

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

(1^{er} juillet 2009 – 30 juin 2010)

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 2009 – 30 juin 2010)

Note sur l'utilisation du texte anglais (*voir* page 198)

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-13 978-92-822-2241-6

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 2009 – 30 juin 2010) 21

- 1 Introduction **23**
 - 1.1 Introduction générale et résumé des activités de l'année **23**
 - 1.2 Programme de travail scientifique et collaborations internationales du BIPM **26**
 - 1.3 Réunion du CIPM **33**
 - 1.4 Comité commun pour les guides en métrologie (JCGM) **34**
 - 1.5 Ateliers du BIPM sur les grandeurs physiologiques et unités du SI et sur la métrologie à l'échelle nanométrique **35**
 - 1.6 Le Système Qualité du BIPM **36**
 - 1.7 Santé et sécurité **36**
 - 1.8 Commissions du personnel **37**
 - 1.9 Travail scientifique au BIPM **38**
 - 1.10 Publications, conférences et voyages du directeur et du sous-directeur **49**
 - 1.10.1 Publications extérieures **49**
 - 1.10.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **50**
 - 1.11 Activité du directeur et du sous-directeur en liaison avec des organisations extérieures **51**
- 2 Masses **52**
 - 2.1 Étalonnages **52**
 - 2.1.1 Certificats **52**
 - 2.1.2 Laboratoire d'étalonnage de masse **53**
 - 2.1.3 Détermination de la masse volumique de l'air **53**
 - 2.1.4 Susceptomètre du BIPM **54**
 - 2.2 Balance automatisée de portée maximale 100 g pour soutenir le programme d'étalonnages de masses du BIPM **54**
 - 2.3 Balances servant aux programmes de recherche en cours de développement **55**

- 2.4 Projet de collaboration internationale sur la constante d'Avogadro **55**
 - 2.5 Sous-groupe de travail 1 du Groupe de travail du CCM sur les étalons de masse : comparaison de masse utilisant des artefacts de sorption **56**
 - 2.6 Étude sur la contamination de masse dans le vide à l'aide d'un manomètre à vide **57**
 - 2.7 Étude sur le gradient gravimétrique **58**
 - 2.8 Création et conservation d'un ensemble d'étalons de masse **58**
 - 2.9 Coopération trilatérale entre le NPL, le METAS et le BIPM **59**
 - 2.10 Masse volumique et volume **60**
 - 2.10.1 Masse volumique et volume d'étalons de masse de plus de 300 g **60**
 - 2.10.2 Masse volumique et volume d'étalons de masse de moins de 100 g **61**
 - 2.11 Pression **61**
 - 2.12 Générateur d'humidité **61**
 - 2.13 Conférences et voyages : Département des masses **62**
 - 2.13.1 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites, formation) **62**
 - 2.14 Activités liées au travail des Comités consultatifs **64**
 - 2.15 Visiteurs du Département des masses **64**
- 3 Temps, fréquences et gravimétrie **65**
- 3.1 Temps atomique international (TAI) et Temps universel coordonné (UTC) **65**
 - 3.2 Algorithmes pour les échelles de temps **66**
 - 3.2.1 Stabilité de l'EAL **66**
 - 3.2.2 Exactitude du TAI **66**
 - 3.2.3 Échelles de temps atomique indépendantes **67**
 - 3.2.4 Représentations locales de l'UTC dans les laboratoires nationaux telles que diffusées par les systèmes GNSS **68**
 - 3.3 Étalons primaires de fréquence et représentations secondaires de la seconde **68**
 - 3.4 Liaisons horaires **69**
 - 3.4.1 Mesures utilisant le code du Global Positioning System (GPS) et du Global Navigation Satellite System (GLONASS) **70**

- 3.4.2 Mesures de phase et de code des récepteurs géodésiques **70**
- 3.4.3 Comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite **71**
- 3.4.4 Incertitudes sur les liaisons horaires du TAI **72**
- 3.4.5 Étalonnage des retards des équipements de comparaisons de temps et de fréquences **72**
- 3.5 Comparaisons clés **73**
- 3.6 Pulsars **73**
- 3.7 Références spatio-temporelles **74**
- 3.8 Travaux sur les peignes de fréquence **74**
- 3.9 Service d'étalonnage et de mesurage **75**
- 3.10 Cuves à iode **75**
- 3.11 Gravimètre FG5-108 **75**
- 3.12 Huitième comparaison internationale de gravimètres absolus, ICAG-2009 **76**
- 3.13 Publications, conférences et voyages : Département du temps, des fréquences et de la gravimétrie **77**
 - 3.13.1 Publications extérieures **77**
 - 3.13.2 Publications du BIPM **78**
 - 3.13.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **79**
- 3.14 Activités en liaison avec des organisations extérieures **82**
- 3.15 Activités liées au travail des Comités consultatifs **83**
- 3.16 Visiteurs du Département du temps, des fréquences et de la gravimétrie **84**
- 3.17 Chercheurs invités **84**
- 4 Électricité **85**
 - 4.1 Potentiel électrique **85**
 - 4.2 Résistance électrique et impédance **86**
 - 4.2.1 Mesures de résistance en courant continu et effet Hall quantique **86**
 - 4.2.2 Conservation d'un étalon de référence de capacité **87**
 - 4.3 Condensateur calculable **87**
 - 4.4 Comparaisons clés en continu du BIPM d'étalons électriques **89**
 - 4.5 Étalonnages **90**
 - 4.6 Publications, conférences et voyages : Département de l'électricité **91**
 - 4.6.1 Publications extérieures **91**

