet de la déclaration du CIPM sur la traçabilité ;
- différentes procédures d'examens des CMCs au sein des organisations régionales de métrologie (le cas échéant) ;
- autres points et questions concernant le CIPM MRA à débattre lors de la prochaine réunion du JCRB.

9.4.1 Périodicité des examens des CMCs

Le JCRB a discuté de la question de l'examen périodique des CMCs publiées.

Considérant que la déclaration émise précédemment par le JCRB, concernant une période d'examen de cinq ans, pouvait avoir été mal interprétée, que les organisations régionales de métrologie revoient leurs Systèmes Qualité tous les cinq ans, et qu'un système de rapports annuels a récemment été instauré afin que les laboratoires nationaux de métrologie signalent toute modification pouvant affecter leurs CMCs, le JCRB a décidé que l'examen périodique des CMCs publiées devait être effectué par les organisations régionales de métrologie. Il a en outre recommandé à ces dernières de réviser les modèles utilisés pour créer les rapports annuels afin de s'assurer que les laboratoires nationaux de métrologie signalent effectivement toute modification de leurs CMCs.

Par ailleurs, le JCRB a noté que, pour certains domaines, les Comités consultatifs pourraient vouloir prendre une décision particulière concernant la périodicité et la procédure d'examen applicables à leur communauté.

9.4.2 Travail et questions liés au « dispositif soumis à mesure »

Tous les Comités consultatifs suivent la politique établie consistant à inclure les composantes d'incertitudes dues au « dispositif soumis à mesure » dans les bilans d'incertitude des CMCs. Si, fait exceptionnel, ces composantes ne sont pas incluses, cela doit être clairement indiqué en commentaire pour chaque CMC concernée.

9.4.3 Politique en matière de traçabilité dans le CIPM MRA

Lors de la réunion du JCRB en mars 2008, une politique en matière de traçabilité des CMCs dans le cadre du CIPM MRA a été approuvée. Cette politique a été modifiée, puis approuvée lors de la 97^e session du CIPM en 2008. Toutefois, certains Comités consultatifs ou organisations régionales de métrologie ont envoyé par la suite des commentaires sur le texte. Bien que la politique ait été acceptée dans son ensemble, le point principal faisant débat est de savoir comment fournir une déclaration claire pour les grandeurs qui ne sont pas explicitement traçables au SI, comme certaines dans le domaine de la chimie ou des propriétés des matériaux. Le JCRB a donc consulté les Comités consultatifs et a rédigé un nouveau texte qui tient compte de ces difficultés. La nouvelle version sera distribuée aux organisations régionales de métrologie par les représentants du JCRB, puis le texte final devrait être approuvé lors de la prochaine réunion du JCRB en septembre 2009, afin de pouvoir être présenté au CIPM en octobre 2009.

9.4.4 Catégories de service « de niveau inférieur »

Cette question a été examinée par le JCRB et débattue lors de la réunion commune au BIPM et à l'ILAC. L'ILAC proposera de nouvelles catégories de service « de niveau inférieur », puis les Comités consultatifs décideront de les inclure ou non aux listes existantes.

9.5 Activités communes au BIPM et à l'ILAC

Le BIPM et l'ILAC ont tenu une réunion bipartite en mars 2008 dont il ressort les points essentiels suivants :

- une mise à jour des références des normes internationales est nécessaire, particulièrement dans le texte du CIPM MRA ;
- il a été proposé que le JCRB prenne en considération un changement de politique et rende les examens sur site obligatoires ;
- il a été proposé que le Groupe de travail 2 du JCGM revoie les références au document ILAC P10 dans le VIM ;
- l'ILAC proposera de nouvelles catégories de service pour les domaines dont les catégories existantes ne couvrent pas les services « de niveau inférieur », l'objectif étant de créer une liste commune destinée aux organismes d'accréditation et aux laboratoires nationaux de métrologie ;
- la définition du terme « aptitude en matière de mesures et d'étalonnages, CMC » doit être mise à jour dans le texte du CIPM MRA ;
- la participation du BIPM aux comités de l'ILAC, en particulier à l'AIC, doit se poursuivre.

Le secrétaire exécutif du JCRB participe désormais à l'AIC, notamment en ce qui concerne la révision des documents *ILAC policy for traceability* et *Guidelines for the accreditation of NMIs*.

Michael Kühne, sous-directeur du BIPM, a été désigné responsable de la coordination entre le BIPM et l'ILAC.

9.6 Forum sur la coordination des activités internationales des laboratoires nationaux de métrologie (P. Espina*)

À la demande d'un certain nombre de laboratoires nationaux de métrologie ayant des activités dans les pays en voie de développement, le BIPM a tenu un

* En détachement du NIST (Etats-Unis) jusqu'au 31 décembre 2009.

forum sur la coordination des activités internationales des laboratoires nationaux de métrologie les 19 et 20 mars 2009 au BIPM. Le comité d'organisation de ce forum avait pour objectifs de faciliter l'échange d'informations entre les bureaux internationaux des laboratoires nationaux de métrologie, et d'identifier les possibilités de coopération, collaboration ou coordination. Le but de ce forum était également de mettre en œuvre des solutions plus efficaces pour conduire les programmes d'aide au développement de la métrologie dans les pays émergents.

Le forum a mis en relief le besoin de faciliter l'échange d'informations au quotidien et la nécessité de continuer les discussions sur deux sujets. Le premier concerne la coopération des laboratoires nationaux de métrologie pour mener à bien leurs activités internationales. Cela sera rendu possible par la mise en commun de programmes stratégiques nationaux en matière de systèmes de mesure, et par l'examen des stratégies et activités internationales mises en place par les laboratoires nationaux dans le but de favoriser les interactions au niveau mondial. Le second porte sur l'assistance technique et le renforcement des aptitudes, afin que les laboratoires nationaux de métrologie en soient à la fois les bénéficiaires, les fournisseurs et les coordonnateurs, dans le but de faciliter ce type d'activités au sein des organisations régionales de métrologie.

Les participants au forum s'accordent à penser que ce type d'événements pourrait être à nouveau organisé à l'avenir.

9.7 JCDCMAS (M. Streak*)

La réunion annuelle 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) s'est tenue en mars 2009. Le BIPM a commencé la réunion en suggérant que le JCDCMAS avait été trop optimiste par rapport aux objectifs qu'il s'était fixés, en particulier en ce qui concerne l'aptitude du Comité à coordonner ses activités, car il s'est avéré que chacune des organisations membres fonctionnait selon ses propres principes. Le BIPM a ainsi lancé une discussion au cours de laquelle la possibilité de mettre fin au JCDCMAS ou celle de redéfinir en profondeur les missions du Comité a été envisagée. Les membres du JCDCMAS sont parvenus aux conclusions suivantes :

* En détachement du NMISA (Afrique du Sud) jusqu'au 24 avril 2009.

- les objectifs initiaux du JCDCMAS étaient trop optimistes ;
- toutefois, l'échange informel d'expériences a été très utile et a permis à chaque organisation membre de se rendre compte de la politique et du fonctionnement des autres ;
- la dissolution du JCDCMAS pourrait être mal interprétée par certains de ses partenaires ou par les États qui bénéficient de ses actions.

Le BIPM a donc préparé les missions d'un nouveau groupe non officiel qui se réunirait de façon *ad hoc*. Ce texte est actuellement en circulation.

9.8 Publications, conférences et voyages : JCRB

9.8.1 Nouveaux documents sur le CIPM MRA

Un nouveau document intitulé *Guide to the implementation of the CIPM MRA* (CIPM MRA-G-01) a été approuvé par le JCRB et le CIPM. Il rassemble tous les documents relatifs au CIPM MRA et peut être mis à jour régulièrement puisqu'il est publié en ligne. Ce Guide devrait être particulièrement utile aux laboratoires nationaux de métrologie et aux comités des organisations régionales de métrologie, notamment les comités techniques. Veuillez contacter le secrétaire exécutif du JCRB si vous rencontrez des difficultés dans l'interprétation de ce Guide.

Le document intitulé *Calibration and Measurement Capabilities in the context of the CIPM MRA* (CIPM MRA-D-04) a été approuvé par le JCRB et le CIPM. Il remplace tous les documents existant jusqu'alors sur les CMCs et devrait être désormais appliqué par les laboratoires nationaux et les organisations régionales de métrologie.

Les documents sur le CIPM MRA sont accessibles à l'adresse <http://www.bipm.org/en/cipm-mra/documents/>.

9.8.2 Documents révisés sur le CIPM MRA

Les documents intitulés *JCRB guidelines for the monitoring and reporting of the operation of quality systems by RMOs* (CIPM MRA-G-02) et *Guidelines for the review of CMCs and the monitoring and reporting of the operation of quality systems by international intergovernmental organizations who are signatories of the CIPM MRA* (CIPM MRA-G-03) ont été publiés et remis en page conformément au Système Qualité du BIPM. Aucune modification n'a été apportée au texte de ces documents.

Ces deux documents sont accessibles à l'adresse <http://www.bipm.org/en/cipm-mra/documents/>.

9.8.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

L. Mussio :

- CEPAL, Santiago (Chili), les 26 et 27 août 2008, pour le *Primer diálogo bianual entre organismos reguladores regionales de américa latina y el caribe* (Premier dialogue biannuel entre les organismes de réglementation régionaux d'Amérique latine et des Caraïbes) ;
- Varsovie, les 21 et 22 avril 2009, pour une réunion ILAC-IAC ;
- 14^e Congrès international de métrologie, Paris (France), le 24 juin 2009, pour présider la session *Reconnaissance internationale des certificats d'étalonnage*.

P. Espina :

- Vienne (Autriche), le 16 septembre 2008, pour visiter l'ONUDI ;
- Bratislava (Slovaquie), les 17 et 18 septembre 2008, pour participer à la réunion COOMET TC1.4 (débit et grandeurs apparentées), visiter les laboratoires du SMU et rencontrer Peter Lukác, président de l'Office of Standards, Metrology and Testing of the Slovak Republic ;
- Genève (Suisse), le 28 octobre 2008, pour visiter l'OMM et discuter du projet d'atelier commun à l'OMM et au BIPM intitulé « *Measurement Challenges for Global Observation Systems for Climate Change Monitoring: Traceability, Stability and Uncertainty* » ;
- Genève (Suisse), du 29 au 31 octobre 2008, pour participer à l'atelier de l'ISO sur le thème « Les normes d'évaluation de la conformité en soutien à la surveillance des marchés » et pour représenter le BIPM à la 24^e assemblée annuelle plénière de l'ISO-CASCO ;
- Skopje (Ex-République yougoslave de Macédoine), les 27 et 28 novembre 2008, pour participer au Focus Group on Facilitating National Metrology Infrastructure Development de l'EURAMET ;
- Astana (Kazakhstan), du 1^{er} au 3 décembre, 2008, pour participer au séminaire *Awareness* pour les directeurs généraux des laboratoires nationaux de métrologie organisé par COOMET et parrainé par la PTB ;
- Teddington (Royaume-Uni), les 8 et 9 décembre 2008, pour participer à une réunion technique de coopération entre le BIPM, le NPL et la PTB, et visiter les laboratoires du NPL ;

- Copenhague (Danemark), le 10 mars 2009, pour participer à la réunion du Comité technique de l'EURAMET sur le débit ;
- Riyad (Arabie saoudite), le 2 mai 2009, pour participer à des échanges sur la métrologie dans les pays du Conseil de Coopération du Golfe (GCC) à l'Organisation de normalisation du GCC (GSO) et pour discuter des critères pour être Membre du BIPM avec l'Organisation de normalisation d'Arabie saoudite (SASO) ;
- Dubaï (Émirats Arabes Unis), les 3 et 4 mai 2009, pour participer à une discussion avec les directeurs des organisations de normalisation nationales des pays du GCC et participer au symposium du GSO intitulé « *The Importance of Metrology to National Economy* » ;
- Tunis (Tunisie), le 20 mai 2009, pour une présentation lors de la Journée mondiale de la métrologie à Tunis ;
- Gaithersburg, Maryland (États-Unis), les 15 et 16 juin 2009, pour des réunions avec des membres du personnel du NIST ;
- Boulder, Colorado (États-Unis), les 18 et 19 juin 2009, pour des réunions avec des membres du personnel du NIST.

9.9 Activités liées au travail sur la Convention du Mètre

L. Mussio a participé aux réunions suivantes :

- *Primer diálogo bianual entre organismos reguladores regionales de américa latina y el caribe* (Premier dialogue biannuel entre les organismes de réglementation régionaux d'Amérique latine et des Caraïbes), CEPAL, les 26 et 27 août 2008 ;
- 21^e réunion du JCRB, les 24 et 25 septembre 2008 ;
- Réunion du Groupe de travail du CCAUV des organisations régionales de métrologie, le 8 octobre 2008 ;
- CCAUV, les 9 et 10 octobre 2008 ;
- CIPM, du 14 au 17 octobre 2008 ;
- Réunion du Groupe de travail du CCRI des organisations régionales de métrologie, les 20 et 21 novembre 2008 ;
- JCGM, le 5 décembre 2008 ;
- Réunion tripartite BIPM-OIML-ILAC, le 4 mars 2009 ;
- Réunion bipartite ILAC-BIPM, le 5 mars 2009 ;
- JCDCMAS, le 6 mars 2009 ;

- Atelier sur les Systèmes Qualité, le 17 mars 2009 ;
- 22^e réunion du JCRB, les 17 et 18 mars 2009 ;
- Forum sur la coordination des activités internationales des laboratoires nationaux de métrologie, les 19 et 20 mars 2009 ;
- Réunion de la Section III du CCRI, du 1^{er} au 3 avril 2009 ;
- Réunion du Groupe de travail du CCQM sur les comparaisons clés, les 17 et 18 avril 2009 ;
- CCQM, les 23 et 24 avril 2009 ;
- Réunion du Groupe de travail de la Section I du CCRI sur les comparaisons clés, le 11 avril 2009 ;
- Réunion de la Section I du CCRI, du 13 au 15 mai 2009 ;
- CCU, du 26 au 28 mai 2009 ;
- Réunion du Groupe de travail commun au CCL et au CCTF sur les étalons de fréquence, le 2 juin 2009 ;
- CCTF, les 4 et 5 juin 2009 ;
- Réunion du Groupe de travail du CCL sur la métrologie dimensionnelle, le 8 juin 2009 ;
- CCL, les 10 et 11 juin 2009 ;
- Réunion du Groupe de travail du CCRI des organisations régionales de métrologie, le 12 juin 2009 ;
- Réunion de la Section II du CCRI, du 17 au 19 juin 2009.

M. Streak a participé aux réunions suivantes :

- Réunion tripartite BIPM-OIML-ILAC, le 4 mars 2009 ;
- Réunion bipartite ILAC-BIPM, le 5 mars 2009 ;
- JCDCMAS, le 6 mars 2009 ;
- Atelier sur les Systèmes Qualité, le 17 mars 2009 ;
- 22^e réunion du JCRB, les 17 et 18 mars 2009 ;
- Forum sur la coordination des activités internationales des laboratoires nationaux de métrologie, les 19 et 20 mars 2009.