- 4.6.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **92**
- 4.7 Activités en liaison avec des organisations extérieures **93**
- 4.8 Activités liées au travail des Comités consultatifs **93**
- 4.9 Visiteurs du Département de l'électricité **94**
- 5 Rayonnements ionisants **95**
 - 5.1 Rayons x et γ **95**
 - 5.1.1 Étalons et équipements pour la dosimétrie **95**
 - 5.1.2 Comparaisons de dosimétrie **98**
 - 5.1.3 Détermination des caractéristiques d'étalons nationaux pour la dosimétrie **101**
 - 5.2 Radionucléides **101**
 - 5.2.1 Système international de référence (SIR) pour les radionucléides émetteurs de rayonnement gamma **101**
 - 5.2.2 Spectrométrie gamma **103**
 - 5.2.3 Extension du SIR à des radionucléides à courte durée de vie **103**
 - 5.2.4 Extension du SIR aux émetteurs de rayonnement bêta pur **104**
 - 5.2.5 Comparaison de mesures d'activité du ^{85}Kr du CCRI **105**
 - 5.2.6 Comparaison de mesures d'activité du ^3H du CCRI **105**
 - 5.2.7 Mesures d'activité du ^3H **106**
 - 5.2.8 Comparaison de l'évaluation de l'incertitude du CCRI **106**
 - 5.3 Thermométrie **107**
 - 5.4 Publications, conférences et voyages : Département des rayonnements ionisants **107**
 - 5.4.1 Publications extérieures **107**
 - 5.4.2 Rapports BIPM **110**
 - 5.4.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **110**
 - 5.5 Activités en liaison avec des organisations extérieures **112**
 - 5.6 Activités liées au travail des Comités consultatifs **113**
 - 5.7 Visiteurs du Département des rayonnements ionisants **113**
 - 5.8 Chercheurs invités **113**
- 6 Chimie **114**
 - 6.1 Programme sur la métrologie des gaz **114**

- 6.1.1 Programme de comparaisons de photomètres mesureurs d'ozone **114**
 - 6.1.2 Comparaisons à l'aide de l'équipement pour le tirage en phase gazeuse **115**
 - 6.1.3 Équipement pour les comparaisons d'étalons de monoxyde d'azote **115**
 - 6.1.4 Maintenance de l'équipement pour le dioxyde d'azote et coordination des comparaisons CCQM-K74 et CCQM-P110 **116**
 - 6.1.5 Comparaison clé d'étalons de méthane **116**
 - 6.1.6 Formaldéhyde **116**
 - 6.1.7 Mise au point d'un photomètre étalon de référence équipé d'un laser et mesure de la section efficace d'absorption de l'ozone **117**
 - 6.2 Programme d'analyse organique **118**
 - 6.2.1 Mise au point des méthodes **119**
 - 6.2.2 Analyse de pureté du calibrateur primaire de pesticide (aldrine) **120**
 - 6.2.3 Études des calibrateurs de peptides **120**
 - 6.2.4 Coordination des comparaisons du CCQM pour l'évaluation de la pureté **122**
 - 6.2.5 Comparaison de pureté CCQM-K55.a (estradiol) **122**
 - 6.2.6 Comparaison de pureté CCQM-K55.b (aldrine) **122**
 - 6.3 Activités liées au JCTLM **123**
 - 6.4 Activités liées à la métrologie en matière de bioanalyse **125**
 - 6.5 Activités liées au travail des Comités consultatifs **125**
 - 6.6 Comparaisons du CCQM coordonnées par le BIPM **126**
 - 6.7 Activités en liaison avec des organisations extérieures **126**
 - 6.8 Publications, conférences et voyages : Département de la chimie **127**
 - 6.8.1 Publications extérieures **127**
 - 6.8.2 Publications du BIPM **128**
 - 6.8.3 Conférences et voyages **128**
 - 6.9 Visiteurs du Département de la chimie **131**
 - 6.10 Chercheurs invités **131**
- 7 Balance du watt **132**
- 7.1 Balance du watt **132**
 - 7.2 Publications, conférences, voyages **135**
 - 7.2.1 Publications extérieures **135**

- 7.2.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **136**
 - 7.3 Visiteurs **137**
- 8 Le CIPM MRA **138**
 - 8.1 JCRB **138**
 - 8.1.1 Guides et documents de principe concernant le CIPM MRA **138**
 - 8.1.2 Statut des CMCs temporairement retirées de la KCDB **138**
 - 8.1.3 Politique en matière de traçabilité dans le CIPM MRA **139**
 - 8.1.4 Système Qualité **140**
 - 8.1.5 Visites sur site par les pairs **140**
 - 8.1.6 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) : JCRB **141**
 - 8.1.7 Visiteurs **142**
 - 8.2 La base de données du BIPM sur les comparaisons clés, KCDB **142**
 - 8.2.1 Contenu de la KCDB **142**
 - 8.2.2 Visites du site de la KCDB **146**
 - 8.2.3 Modification du site de la KCDB **147**
 - 8.2.4 Publicité et Newsletters de la KCDB **147**
 - 8.2.5 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) : KCDB **147**
 - 8.2.6 Activités en liaison avec des organisations extérieures **148**
 - 8.2.7 Activités liées au travail des Comités consultatifs **148**
- 9 Activités de coordination et collaboration internationales **149**
 - 9.1 Collaboration avec d'autres organisations intergouvernementales et organismes internationaux **149**
 - 9.1.1 Réunion quadripartite **149**
 - 9.1.2 ILAC **149**
 - 9.1.3 ISO **151**
 - 9.1.4 OIML **151**
 - 9.1.5 OMM **152**
 - 9.1.6 ONUDI **152**
 - 9.2 Comités communs **153**
 - 9.2.1 JCGM **153**