P. Espina a participé aux réunions suivantes :

- 21^e réunion du JCRB, le 25 septembre 2008 ;
- 97^e session du CIPM, du 14 au 16 octobre 2008 ;
- Réunion BIPM-OIML, le 16 décembre 2008 ;

- Réunion du comité d'organisation de l'atelier du BIPM « Grandeurs physiologiques et unités du SI », le 28 janvier 2009 ;
- Réunion annuelle BIPM-ILAC-OIML, le 4 mars 2009 ;
- Réunion annuelle BIPM-OIML, le 4 mars 2009 ;
- Réunion annuelle BIPM-ILAC, le 5 mars 2009 ;
- Réunion annuelle du JCDCMAS, le 6 mars 2009 ;
- 22^e réunion du JCRB, les 17 et 18 mars 2009 ;
- Forum sur la coordination des activités internationales des laboratoires nationaux de métrologie, les 19 et 20 mars 2009 ;
- Réunion du comité d'organisation de l'atelier commun à l'OMM et au BIPM intitulé « Measurement challenges for global observation systems for climate change monitoring: traceability, stability and uncertainty », le 22 juin 2009.

9.10 Visiteurs

- Délégation tunisienne : Mme M. Chambon (LNE, France), Mme Souaz Bouazis (Tunis), M. Cherif Bekiri (Tunis), le 27 mars 2009 ;
- Délégation britannique : Mlle Aphrodite Korou (Responsable de la politique de normalisation, section Innovation Delivery du Department for Innovation, Universities and Skills - DIUS), Mlle Rose Newton (Responsable de la politique de normalisation internationale et européenne - DIUS), M. Mark Sinclair (Responsable régional – Europe occidentale, Science & Innovation Network, ambassade de Grande-Bretagne en France), Mlle Alison MacEwen (Assistante Science et Innovations, ambassade de Grande-Bretagne en France), le 23 juin 2009 ;
- M. Wolfgang Schmid, secrétaire de l'EURAMET (PTB, Allemagne), le 26 juin 2009.

10 PUBLICATIONS ET INFORMATIQUE (J.H. WILLIAMS* ET J.R. MILES)

10.1 Rapports du CIPM et de ses Comités consultatifs (D. Le Coz, J.R. Miles, C. Thomas et J.H. Williams*)

Depuis juillet 2008 ont été publiés :

- Procès-verbaux du Comité international des poids et mesures, 96^e session (2007), 2008, **75**, 206 p.
- Rapport du directeur sur l'activité et la gestion du Bureau international des poids et mesures (2008), 2009, **9**, 306 p.
- *Comité consultatif des longueurs*, 13^e session (2007), 2009, 46 p.
- Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées, 11^e session (2008), 2008, 36 p.
- Comité consultatif pour la quantité de matière : métrologie en chimie, 14^e session (2008), 2008, 46 p.
- Comité consultatif des rayonnements ionisants, 20^e session (2007), 2009, 86 p.
- *Comité consultatif de thermométrie*, 24^e session (2008), 2008, 26 p.

Suite à la décision du CIPM en octobre 2003, les rapports des sessions des Comités consultatifs ne sont plus imprimés et sont maintenant publiés uniquement sur le site Web du BIPM, dans leur langue originale.

Pendant la période couverte par ce rapport ont également été publiés sur le site Web du BIPM : le *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure* (désormais appelé JCGM 100:2008, GUM 1995 avec des corrections mineures), le volume 4 de *Monographie BIPM-5* (Table of radionuclides) et le rapport du Groupe de travail *ad hoc* du CIPM sur la métrologie des matériaux : *Evolving Need for Metrology in Material Property Measurements*.

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

* En poste jusqu'au 20 novembre 2008.

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

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

Le facteur d'impact (FI) de *Metrologia* continue à augmenter : il est de 1,780 pour 2008. Le facteur d'impact est le rapport entre le nombre de fois que des articles parus au cours des deux années précédentes sont cités pendant l'année en cours, et le nombre d'articles publiés au cours de ces deux années. Le facteur d'impact de *Metrologia* au cours des dernières années est présenté ci-après :

Année	2003	2004	2005	2006	2007	2008
FI	0,983	1,314	1,479	1,657	1,667	1,780

Metrologia a le facteur d'impact le plus élevé de toutes les revues de ce type, ce qui est essentiel pour maintenir et faire augmenter le niveau d'abonnement et pour assurer la grande qualité des articles soumis. M. Williams, ainsi que les auteurs et le comité de lecture de *Metrologia*, sont à féliciter pour ces résultats.

Le BIPM et l'IOPP continuent à maîtriser parfaitement les détails techniques de la production de *Metrologia*. 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.

Outre sa version imprimée, *Metrologia* est également disponible en ligne et tous les articles peuvent être téléchargés gratuitement pendant le mois suivant leur publication (www.iop.org/EJ/journal/Met).

Afin d'accroître la visibilité de *Metrologia* auprès des nombreux laboratoires travaillant dans le domaine de la métrologie, mais qui ne sont pas des laboratoires nationaux de métrologie signataires, nous avons offert à un certain nombre de laboratoires désignés un accès gratuit à la version électronique de *Metrologia* pendant une période d'essai. Les laboratoires concernés par cette campagne sont ceux spécialisés dans la métrologie de la chimie et des rayonnements ionisants. Tout laboratoire intéressé est invité à prendre contact avec l'IOPP à l'adresse metrologia@iop.org.

** En poste jusqu'au 29 août 2008.

* En poste jusqu'au 20 novembre 2008.

Suite au départ à la retraite de la secrétaire à temps partiel du rédacteur, les fonctions secrétaires de gestion et de révision des manuscrits ont été transférées à l'IOPP en septembre 2008, sans que cela n'engendre d'interruption dans la production de *Metrologia*. Les auteurs peuvent désormais soumettre leur article via le système en ligne de l'IOPP.

Les numéros spéciaux de *Metrologia* consacrés à des sujets d'intérêt sont toujours organisés avec l'aide d'un rédacteur invité spécialiste, en collaboration avec le rédacteur du BIPM. Trois numéros spéciaux ont été publiés au cours de la période couverte par ce rapport : *Timescale Algorithms*, volume 45(6), *Radiation Dosimetry*, volume 46(2), et *NEWRAD 2008*, volume 46(4).

Le *Technical Supplement* de *Metrologia* se porte bien, avec 89 résumés publiés pendant la période couverte par ce rapport.

10.3 Le site Web du BIPM (J.R. Miles)

Moyen de communication essentiel du BIPM, le site Web est une source d'informations très riche qui suscite l'intérêt d'un public varié. Plusieurs sections de notre site sont destinées à des groupes d'utilisateurs spécifiques (parmi lesquels les comités communs et consultatifs et leurs groupes de travail) ; certaines autres sections fournissent des données particulièrement importantes pour les industries, les organismes d'accréditation et les agences de régulation ; d'autres encore intéressent la communauté scientifique dans son ensemble, les établissements scolaires et universitaires, les journalistes et même les historiens. Le portail du BIPM sur la métrologie <http://search.bipm.org/> est très largement utilisé, et la Brochure sur le SI continue d'être téléchargée près de 4000 fois par mois.

Suite au départ à la retraite précédemment mentionné de la secrétaire à temps partiel, ainsi qu'au départ du rédacteur, la section des publications du BIPM a sévèrement manqué de personnel durant la période couverte par ce rapport. C'est le site Web du BIPM qui a le plus souffert de cette situation : les mises à jour se sont ainsi limitées à la maintenance strictement nécessaire et aucune nouvelle fonctionnalité n'a pu être ajoutée au site. Mme J.R. Miles tient à remercier Mlle A. Bêche, assistante à temps partiel et à durée limitée, pour son aide.

Parmi les améliorations apportées au site Web durant la période couverte par ce rapport figure la création d'une nouvelle section dans la rubrique CIPM MRA, qui facilite l'accès aux documents sur le CIPM MRA (<http://www.bipm.org/en/cipm-mra/documents/>).

Une nouvelle section est désormais consacrée aux événements qui ont lieu au BIPM, parmi lesquels figurent l'école d'été du BIPM sur la métrologie de 2008, le prochain atelier « Grandeurs physiologiques et unités du SI » et le futur atelier sur la métrologie à l'échelle nanométrique. Par ailleurs, la section décrivant les activités de coopération internationale du BIPM s'est également enrichie de nouvelles informations.

Dans le cadre d'un projet commun pour promouvoir les bénéfices qu'apporte la métrologie à la société, un nouveau site Web (<http://www.worldmetrologyday.org>) a été créé pour célébrer la Journée mondiale de la métrologie de 2009. Ce site a été réalisé par M. P. Espina pour le compte du BIPM et de ses partenaires (le NCSLI, le NIST, le NMIJ AIST, le NMISA, le NPL, l'OIML et la PTB) pour la Journée mondiale de la métrologie 2009.

10.4 Informatique (L. Le Mée)

Pendant la période couverte par ce rapport, le service informatique a continué à améliorer le système d'information et de communication du BIPM, notamment en renforçant la robustesse de sa connexion internet, en protégeant les connexions à distance au moyen de réseaux privés virtuels, en augmentant la bande passante des réseaux internes du BIPM et en installant un système de démarrage « à froid » en cas de panne matérielle d'un serveur.

La sécurité a été renforcée par l'installation sur les ordinateurs du BIPM d'un nouveau système de protection antivirus et par la mise à jour du pare-feu.

Le service informatique a mis en place un système de logiciels open-source afin de pouvoir gérer l'ensemble des ordinateurs du site. Cela permet de contrôler l'équipement logiciel et matériel de chaque ordinateur, par le biais d'un agent logiciel installé localement et d'un serveur qui centralise les données collectées.

Le service informatique du BIPM a également développé un certain nombre d'applications intranet et internet, dont une plate-forme d'échange qui permet de contrôler et gérer les informations entre le BIPM et ses partenaires.

Enfin, le service informatique a participé à l'achat, l'installation, l'administration et la maintenance de près de 30 serveurs et de 200 ordinateurs situés dans les bureaux ou les laboratoires, ainsi que d'une douzaine d'imprimantes réseau.

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

J.R. Miles :

- IOPP (Bristol, Royaume-Uni), le 18 février 2009, pour la réunion annuelle des partenaires de *Metrologia* ;
- 14^e Congrès international de métrologie (Paris), le 24 juin 2009.

L. Le Mée :

- METAS, Berne (Suisse), les 19 et 20 février 2009, pour discuter de la mise en place d'une base de données regroupant les résultats de la balance du watt.

11 RÉUNIONS ET EXPOSÉS AU BIPM

11.1 Réunions

Les réunions suivantes ont eu lieu au BIPM :

- École d'été du BIPM sur la métrologie, du 30 juin au 11 juillet 2008.
- Groupe de travail de la Section II du CCRI sur les comparaisons clés le 15 septembre 2008, et Groupe de travail de la Section II du CCRI sur les incertitudes le 16 septembre 2008, puis atelier de la Section II du CCRI sur les incertitudes de comparaison les 17 et 18 septembre 2008.
- 21^e réunion du JCRB les 24 et 25 septembre 2008, et 22^e réunion les 16 et 17 mars 2009.
- CCAUV, les 9 et 10 octobre 2008, suite à la réunion du Groupe de travail sur les aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages des organisations régionales de métrologie le 8 octobre.
- Groupe de travail 1 (GUM) du Comité commun pour les guides en métrologie (JCGM), du 12 au 14 novembre 2008 et du 7 au 10 avril 2009.
- Comité d'organisation de l'ICAG, le 21 novembre 2008.
- Groupe de travail du CCM sur la constante d'Avogadro, le 26 novembre 2008, suite à un atelier sur l'IAC les 24 et 25 novembre.
- Atelier du CCQM sur la pharmacopée intitulé « Measurement Traceability for Pharma and Bio-pharma Measurements », les 4 et 5 décembre 2008.
- JCGM, le 5 décembre 2008.

- Comité exécutif du JCTLM, le 11 décembre 2008, puis réunion des parties prenantes et membres du JCTLM le 12 décembre.
- Groupe de travail commun BIPM-ILAC-OIML, les 4 et 5 mars 2009.
- JCDCMAS, le 6 mars 2009.
- CCEM, les 12 et 13 mars 2009, suite aux réunions de ses groupes de travail du 9 au 11 mars.
- Watt balance technical meeting (WBTM), le 18 mars 2009.
- CCQM, les 23 et 24 avril 2009, suite aux réunions de ses groupes de travail du 17 au 22 avril.
- CODATA Task Group on Fundamental Constants (TGFC), le 25 mai 2009.
- CCU, du 26 au 28 mai 2009.
- CCRI, le 19 juin 2009, suite aux réunions de la section I du CCRI du 13 au 15 mai, de la section II du 17 au 19 juin et de la section III du 1^{er} au 3 avril, et aux réunions de divers groupes de travail : groupe de travail de la section II sur l'instrument de transfert le 26 mars 2009 ; groupe de travail de la section II sur les comparaisons clés le 7 mai 2009 ; groupes de travail de la section I sur les comparaisons clés et sur la dosimétrie des accélérateurs le 11 mai 2009 ; groupe de travail de la section I sur les étalons en curiethérapie le 12 mai ; groupes de travail de la section II sur les comparaisons clés et de la section I sur les incertitudes le 15 juin ; et groupes de travail de la section II sur l'extension du SIR aux émetteurs de rayonnement bêta et sur la réalisation du becquerel le 16 juin.

11.2 Présentations au BIPM

Le 17 novembre 2008, le 25^e anniversaire de la définition du mètre, organisé par le Comité « Science et métrologie » de l'Académie des Sciences de Paris, a été célébré au BIPM. Cet événement a été présidé par MM. Jean Kovalevsky et Christian Bordé, présidents du Comité, et a rassemblé une soixantaine de scientifiques du LNE, du LNE-SYRTE, du LNE-INM/CNAM, du CNRS, du LKB et du BIPM.

Les quatre présentations suivantes ont été données au cours de cet anniversaire :

- Christian Bordé et Marc Himbert : « Le mètre aujourd'hui : fondements historiques, scientifiques et technologiques »,

- Gérard Petit : « GPS, VLBI, SLR : que mesure la géodésie spatiale ? »,
- Jean Kovalevsky : « La mesure des distances en astronomie »,
- Pierre Lemonde : « Horloges optiques et peignes femto-secondes : vers une redéfinition de la seconde ? ».

Une discussion générale sur le thème « De la redéfinition du mètre à la redéfinition de la seconde : une stratégie scientifique à élaborer » a ensuite été ouverte.

La présentation ci-après a également été donnée au BIPM :

- L. Palafox (PTB) : « 1 V and 10 V SNS Programmable Voltage Standards for 70 GHz », le 3 décembre 2008.

12 CERTIFICATS ET NOTES D'ÉTUDE

Du 1^{er} juillet 2008 au 30 juin 2009, 66 Certificats et 7 Notes d'étude ont été délivrés.