- 9.2.2 JCTLM **154**
- 9.3 Promotion de la Convention du Mètre **154**
 - 9.3.1 Journée mondiale de la métrologie 20 mai 2010 **154**
 - 9.3.2 Adhésions **154**
- 9.4 Ateliers **155**
 - 9.4.1 Ateliers sur les grandeurs physiologiques et les unités du SI **155**
 - 9.4.2 La métrologie à l'échelle nanométrique **158**
 - 9.4.3 Atelier commun à l'OMM et au BIPM intitulé « Measurement Challenges for Global Observation Systems for Climate Change Monitoring: Traceability, Stability and Uncertainty » **159**
 - 9.4.4 Dixième anniversaire du CIPM MRA **161**
- 10 Communication et Information **162**
 - 10.1 Généralités **162**
 - 10.2 Rapports du CIPM et de ses Comités Consultatifs **163**
 - 10.3 *Metrologia* **164**
 - 10.4 Site internet du BIPM **166**
 - 10.5 Technologies de l'information **167**
 - 10.6 Secrétariat **168**
 - 10.7 Bibliothèque **169**
 - 10.8 Voyages (conférences et visites) : section Communication et Information **169**
- 11 Réunions et exposés au BIPM **170**
 - 11.1 Réunions **170**
 - 11.2 Présentations au BIPM **171**
- 12 Certificats et Notes d'étude **172**
 - 12.1 Certificats **172**
 - 12.2 Notes d'étude **176**
- 13 Département des finances, de l'administration et des services généraux **177**
 - 13.1 Comptes **178**
 - 13.2 Personnel **179**
 - 13.2.1 Engagements **179**
 - 13.2.2 Changements de titres **180**
 - 13.2.3 Changements de postes et transfert **181**
 - 13.2.4 Chercheurs associés **181**

- 13.2.5 Départs **182**
- 13.3 Bâtiments **182**
 - 13.3.1 Pavillon de Breteuil **182**
 - 13.3.2 Observatoire **182**
 - 13.3.3 Bâtiment des rayonnements ionisants **183**
 - 13.3.4 Bâtiment des lasers **183**
 - 13.3.5 Nouveau Pavillon **183**
 - 13.3.6 Ensemble des bâtiments **183**
 - 13.3.7 Extérieurs et parc **183**
- 13.4 Voyages : Département des finances, de l'administration et des services généraux **183**
- 14 Atelier de mécanique **184**

Liste des sigles utilisés dans le présent volume 185

ÉTATS MEMBRES ET ASSOCIÉS À LA CONFÉRENCE GÉNÉRALE

au 30 juin 2010

États Membres

Afrique du Sud	Irlande
Allemagne	Israël
Argentine	Italie
Australie	Japon
Autriche	Kazakhstan
Belgique	Kenya
Brésil	Malaisie
Bulgarie	Mexique
Cameroun	Norvège
Canada	Nouvelle-Zélande
Chili	Pakistan
Chine	Pays-Bas
Corée (Rép. de)	Pologne
Corée (Rép. populaire démocratique de)	Portugal
Croatie	Roumanie
Danemark	Royaume-Uni de Grande- Bretagne et d'Irlande du Nord
Dominicaine (Rép.)	Russie (Fédération 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
Bangladesh	Géorgie
Bélarus	Ghana
Bolivie (État plurinational de)	Hong Kong, Chine
CARICOM	Jamaïque
Costa Rica	Lettonie
Cuba	Lituanie
Équateur	

.../...

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 (Rules of procedure for the Consultative Committees (CCs) created by the CIPM, CC working groups and CC workshops, 2009, CIPM-D-01). 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.

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 2010

Directeur : M. A.J. Wallard

Sous-directeur/Directeur désigné : M. M. Kühne

Masses : M. R.S. Davis

Mme P. Barat, Mme H. Fang, Mme C. Goyon-Taillade, M. F. Idrees¹,
M. A. Kiss, M. A. Picard

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

Mme A. Harmegnies, M. Z. Jiang, Mme H. Konaté, M. W. Lewandowski,
Mme G. Panfilo, M. G. Petit, M. L. Robertsson, M. L. Tisserand

Électricité : M. M. Stock

M. M.P. Bradley, M. R. Chayramy, M. N.E. Fletcher, M. R. Goebel,
M. A. Jaouen, Mme E. de Mirandés, 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. R.D. Josephs, M. P. Moussay, M. M. Petersen, Mme J. Viallon,
M. S.W. Westwood