12.1 Certificats

2008

36.	Ozone analyser, Advanced Pollution Instrumentation 400 No. 823	NMISA, Afrique du Sud
37.	1 kg mass standard in stainless steel, No. 1950507	LATU, Uruguay
38.	1 kg mass standard in 'Immaculate V', No. E'69*	NML, Irlande
39.	1 kg mass standard in stainless steel, NPSL-1kg-E1	NPSL, Pakistan
40.	1 kg mass standard, '1S2(1)'	NMi-VSL, Pays-Bas
41.	1 kg mass standard, '2S2(2)'	Id.
42.	1 kg mass standard, '2S1(3)'	Id.
43.	1 kg mass standard, '1S1(A)'	Id.

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

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

44.	Ionization chamber LS01, No. 115 in gamma-ray beams*	IAEA
45.	Ionization chamber HS01, No. 102 in gamma-ray beams*	Id.
46.	Ionization chamber LS10, No. 130 in gamma-ray beams*	Id.
47.	1 Ω resistance standard, No. 64206	NMC, Singapour
48.	10 000 Ω resistance standard, No. G 207078730104*	Id.
49.	1 Ω resistance standard, No. 17103*	INM, Roumanie
50.	1 Ω resistance standard, No. 17112*	Id.
51.	10 000 Ω resistance standard, No. 5 885 009*	Id.
52.	10 000 Ω resistance standard, No. 5 885 010*	Id.
53.	100 Ω resistance standard, No. 097273	GUM, Pologne
54.	10 000 Ω resistance standard, No. J 202089130104*	NML-SIRIM, Malaisie
55.	Electronic voltage standard, No. 6945010*	GUM, Pologne
56.	Prototype de masse, n° 55*	Allemagne
57.	Prototype de masse, n° 92	États-Unis
58.	Prototype de masse, n° 69*	Portugal
59.	1 pF capacitance standard, No. 01015*	CEM, Espagne
60.	10 pF capacitance standard, No. 01014*	Id.
61.	100 pF capacitance standard, No. 01008*	Id.

2009

1.	Zener diode voltage standard, No. 6945016*	BIM, Bulgarie
2.	Ionization chamber NE 2561, No. 264 in a ^{60}Co gamma-ray beam*	LNMRI, Brésil
3.	Ionization chamber NE 2561, No. 264 in medium-energy x-rays*	Id.
4.	1 pF capacitance standard, No. 01210*	INMETRO, Brésil
5.	10 pF capacitance standard, No. 01209*	Id.
6.	100 pF capacitance standard, No. 01163*	Id.
7.	1 Ω resistance standard, No. 1 611 312*	BEV, Autriche

8.	1 Ω resistance standard, No. 1 915 322*	Id.
9.	1 Ω resistance standard, No. 64191	Id.
10.	10 000 Ω resistance standard, No. 1 784 815*	Id.
11.	Ionization chamber NE 2611, No. 133 in medium-energy x-rays*	CRRD, Argentine
12.	Ionization chamber NE 2611A, No. 133 in a ^{60}Co gamma-ray beam*	Id.
13.	Ionization chamber Radcal RC6M, No. 9065 in low-energy x-rays*	NRPA, Norvège
14.	Ionization chamber Capintec PR-06G, No. 8429 in medium-energy x-rays*	Id.
15.	Ionization chamber Capintec PR-06G, No. 8429 in a ^{60}Co gamma-ray beam*	Id.
16.	Ionization chamber NE 2561, No. 099 in a ^{60}Co gamma-ray beam*	Id.
17.	10 pF capacitance standard, No. 01335*	BEV, Autriche
18.	100 pF capacitance standard, No. 01469*	Id.
19.	10 pF capacitance standard, No. 01289*	EIM, Grèce
20.	10 pF capacitance standard, No. 01290*	Id.
21.	100 pF capacitance standard, No. 01291*	Id.
22.	100 pF capacitance standard, No. 01292*	Id.
23.	100 Ω resistance standard, No. 248814	MSL, Nouvelle Zélande
24.	1 Ω resistance standard, No. 246570	Id.
25.	10 000 Ω resistance standard, No. J206069130104*	DFM, Danemark
26.	10 pF capacitance standard, No. 01557	MSL, Nouvelle Zélande
27.	10 pF capacitance standard, No. 01558	Id.
28.	100 pF capacitance standard, No. 01559	Id.
29.	100 pF capacitance standard, No. 01560	Id.
30.	1 kg mass standard in stainless steel, MP3*	CEM, Espagne
31.	1 kg mass prototype, No. 55*	Allemagne
32.	1 kg mass standard in stainless steel, No. 83700*	NMC, A*STAR, Singapour
33.	1 kg mass prototype, No. 66*	Brésil

34.	1 kg mass standard, MP060*	INMETRO, Brésil
35.	10 pF capacitance standard, No. 01067*	CENAM, Mexique
36.	10 pF capacitance standard, No. 01068*	Id.
37.	100 pF capacitance standard, No. 01070*	Id.
38.	100 pF capacitance standard, No. 01071*	Id.
39.	Étalon de résistance de 1 Ω , N° S-64174*	SMD, Belgique
40.	1 kg mass prototype, No. 49*	Autriche
41.	100 Ω resistance standard, No. 8738/19	DMDM, Serbie
42.	1 Ω resistance standard, No. 1755134*	Id.
43.	1 Ω resistance standard, No. 1758735*	Id.
44.	1 Ω resistance standard, No. 1758737*	Id.
45.	10 k Ω resistance standard, No. 270356*	Id.

12.2 Notes d'étude

2008

1.	100 pF capacitance standard, N° 01013	CEM, Espagne
2.	1 kg mass standard in platinum-iridium, 'A'	NPL, Royaume-Uni
3.	1 kg mass standard, No. 651	NPL, Royaume-Uni

2009

1.	Étalon de masse de 500 g en platine iridié, 'W1'	LNE-INM/Cnam, France
2.	Étalon de masse de 500 g en platine iridié, 'W2'	LNE-INM/Cnam, France
3.	Ionization chamber NE 2536/3, No. 17786 in low-energy x-rays	NRPA, Norvège
4.	100 pF capacitance standard, No. 01135	BEV, Autriche

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

La section Finances, administration et services généraux du BIPM est responsable du bon fonctionnement d'un large éventail de services de soutien comme les finances, les ressources humaines, les questions juridiques et autres.

Pendant l'année passée, la section s'est occupée de plus de 120 opérations de douane relatives à l'importation et à l'exportation d'étalons devant être étalonnés ou devant participer à des comparaisons ; elle a également organisé 14 recrutements et lancé un certain nombre d'appels d'offre pour l'achat d'équipements scientifiques et de services.

Suite à l'entrée en vigueur, le 2 mai 2008, des *Statut, Règlement et Instructions applicables aux membres du personnel*, la section a finalisé un certain nombre d'actions au cours de l'année passée, notamment en procédant à des changements et arrangements administratifs et en mettant en place un contrat pour les prestations de services de voyage.

Suite à une étude externe dont les objectifs étaient de comparer le régime de retraite du BIPM à celui d'autres organisations intergouvernementales, d'étudier les récentes évolutions des régimes de pension d'autres organisations internationales en termes à la fois de prestations et de contributions, et de présenter des recommandations afin de clarifier et compléter le Règlement de la Caisse de retraite du BIPM, la section a travaillé sur des propositions d'amendements au Règlement de la Caisse de retraite.

La section a également travaillé à l'élaboration d'un nouveau Règlement financier et a commencé à préparer de nouvelles politiques et règles comptables afin d'accroître l'efficacité et l'efficience de la gestion financière, de renforcer la responsabilité et la transparence, et de s'assurer de l'utilisation la plus efficace des ressources pour mettre en œuvre les priorités du programme de travail.