¹ Également à la chimie

Finances, administration et services généraux : Mme B. Perent

Mme S. Arlen, M. F. Ausset, Mme A. Da Ponte, Mme L. Dell'Oro,
M. C. Dias Nunes, Mme D. Etter, Mme M.-J. Fernandes, Mme M.-J. Martin,
Mme A. Mendes de Matos, Mme I. Neves, M. A. Zongo

Communication et information : Mme F. Joly

Mme N. De Sousa Dias, Mme C. Fellag-Ariouet, Mme F. de Hargues,
M. L. Le Mée, Mme J.R. Miles, Mme C. Planche, M. R. Sitton

Qualité, santé et sécurité : M. B. Coehlo**Coordination et collaboration internationales**

M. A.S. Henson, Mme S. Maniguet², Mme C. Thomas

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

M. P. Benoit, M. F. Boyer, M. M. de Carvalho, M. E. Dominguez³,
M. P. Lemartrier, M. C. Neves³, M. S. Segura, M. B. Vincent

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

² Également à la chimie

³ Également aux services généraux

Rapport du directeur
sur l'activité et la gestion
du Bureau international
des poids et mesures
(1^{er} juillet 2009 – 30 juin 2010)

1 INTRODUCTION

1.1 Introduction générale et résumé des activités de l'année

Le présent rapport concerne la première année du programme de travail de 2009 à 2012 qui a été approuvé par la Conférence générale des poids et mesures (CGPM) à sa 23^e réunion (2007). En raison du calendrier des réunions de la CGPM, l'année 2009-2010 est également consacrée à l'organisation de la 24^e réunion de la CGPM qui aura lieu en 2011, ainsi qu'à la préparation des documents y afférents. Le travail scientifique et de collaboration internationale du BIPM sera abordé plus en détail par la suite, mon objectif dans la présente introduction étant de donner au lecteur un aperçu du travail de l'année et de mettre en évidence un certain nombre de réussites et de sujets particulièrement importants pour la métrologie internationale. Le programme de travail soumis à la CGPM lors de sa 23^e réunion prévoyait de façon détaillée les activités du BIPM, notamment celles scientifiques, ainsi que les services offerts qui y sont associés, et donnait les raisons pour lesquelles le BIPM était l'organisation la mieux placée pour entreprendre ces travaux. Le programme de travail qui commencera en 2013 a été préparé selon le même schéma. Nous sommes parfaitement conscients que le BIPM se doit de répondre aux besoins hautement prioritaires définis par ses principaux clients et parties prenantes, à savoir les laboratoires nationaux de métrologie de ses États Membres, et que les budgets alloués à la métrologie dans le monde entier sont mis à rude épreuve. Les délégations présentes à la 24^e réunion de la CGPM débattront sans aucun doute des activités et du budget proposés dans le programme de travail pour les années 2013 à 2016. Cependant, il est essentiel, avant tout, de s'assurer que les propositions du BIPM ont pu être examinées de façon approfondie lors des réunions des Comités consultatifs du CIPM, et qu'elles ont été définies selon des critères de priorité. Cela a bien été le cas, et il est à noter que la consultation est désormais encore plus large car le nombre d'organisations intergouvernementales et d'organismes internationaux avec lesquels nous coopérons a fortement augmenté. C'est certainement la preuve la plus évidente et la plus convaincante que nous puissions donner aux gouvernements de l'intérêt de nos activités et des collaborations que nous avons établies afin que les meilleures pratiques métrologiques, ainsi que le Système international d'unités (SI), gagnent de nouveaux domaines d'application. Ces activités requièrent finances et ressources mais, bien que

celles-ci soient limitées, je suis convaincu que l'efficacité et la capacité du BIPM à répondre à ses engagements sont des facteurs clés de son succès et que ces atouts auront, je l'espère, une influence considérable sur les discussions d'octobre 2011.

L'un des points soulevés lors de la réunion de la CGPM en 2007 a porté sur le fait que le BIPM devrait avoir des contacts plus réguliers avec les gouvernements entre les réunions de la CGPM. Bien que différents rapports officiels soient envoyés aux gouvernements, il est apparu nécessaire que le BIPM trouve un moyen de leur transmettre rapidement et clairement des informations d'importance. Un second *Rapport abrégé* a ainsi été publié au début de 2010, l'objectif étant d'attirer l'attention de la communauté de la métrologie, ainsi que des représentants des gouvernements, sur certains faits majeurs et sujets d'intérêt. J'espère que ces rapports abrégés, ainsi que la *KCDB Newsletter*, vous sont utiles : ils sont conçus pour vous tenir informés et viennent en complément des rapports officiels et des échanges d'informations qui peuvent avoir lieu lors des réunions entre les directeurs des laboratoires nationaux de métrologie ou entre les experts des Comités consultatifs. Comme nombre d'entre vous le savent, nous prévoyons d'inviter les États Membres à assister à une réunion qui serait probablement organisée en mai 2011, préalablement à la réunion de la CGPM en octobre 2011. Cette réunion, qui se tiendra donc une fois que les documents concernant la CGPM auront été distribués, permettra de discuter de façon informelle du programme de travail proposé pour le BIPM, avant que ne se tienne la réunion de la CGPM.

L'un des mes objectifs a été de promouvoir le travail du BIPM le plus largement possible et d'encourager de nouveaux États à devenir Membres ou Associés. Je suis donc très heureux de vous annoncer que la République du Kenya, auparavant Associée, est devenue État Membre le 1^{er} janvier 2010, et que la République du Ghana et la République populaire du Bangladesh sont devenues Associées les 17 septembre 2009 et 29 mars 2010, respectivement. Les négociations avec un certain nombre d'autres États sont en bonne voie, et je suis persuadé que nous pourrions compter plusieurs autres nouveaux Membres ou Associés d'ici la réunion de la CGPM en 2011.

Ce *Rapport du directeur* sera le dernier que je rédigerai car je prends ma retraite à la fin de décembre 2010. Cela a été un privilège de servir la métrologie internationale et je suis reconnaissant à ceux qui m'ont offert leur aide et leur amitié dans l'exercice de mes fonctions. Ma mission a été facilitée par la réactivité des membres du personnel du BIPM face à un

monde en pleine évolution, ce qui a permis de fonder le programme scientifique du BIPM sur des bases saines et de l'ancrer solidement dans les besoins des laboratoires nationaux de métrologie et de nos parties prenantes, même si, pour des raisons financières, nous avons eu à prendre des décisions difficiles concernant les priorités à donner aux activités du BIPM. J'ai été particulièrement heureux de constater l'augmentation du nombre de personnes venant travailler au BIPM dans le cadre d'une affectation temporaire ou d'un détachement de courte durée. De nouvelles idées et compétences sont ainsi apportées au BIPM, la continuité de ses travaux, qui est un facteur essentiel, étant assurée par le personnel permanent. De plus, ces coopérations renforcent les liens entre le BIPM et les laboratoires qui envoient des membres de leur personnel en détachement. En considérant les années passées, je me rends pleinement compte du nombre considérable de changements que le BIPM a vécus, parmi lesquels des mises à jour et des modifications de règles et pratiques internes.

Il ne fait aucun doute que le travail de collaboration internationale du BIPM a fortement augmenté ces dernières années, aussi bien au sein des départements scientifiques qu'au niveau de la direction du BIPM. Nous avons établi un nombre croissant de partenariats et de collaborations stratégiques avec des entités spécialisées, ainsi qu'avec des organisations intergouvernementales et des organismes internationaux. Cela constitue, je le crois, une étape importante dans l'accomplissement de notre mission qui est d'assurer l'uniformité mondiale des mesures, car cela nous permet de transmettre à ces organisations et organismes partenaires notre savoir en matière de traçabilité et d'incertitude, et de les encourager à adopter les meilleures pratiques de mesure, ainsi que le SI, dans de nouveaux domaines d'application.

Le BIPM dispose, je le pense, des atouts nécessaires, tant du point de vue scientifique qu'institutionnel, pour envisager l'avenir et je souhaite à M. Michael Kühne, mon successeur, tous mes vœux de réussite pour relever ces défis.

1.2 Programme de travail scientifique et collaborations internationales du BIPM

Parmi les principales activités du BIPM figurent :

- la mise à disposition, pour les laboratoires nationaux de métrologie des États Membres, des équipements de référence internationaux uniques afin de pouvoir effectuer des comparaisons, des étalonnages et des études de manière rentable, et l'amélioration de ces équipements ;
- la collaboration avec d'autres organismes ayant des missions et des intérêts similaires ou complémentaires afin de faire avancer la métrologie au niveau mondial ;
- la conservation et la mise à jour des étalons primaires qui réalisent les unités du SI afin de répondre aux besoins métrologiques ;
- la promotion vigoureuse de la métrologie ; et
- la mise en œuvre du CIPM MRA afin de répondre aux besoins nationaux et internationaux en matière d'uniformité mondiale des mesures et d'aider à la réduction des obstacles techniques au commerce.

L'ensemble de ces activités ont fait l'objet d'un travail intense et ont évolué au cours de l'année passée.

Comme nous le préciserons ultérieurement, des progrès significatifs ont été effectués en ce qui concerne notre projet phare, la balance du watt, ainsi que les équipements qui seront nécessaires à la conservation et à la dissémination de l'unité de masse une fois que le kilogramme aura été redéfini. L'équipe de la balance du watt a été renforcée : des scientifiques de divers départements du BIPM l'ont rejointe et du personnel a été engagé à titre permanent ou dans le cadre d'un contrat de courte durée. L'expérience de la balance du watt fonctionne bien pour ce qui est des essais initiaux et fournit déjà des résultats hautement reproductibles. Elle présentera de meilleures performances lorsqu'elle sera installée sur le site spécialement construit à cette fin.

Le Département des masses se prépare à changer de directeur : A. Picard, directeur adjoint, succédera à R. Davis, directeur du Département, qui part à la retraite le 1^{er} novembre 2010. Par ailleurs, le laboratoire d'étalonnages de masses de 1 kg est en cours de rénovation afin qu'un nouveau comparateur de masses dans le vide puisse y être installé. Ce nouveau comparateur viendra en complément de celui existant et remplacera un comparateur

devenu obsolète. Cet aménagement du laboratoire visant à gagner plus de place et cette amélioration de l'équipement se justifient en grande partie par la nécessité pour le BIPM de continuer à assurer la traçabilité au kilogramme, une fois que celui-ci aura été redéfini. Une autre évolution majeure concerne la création d'un ensemble d'étalons de masse de 1 kg ; ce projet est déjà bien avancé. La masse obtenue par moyenne pondérée des masses des éléments de cet ensemble sera plus robuste et plus stable que la masse du prototype international du kilogramme, et pourra être étroitement liée aux réalisations les plus exactes de la nouvelle définition du kilogramme.