13.1 Comptes

Les comptes détaillés de l'exercice 2008 peuvent être consultés 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 2008.

13.2 Personnel

13.2.1 Engagements

- Mme Frédérique de Hargues, née le 11 juillet 1960 à Bouscat (France), de nationalité française, précédemment assistante de direction dans une société privée française, a été engagée en qualité de *secrétaire* à dater du 15 juillet 2008.
- Mme Aurélie Harmegnies, née le 26 août 1984 à Libourne (France), de nationalité française, diplômée de l'École Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Caen (France), précédemment stagiaire dans une société privée française, a été engagée en qualité de *assistante* à la section Temps, fréquences et gravimétrie à dater du 3 novembre 2008.
- Mme Laïla Dell'Oro, née le 12 septembre 1978 à Nantua (France), de nationalité française, précédemment assistante dans une société privée française, a été engagée en qualité de *secrétaire* à la section Finances, administration et services généraux à dater du 19 novembre 2008.
- M. Faraz Idrees, né le 5 août 1987 à Rawalpindi (Pakistan), de nationalité française, diplômé de l'Institut Universitaire de Technologie d'Orsay (France), a été engagé en qualité de *technicien* travaillant à mi-temps à la section Masse et à mi-temps à la section Chimie à dater du 23 février 2009.
- Mme Tiphaine Choteau, née le 17 septembre 1987 à Lille (France), de nationalité française, précédemment technicienne dans une société privée française, a été engagée en qualité de *technicienne* à la section Chimie à dater du 1^{er} avril 2009.
- M. Michael Kühne, né le 26 mars 1949 à Celle (Allemagne), de nationalité allemande, précédemment membre du Bureau de la présidence de la PTB, Braunschweig (Allemagne), a été nommé *sous-directeur – directeur désigné* du BIPM à dater du 1^{er} avril 2009, conformément à la décision du CIPM lors de sa 96^e session en novembre 2007.
- Mme Sigrid Arlen, née le 16 janvier 1977 à Villeneuve-St-Georges (France), de nationalité française, précédemment juriste à l'Office international du travail à Genève (Suisse), a été engagée en qualité de *conseiller juridique - administrateur* à la section Finances, administration et services généraux à dater du 27 avril 2009.

13.2.2 Promotions et changements de grade

- Mme Brigitte Perent, *administrateur*, responsable de la section Finances, administration et services généraux, a été promue *administrateur principal* à dater du 1^{er} janvier 2009.
- M. Alain Picard, *physicien principal* à la section Masse, a été promu *physicien chercheur principal* à dater du 1^{er} janvier 2009 et d'Adjoint au Chef de la section Masse à dater du 1^{er} avril 2009.
- M. Guy Ratel, *physicien principal* à la section Rayonnements ionisants, a été promu *physicien chercheur principal* à dater du 1^{er} janvier 2009.
- M. Rémi Cèbe, *assistant* à la section Finances, administration et services généraux, a été promu *conseiller juridique - administrateur* à dater du 1^{er} janvier 2009.
- M. Laurent Le Mée, *ingénieur informaticien* à la section Publications et Informatique, a été promu *informaticien principal* à dater du 1^{er} janvier 2009.
- M. Carlos Dias Nunes, *jardinier*, a été promu *jardinier principal* à dater du 1^{er} janvier 2009.
- Mme Maria J. Fernandes, *agent d'entretien*, a été promue *agent d'entretien principal* à dater du 1^{er} janvier 2009.
- Mme Janet Miles, précédemment *webmestre* et *rédacteur adjoint* à la section des publications du BIPM, a été nommée *responsable des publications* à dater du 1^{er} mars 2009.

13.2.3 Changements de titre

Les changements de titre ci-dessous résultent des modifications apportées à la liste des postes du tableau de classement des *Statut, Règlement et Instructions applicables aux membres du personnel* entrés en vigueur le 2 mai 2008 :

- M. Enrique Dominguez, précédemment *gardien*, devient *agent de sécurité principal* à dater du 1^{er} janvier 2009.
- M. Cesar Neves Dos Santos, précédemment *gardien*, devient *agent de sécurité principal* à dater du 1^{er} janvier 2009.
- Mme Angela Dominguez, précédemment *gardienne*, devient *agent de sécurité* à dater du 1^{er} janvier 2009.
- Mme Isabel Neves Dos Santos, précédemment *gardienne*, devient *agent de sécurité* à dater du 1^{er} janvier 2009.

13.2.4 Changements et transfert de postes

- Mme Angela Dominguez, précédemment *agent de sécurité*, devient *agent principal d'entretien* à dater du 4 mai 2009.
- Mme Isabel Neves Dos Santos, précédemment *agent de sécurité*, devient *hôtesse d'accueil* à dater du 4 mai 2009.

13.2.5 Chercheur associé

- M. Michael Petersen, né le 6 juillet 1977 à Copenhague (Danemark), de nationalité française, précédemment doctorant au LNE-SYRTE à Paris (France), a été engagé en qualité de Chercheur associé à la section Chimie à dater du 2 mars 2009.

13.2.6 Décès

- M. Rainer Köhler, *physicien principal*, responsable Qualité, Santé et Sécurité et responsable des relations avec l'ISO et l'ILAC depuis le 1^{er} novembre 1987, est décédé le 25 octobre 2008.

13.2.7 Départs

- Mme Danielle Saillard, *secrétaire principale* à la section Finances, administration et services généraux, a quitté le BIPM le 31 août 2008 après 15 années de service.
- Mme Juliette Varenne, *secrétaire*, a quitté le BIPM le 31 août 2008 après 6 années de service.
- M. Jeffrey H. Williams, responsable de la section Publications et informatique du BIPM depuis le 1^{er} décembre 2003, a quitté le BIPM le 20 novembre 2008.
- M. Rémi Cèbe, *conseiller juridique - administrateur* depuis le 21 juin 2006 à la section Finances, administration et services généraux, a quitté le BIPM le 22 mars 2009.

13.3 Bâtiments

13.3.1 Grand Pavillon

- Rénovation partielle de la décoration intérieure.
- Peinture de l'escalier entre le rez-de-chaussée et le sous-sol.

- Peinture de la cuisine et de la buanderie dans l'appartement du Directeur.
- Changement partiel de la tuyauterie de chauffage de la chaudière.

13.3.2 Petit Pavillon

- Rénovation partielle de la décoration intérieure.
- Entretien de la toiture.
- Nouvelle programmation du système de détection d'incendie.

13.3.3 Observatoire

- Rénovation des salles 4, 13 and 116.
- Changement partiel du système de conditionnement d'air dans les salles 1, 2, 3, 9 and 10.
- Entretien de la toiture.
- Rénovation de la salle 2, y compris le retrait du manobaromètre.

13.3.4 Bâtiment des rayons ionisants

- Rénovation des salles R8 et R17 du premier étage.
- Rénovation des installations sanitaires du rez-de-chaussée et du premier étage.
- Installation de quatre bureaux en "open-space" dans le hall du premier étage.

13.3.5 Lasers

- Changement de la porte d'infirmierie.
- Rénovation d'une salle au sous-sol afin d'y installer des équipements pour la section Chimie.

13.3.6 Nouveau Pavillon

- Changements des luminaires dans six bureaux du rez-de-chaussée.

13.3.7 Extérieurs et parc

- Changement partiel de la clôture.