Le Département du temps, des fréquences et de la gravimétrie continue à produire chaque mois la *Circulaire T* dans un délai de quelques jours à partir de la réception de l'ensemble des données des laboratoires participants. Treize étalons primaires de fréquence participent désormais au calcul du TAI dont la stabilité est estimée à 4×10^{-16} pour des durées moyennes d'un mois. La technique de positionnement précis (PPP) du GPS est désormais utilisée pour 15 des liaisons horaires calculées pour le TAI. En plus des activités traditionnelles dans le domaine du temps, le personnel du Département continue à superviser la comparaison clé de fréquences de laser, désormais conduite par des laboratoires d'organisations régionales de métrologie, ainsi que la comparaison clé de gravimètres absolus. Lors de la comparaison internationale de gravimètres absolus qui s'est achevée en octobre 2009, l'ICAG-2009, une étude pilote a également été réalisée pour les participants non signataires du CIPM MRA.

Dans le Département de l'électricité, la mise en service initiale du condensateur calculable, en collaboration avec le NMIA (Australie), a constitué l'un des plus passionnants progrès cette année. Répondre aux exigences strictes concernant la structure mécanique et les systèmes électriques et optiques a été un véritable défi. Le NMIA a fourni les barres d'électrodes définitives au BIPM, ce qui a permis de procéder à l'assemblage final du condensateur. Le Département a également mis tout en œuvre pour effectuer des comparaisons de tension sur site dans le cadre du programme de plus en plus dense de comparaisons pour les laboratoires nationaux de métrologie.

Le Département des rayonnements ionisants a conduit les deux premières comparaisons de dosimétrie sur site dans des faisceaux d'accélérateurs à l'aide du calorimètre à graphite voyageur du BIPM. Le nouvel étalon primaire pour la dosimétrie aux doses mammographiques est pleinement

opérationnel et deux premières comparaisons ont été menées à bien. Des scientifiques invités venant de quatre laboratoires nationaux de métrologie ont contribué à mettre en place les trois premières comparaisons de curiethérapie, et le Département respecte ses objectifs concernant son programme de comparaisons et de déterminations des caractéristiques d'étalons pour les laboratoires nationaux de métrologie.

Dix-sept comparaisons en continu du BIPM de mesures d'activité de radionucléides, effectuées dans le cadre unique du Système de référence international (SIR) ont eu lieu cette année et ont inclus pour la première fois des mesures d'activité du radionucléide ^{64}Cu . Étant donné le succès de la première comparaison d'activité du radionucléide à courte durée de vie $^{99\text{m}}\text{Tc}$, effectuée à l'aide de l'instrument de transfert du SIR, d'autres comparaisons sont en cours de préparation. De considérables efforts ont été déployés afin de mettre au point la technique du rapport des coïncidences triples aux coïncidences doubles (TDCR) pour les mesures d'activité afin d'étendre le SIR aux émetteurs de rayonnement bêta pur.

Dans le domaine de la chimie, les activités de métrologie des gaz se poursuivent afin d'établir l'équivalence internationale des étalons de gaz pour le contrôle de la qualité de l'air et la surveillance du changement climatique. Elles comprennent, en particulier, des comparaisons d'étalons de référence mesurant d'ozone, de monoxyde d'azote (afin de mettre en place un laboratoire central d'étalonnage pour le réseau du programme de veille de l'atmosphère globale de l'Organisation météorologique mondiale - OMM), de dioxyde d'azote et de méthane. En préparant soigneusement les matériaux purs destinés à être utilisés comme étalons primaires et en étudiant les résultats de comparaisons, l'équipe en charge de l'analyse organique parvient à identifier des effets jusqu'alors inconnus, ou non évalués, dus à la présence d'impuretés de structure apparentée, ou d'autres types, ou dépendant de la méthode d'analyse utilisée. La tendance est à l'étude de substances de poids moléculaire élevé, en particulier celles présentant un intérêt dans le domaine de la santé, et à l'extension des mesures traçables au SI, activité qui comprend un projet sur l'insuline mené en collaboration avec l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et le National Institute of Biological Standards and Control (NIBSC, Royaume-Uni de Grande Bretagne et d'Irlande du Nord).

En 2009, le BIPM a continué à renforcer ses collaborations et ses liens avec un certain nombre d'organisations intergouvernementales et d'organismes internationaux. Notre travail avec l'OMM s'intensifie et nous avons organisé

conjointement un symposium sur le vaste sujet de la métrologie et du changement climatique, et sur la question de savoir comment améliorer les techniques de contrôle par satellite, au sol ou autres, par l'adoption des meilleures pratiques métrologiques. Des sessions parallèles de discussion, menées par des experts en la matière, ont contribué à ce que nos collègues de la communauté météorologique s'engagent à tirer davantage parti des compétences des laboratoires nationaux de métrologie.