13.4 Voyages : section Finance, administration et services généraux

- B. Perent et R. Cèbe ont assisté au 6^e atelier sur les pensions des organisations internationales, organisé par la Section des Pensions des Organisations Coordonnées et la Caisse commune des Pensions du personnel des Nations Unies, qui s'est tenu à l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), les 6 et 7 octobre 2008.
- B. Perent et S. Arlen se sont rendues à une réunion du Bureau international du travail à Genève (Suisse), le 5 mai 2009.
- B. Perent et S. Arlen ont assisté à un séminaire organisé par l'Institut international des sciences administratives sur l'administration supranationale à Genève (Suisse), les 14 et 15 mai 2009.
- B. Perent a assisté à un séminaire sur l'incapacité de travail à Bruxelles (Belgique), les 11 et 12 juin 2009.

14 SECRÉTARIAT (F. JOLY)

La charge de travail du secrétariat, dont le personnel est réduit depuis le début de 2008, reste lourde en raison du nombre élevé de réunions qui se tiennent au BIPM. Le secrétariat, en collaboration avec la section Finances, administration et services généraux, assure le bon fonctionnement des nombreuses réunions ayant lieu au BIPM et se charge de l'envoi des publications correspondantes. Ces réunions sont principalement celles des Comités consultatifs et de leurs groupes de travail ; certaines, comme pour le CCQM, sont complexes et se tiennent à différents endroits en même temps, avec des sessions en parallèle, au BIPM et à l'extérieur.

Parmi les autres responsabilités qui lui incombent, le secrétariat du BIPM est chargé de maintenir une base de données contenant les informations relatives à un grand nombre de nos contacts internationaux. Cette base a été modifiée et intégrée aux autres bases du BIPM.

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

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

L'atelier effectue des travaux mécaniques de haute précision pour les sections scientifiques du BIPM et il est reconnu à juste titre pour son excellence en matière d'ingénierie de précision. Les principales missions de l'atelier cette année ont été liées au développement de la balance du watt du BIPM et à la fabrication d'un certain nombre d'éléments demandés par la section Électricité afin de poursuivre la construction d'un condensateur calculable en collaboration avec le NMIA (Australie).

De plus, l'atelier du BIPM est le seul au monde à fabriquer des prototypes du kilogramme en platine iridié (exclusivement pour les États Membres du BIPM); il utilise pour cela un équipement spécialisé, ainsi que les compétences uniques du personnel de l'atelier.

L'atelier apporte également son aide, si nécessaire, lorsque des scientifiques en visite au BIPM apportent des étalons qui doivent être étalonnés ou participer à une comparaison. Enfin, les membres de l'atelier participent à un grand nombre de tâches liées à l'entretien du site et des laboratoires.

LISTE DES SIGLES UTILISÉS DANS LE PRÉSENT VOLUME

AFRIMETS	Système inter-africain de métrologie/Inter-Africa Metrology System
AIC	ILAC Accreditation Issues Committee
AIEA	Agence internationale de l'énergie atomique
AIG	Association internationale de géodésie
AIUB	Astronomisches Institut, Universität Bern, Berne (Suisse)
AMA	Agence mondiale antidopage
APMP	Asia/Pacific Metrology Programme
ARPANSA	Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency, Sydney et Melbourne (Australie)
A*STAR	Agency for Science, Technology and Research (Singapour)
ASE	Agence spatiale européenne
BARC	Bhabha Atomic Research Centre, Trombay (Inde)
BEV	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Vienne (Autriche)
BIPM	Bureau International des Poids et Mesures
BMC*	Meilleure aptitude de mesure/Best Measurement Capability (<i>voir</i> CMC)
BNC	Bayonet Neill-Concelman (connecteur)
CCAUV	Comité consultatif de l'acoustique, des ultrasons et des vibrations
CCEM	Comité consultatif d'électricité et magnétisme
CCL	Comité consultatif des longueurs
CCM	Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées
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

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

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 les systèmes de navigation par satellite à couverture globale /CCTF Working Group on GNSS Time-Transfer Standards
CGPM	Conférence générale des poids et mesures
CGSIC	Civil Global Positioning System Service Interface Committee
CIMMEC	International Congress on Mechanical Metrology
CIEMAT	Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Madrid (Espagne)
CIPM	Comité international des poids et mesures
CMC	Aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages/ Calibration and Measurement Capability
CMI	Český Metrologický Institut/Czech Metrological Institute, Prague (Rép. tchèque)
CNAM	Conservatoire national des arts et métiers, Paris (France)
CNES	Centre national d'études spatiales, Toulouse (France)
CNRS	Centre national de la recherche scientifique, Paris (France)
CODATA	Committee on Data for Science and Technology
Codex Alimentarius	: Commission du Programme mixte de la FAO et de l'OMS sur les normes alimentaires
CONICET	Argentine Council of Research/Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Buenos Aires (Argentine)
COOMET	Cooperation in Metrology among the Central European Countries
CPEM	Conference on Precision Electromagnetic Measurements
CRDS	Spectroscopie par absorption laser dans un résonateur optique en anneau/Cavity Ring-Down Spectroscopy/Spectrometer
CRRD	Centre régional de référence pour la dosimétrie de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) (Argentine)
DFM	Danish Fundamental Metrology, Lyngby (Danemark)
DIGENOR	Dirección General de Normas y Sistemas de Calidad, Santo Domingo (République dominicaine)

DIN	Deutsches Institut für Normung/ German Institute for Standardization, Berlin (Germany)
EAL	Échelle atomique libre
EDQM	Direction européenne de la qualité du médicament et soins de santé/European Directorate for the Quality of Medicines and HealthCare
EFTF	European Frequency and Time Forum
ESA*	Agence spatiale européenne/European Space Agency
EURAMET	(ex EUROMET) European Association of National Metrology Institutes
FAO	Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
FCS	Frequency Control Symposium
FIG	Fédération internationale des géomètres
FMI	Finnish Meteorological Institute, Helsinki (Finlande)
FTIR	Spectroscopie infrarouge par transformée de Fourier/Fourier Transform Infrared Technique
GCC	Gulf Cooperation Council
GGOS	Global Geodetic Observing System
GLONASS	Global Navigation Satellite System
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GSO	Gulf Standardization Organization
GUM	Glówny Urząd Miar/Central Office of Measures, Varsovie (Pologne)
GUM	Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure/ Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement
IAC	Coordination internationale Avogadro/International Avogadro Coordination
ICAG	Comparaison internationale de gravimètres absolus/ International Comparison of Absolute Gravimeters
ICARO	International Conference on Advances in Radiation Oncology
ICG	International Committee for GNSS
ICRM	International Committee for Radionuclide Metrology

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

ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurements
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, Piscataway, NJ (États-Unis)
IERS	Service international de la rotation terrestre et des systèmes de référence/International Earth Rotation and Reference Systems Service
IFCC	International Federation of Clinical Chemistry and Laboratory Medicine
IFIN-HH	Horia Halubei National Institute of Research and Development for Physics and Nuclear Engineering, Bucarest (Roumanie)
IGN	Instituto Geográfico Nacional, Madrid (Espagne)
IGS	International GNSS Service
ILAC	International Laboratory Accreditation Cooperation
IMEKO	International Measurement Confederation
INER	Institute of Nuclear Energy Research, Taipei (Taïpei chinois)
ININ	Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Mexico (Mexique)
INM	Institut national de métrologie, Bucarest (Roumanie)
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, Rio de Janeiro (Brésil)
INRiM	Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica, Turin (Italie)
IOPP	Institute of Physics Publishing, Bristol (Royaume-Uni)
IPQ	Instituto Português de Qualidade, Caparica (Portugal)
IRMM	Institut des matériaux et mesures de référence, Commission européenne/Institute for Reference Materials and Measurements, European Commission, Geel (Belgique)
ISCII	Institute of Health Carlos III, Madrid (Espagne)
ISO	Organisation internationale de normalisation
ISO REMCO	Organisation internationale de normalisation, Comité pour les matériaux de référence
ITN	Instituto Tecnológico e Nuclear, Savacém (Portugal)
IVS	International VLBI Service
JCDCMAS	Comité commun pour la coordination de l'assistance aux pays en voie de développement dans les domaines de la métrologie, de l'accréditation et de la normalisation/

	Joint Committee on Coordination of Assistance to Developing Countries in Metrology, Accreditation and Standardization
JCGM	Comité commun pour les guides en métrologie/ Joint Committee for Guides in Metrology
JCRB	Comité mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM/Joint Committee of the Regional Metrology Organizations and the BIPM
JCTLM	Comité commun pour la traçabilité en médecine de laboratoire/Joint Committee for Traceability in Laboratory Medicine
JRC	Centre commun de recherche/Joint Research Centre
KCDB	Base de données du BIPM sur les comparaisons clés/ BIPM Key Comparison Database
KRISS	Korea Research Institute of Standards and Science, Daejeon (Rép. de Corée)
KTP	Potassium Titanyle Phosphate
LAPP	Laboratoire d'Annecy-le-Vieux de Physique des Particules, Annecy-le-Vieux (France)
LATU	Laboratorio Tecnológico del Uruguay, Montevideo (Uruguay)
LGC	LGC (ex Laboratory of the Government Chemist), Teddington (Royaume-Uni)
LKB	Laboratoire Kastler Brossel, Paris (France)
LNE	Laboratoire national de métrologie et d'essais, 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-CETIAT	Laboratoire national de métrologie et d'essais, Centre technique des industries aéronautiques et thermique, Villeurbanne (France)
LNE-SYRTE	Laboratoire national de métrologie et d'essais, Systèmes de référence temps espace, Paris (France)
LNMRI	Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes, Rio de Janeiro (Brésil)
LNMRI-IRD	LNMRI Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Rio de Janeiro (Brésil)
METAS	Office fédéral de métrologie, Bern-Wabern (Suisse)

METCHEM	Comité technique sur la métrologie en chimie de l'EURAMET
MIKES	Mittatekniikan Keskus/Centre for Metrology and Accreditation, Helsinki (Finlande)
MKEH	Hungarian Trade Licensing Office, Budapest (Hongrie)
MRA	Arrangement de reconnaissance mutuelle du CIPM/ Mutual Recognition Arrangement
MSL	Measurement Standards Laboratory of New Zealand, Lower Hutt (Nouvelle-Zélande)
NCSLI	National Conference of Standards Laboratories, Boulder CO (États-Unis)
NEWMET	North-East and West Africa Metrology Programme (région de l'AFRIMETS)
NICT	National Institute of Information and Communications Technology, Tokyo (Japon)
NIM	National Institute of Metrology, Beijing (Chine)
NIS	National Institute for Standards, Le Caire (Égypte)
NIST	National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg MD (États-Unis)
NMC, A*STAR	National Metrology Centre, Agency for Science Technology and Research (Singapour)
NMi-VSL*	Nederlands Meetinstituut, Van Swinden Laboratorium (voir VSL)
NMIA	National Measurement Institute, Australia, Lindfield (Australie)
NMIJ AIST	National Metrology Institute of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Tsukuba (Japon)
NMISA	National Metrology Institute of South Africa, Pretoria and Cape Town (Afrique du Sud)
NML	National Metrology Laboratory, Dublin (Irlande)
NML-SIRIM	National Metrology Laboratory, SIRIM Berhad (Malaisie)
NMS	National Measurement System (Royaume-Uni)
NPL	National Physical Laboratory, Teddington (Royaume-Uni)
NPSL	National Physical and Standards Laboratory, Islamabad (Pakistan)
NRC	Conseil national de recherches du Canada, Ottawa (Canada)
NRC-INMS	Institut des étalons nationaux de mesure du Conseil national de recherches du Canada, Ottawa (Canada)

OIML	Organisation internationale de métrologie légale
OIT	Organisation internationale du travail
OMM	Organisation météorologique mondiale
OMP	Observatoire Midi-Pyrénées, Toulouse (France)
OMS	Organisation mondiale de la santé
ONERA	Office national d'études et recherches aérospatiales, Palaiseau (France)
ONUDI	Organisation des Nations unies pour le développement industriel
ORB	Observatoire royal de Belgique, Bruxelles (Belgique)
PPP	Logiciel de positionnement précis/Precise Point Positioning
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig and Berlin (Allemagne)
PTTI	Precise Time and Time Interval Applications and Planning Meeting
REUNIAM	Redefinition of the SI base unit ampere (projet iMERA)
RWTH	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule/École supérieure polytechnique de Rhénanie-Westphalie, Aix-la- Chapelle (Allemagne)
SADCMET	Southern African Development Community Cooperation in Measurement Traceability (région de l'AFRIMETS)
SASO	Saudi Arabian Standards Organization, Riyad (Arabie saoudite)
SI	Système international d'unités
SIM	Sistema Interamericano de Metrología/Système interaméricain de métrologie
SIR	Système international de référence pour les mesures d'activité d'émetteurs de rayonnement gamma
SMU	Slovenský Metrologický Ústav/Slovak Institute of Metrology, Bratislava (Slovaquie)
SNS	Réseau supraconducteur-normal-supraconducteur/ Superconductor-normal metal-superconductor
SP	Technical Research Institute of Sweden, Borås (Suède)
SRC	Space Research Centre, Varsovie (Pologne)
SRP	Photomètre étalon de référence/Standard Reference Photometer
SUNAMCO	Commission C2 « Symbols, Units, Nomenclature, Atomic Masses and Fundamental Constants » de l'UIPPA
TAI	Temps atomique international

TAIPPP	International Atomic Time Precise Point Positioning
TDCR	Rapport des coïncidences triples aux coïncidences doubles/Triple-to-Double Coincidence Ratio Technique
TT	Temps terrestre
T2L2	Time Transfer by Laser Link
TWSTFT	Comparaison de temps et de fréquence par aller et retour sur satellite/Two-Way Satellite Time and Frequency Transfer
UAI	Union astronomique internationale
UBA	Umweltbundesamt/Federal Environmental Agency, Dessau-Roßlau (Allemagne)
UFFC	IEEE Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control Society, <i>voir</i> IEEE
UGGI	Union géodésique et géophysique internationale
UICPA	Union internationale de chimie pure et appliquée
UIPPA	Union internationale de physique pure et appliquée
UIT	Union internationale des télécommunications
UIT-R	Secteur des radiocommunications de l'UIT
USNO	Observatoire naval des États-Unis d'Amérique, Washington DC (États-Unis)
USP	United States Pharmacopeia, Rockville MD (États-Unis)
UTC	Temps universel coordonné
VAMAS	Versailles Project on Advanced Materials and Standards
VIM	Vocabulaire international de métrologie – Concepts fondamentaux et généraux et termes associés (3 ^e édition)
VLBI	Interférométrie à très longue base/Very Long Baseline Interferometry
VNIIM	Institut de métrologie D.I. Mendeleev, Rostekhnregulirovaniye de Russie, Saint-Petersbourg (Féd. de Russie)
VNIFTRI	Institute for Physical-Technical and Radiotechnical Measurements, Rostekhnregulirovaniye de Russie (Féd. de Russie)
VSL	VSL (ex NMI-VSL), Delft (Pays-Bas)
WBTM	Watt Balance Technical Meeting
XPS	Spectroscopie de photoélectrons induits par rayons x/X-ray Photoelectron Spectroscopy