Cet atelier a constitué pour le BIPM un pas en avant important car, même si de nombreux contacts de travail ont été établis dans diverses disciplines entre les métrologistes et certains acteurs des réseaux d'observation (comme le réseau du programme de veille de l'atmosphère globale ou celui des systèmes d'observation de la Terre), l'atelier a permis de mener à terme des négociations engagées de longue date, avec la signature du CIPM MRA le 1^{er} avril 2010 par Michel Jarraud, directeur général de l'OMM.

Les principales conclusions de cet atelier ont été les suivantes :

- les résultats de mesures effectuées dans le cadre de la surveillance du climat et du bilan énergétique de la Terre obtenues par télédétection satellitaire, ainsi que par des méthodes basées au sol, doivent si possible être traçables au SI afin d'obtenir des séries de données continues, homogènes et de qualité sur le long terme ;
- la communauté de la météorologie doit continuer à définir ses besoins en matière de mesures et à les transmettre de façon officielle aux laboratoires nationaux de métrologie ;
- l'OMM, le BIPM, les laboratoires nationaux de métrologie et la communauté universitaire doivent travailler ensemble afin de pouvoir satisfaire les demandes pour des étalons de mesure dont l'exactitude réponde aux besoins des scientifiques et modélistes spécialistes du climat et, le cas échéant, des organismes législatifs et réglementaires ; et
- les étalonnages des instruments utilisés par la communauté de la météorologie doivent être effectués à toutes les étapes des missions spatiales ou des projets sur terre, et les laboratoires nationaux de métrologie doivent être impliqués dans la préparation de ces étalonnages et dans leur réalisation.

L'OMM et le BIPM ont établi une stratégie commune afin d'identifier les besoins en matière de mesures exactes et s'assurer que les recommandations formulées lors de l'atelier sont bien suivies, mises en œuvre et contrôlées.

Nous nous sommes ainsi engagés à collaborer afin de nous attaquer aux problèmes de mesures en ce qui concerne l'un des défis les plus importants auquel le monde est actuellement confronté. Un rapport, actuellement en cours de finalisation, sera très largement diffusé et sera notamment transmis aux gouvernements, aux organisations intergouvernementales, aux directeurs des laboratoires nationaux de métrologie, au Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, ainsi qu'à la Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC).

Dans le cadre du protocole d'accord conclu entre le BIPM et l'ONUDI, nous continuons à collaborer afin de promouvoir la métrologie, l'accréditation et la normalisation ; un programme ayant le soutien de l'ONUDI a ainsi été mis en place afin d'encourager le travail effectué par la nouvelle organisation régionale de métrologie, l'AFRIMETS. L'organisation conjointe d'une école d'été de l'AFRIMETS en février 2011 a déjà bien avancé.

En ce qui concerne l'Organisation internationale de normalisation (ISO), le BIPM accroît sa représentation aux réunions des comités concernés par la métrologie, notamment dans le domaine des nanosciences, et dans des secteurs où la traçabilité des mesures au SI est un élément majeur des normes écrites. Le BIPM envisage également de renforcer les liens qui existent entre ces comités et les Comités consultatifs du CIPM.

Suite aux discussions entre les directeurs du BIPM et de l'Organisation internationale de métrologie légale (OIML), un certain nombre d'options en faveur de relations plus étroites et d'un rapprochement ont été considérées par le Conseil de la Présidence du Comité international de métrologie légale (CIML) et le bureau du CIPM lors d'une réunion bilatérale en mars 2010. Ces options, qui incluent une colocation sur le site du BIPM ou une fusion des deux organisations, ont préalablement été examinées par les États Membres de l'OIML lors de la réunion du CIML en 2008, mais elles n'ont pas reçu le soutien général des membres de l'OIML. Les discussions à ce sujet sont donc suspendues pour le moment.

Depuis quelques années, la question de l'éventuelle redéfinition de quatre unités de base du Système international d'unités (SI) suscite un intérêt croissant et fait l'objet de nombreux travaux en raison des progrès des expériences sur la balance du watt, de l'avancée du projet de collaboration internationale sur la constante d'Avogadro (IAC), et d'un certain nombre de mesures de la constante de Boltzmann effectuées par les laboratoires nationaux de métrologie.

Les Comités consultatifs concernés continuent à superviser les recherches en la matière et à évaluer les progrès effectués mais ils s'engagent déjà fermement en faveur :

- d'une redéfinition du kilogramme fondée sur une valeur numérique fixée de la constante de Planck, h ;
- d'une redéfinition de l'ampère fondée sur une valeur numérique fixée de la charge élémentaire, e ;
- d'une redéfinition du kelvin fondée sur une valeur numérique fixée de la constante de Boltzmann, k ; et
- d'une redéfinition de la mole fondée sur une valeur numérique fixée de la constante d'Avogadro, N_A .

Le CIPM continuera à examiner si le moment est venu de redéfinir ces unités et de soumettre des propositions à la CGPM. Suite aux discussions du CIPM lors de la session d'octobre 2009, il est peu probable que l'on demande à la CGPM en 2011 de prendre des décisions officielles quant aux valeurs numériques associées aux constantes fondamentales qui seront utilisées pour les nouvelles définitions des unités de base, bien que d'ici là des progrès notables puissent avoir été accomplis. Il ne semble pas y avoir d'urgence fondamentale quant à la nécessité d'améliorer les incertitudes liées aux réalisations des unités de base. Par ailleurs, le fait d'attendre que les résultats scientifiques soient certains et que l'on parvienne à un accord en ce qui concerne les mises en pratique des nouvelles définitions n'affectera en rien le SI. J'espère également que le rôle du BIPM après la redéfinition sera défini avec davantage de clarté. Selon le consensus qui commence à se dessiner, les balances du watt (et probablement les sphères en silicium du projet Avogadro) constitueront des réalisations absolues de la définition du kilogramme mais elles ne conviennent pas parfaitement comme méthodes de routine pour disséminer l'unité de masse. Il est envisagé, à l'heure actuelle, que le BIPM continue à fournir aux laboratoires nationaux de métrologie des États Membres un service d'étalonnage de masses et qu'il pilote une comparaison clé de balances du watt. Ce service d'étalonnage sera fondé sur des prototypes traditionnels en platine iridié, ainsi que sur des artefacts de nouvelle génération de meilleure qualité métallurgique et métrologique.

La promotion de la métrologie prend diverses formes. Les membres du personnel du BIPM interviennent régulièrement lors de congrès scientifiques nationaux et internationaux et les départements scientifiques du BIPM participent activement aux comités communs, commissions ou initiatives visant à introduire les concepts métrologiques de traçabilité et d'incertitude

dans de nouveaux secteurs d'activité. Cette tâche nécessite toujours la mise en commun des efforts de différents acteurs : ainsi, le BIPM apporte ses connaissances en métrologie et les organisations qui collaborent avec le BIPM disposent de l'autorité pour les faire appliquer ou mettent en place les conditions d'un travail commun. Bien que ce travail de coopération soit considéré par les directeurs des laboratoires nationaux de métrologie et les gouvernements comme l'une des missions prioritaires du BIPM, les ressources ont toujours été très limitées, c'est pourquoi je me suis montré réticent à mettre en œuvre de nouvelles activités qui n'auraient pas pu être correctement prises en charge par le personnel existant. Toutefois, un responsable des relations internationales a récemment été engagé au BIPM, ce qui élargit notre champ d'action. Bien que ce poste ait d'abord été proposé dans le programme de travail approuvé par la CGPM à sa 23^e réunion, et qu'il ait été inclus dans la hiérarchisation des priorités effectuées par le CIPM en octobre 2008 (dont j'ai fait mention dans mon précédent rapport), il était resté jusqu'alors non pourvu.

La Journée mondiale de la métrologie continue à être un événement majeur de promotion de la métrologie. À cette occasion, le BIPM produit chaque année de la documentation et des posters, et je suis stupéfait de l'explosion de l'intérêt et de l'utilisation de ces supports par les laboratoires nationaux de métrologie du monde entier, ainsi que par d'autres organisations ou entreprises dans le domaine de la métrologie : les posters ont été édités en trois langues différentes et les fichiers de publication ont été fournis afin d'être adaptés localement dans d'autres langues. De nombreux événements ont par ailleurs été organisés afin de faire connaître les applications pratiques de la métrologie.

L'Arrangement du CIPM, le CIPM MRA, a désormais été signé par les laboratoires nationaux de métrologie de 47 États Membres et de 27 Associés, ainsi que par trois organisations internationales, ce qui porte le nombre total de laboratoires signataires et désignés participant au CIPM MRA à 211. Comme nous le préciserons ultérieurement, le nombre de CMCs et de rapports de comparaisons publiés dans la KCDB ne cesse d'augmenter.

Un important symposium a été organisé en même temps que la réunion annuelle des directeurs des laboratoires nationaux de métrologie, en octobre 2009, afin de célébrer le dixième anniversaire du CIPM MRA. Pendant une journée et demie, différents orateurs ont fait des présentations illustrant comment un certain nombre de laboratoires nationaux de métrologie, d'organisations intergouvernementales, d'organismes internationaux et de

sociétés industrielles tiraient parti du CIPM MRA. Des études de cas et des exemples de réussite ont permis de démontrer que le CIPM MRA avait été d'une grande aide pour accroître la confiance vis-à-vis des mesures dans le monde entier ; il constitue une base solide pour entrer en relation avec les organismes législatifs et réglementaires qui, pour accomplir leurs missions, se fondent sur les mesures.

Cependant, après dix ans d'existence, le texte du CIPM MRA commence à prendre de l'âge. Certaines normes écrites auxquelles il est fait référence dans le document de 1999 ont été remplacées par d'autres normes, et certains aspects de sa mise en œuvre pratique approuvés par le CIPM et mis en place par les organisations régionales de métrologie ne concordent plus avec ceux décrits dans le texte original. Un projet de révision du texte du CIPM MRA est actuellement en cours ; il a été présenté aux directeurs des laboratoires nationaux de métrologie lors de la réunion de juin 2010. Ce projet fait l'objet de discussions et de négociations, l'objectif étant de parvenir à un accord sur la mise à jour du document d'ici la réunion de la CGPM qui aura lieu en 2011.

1.3 Réunion du CIPM

Le CIPM a tenu sa session annuelle en octobre 2009 et a appris avec regret la démission de M. Gao Jie, membre du CIPM pendant seize années.

M. Ernst Göbel démissionnera de ses fonctions de président du CIPM après la session d'octobre 2010, et M. Barry Inglis a été élu pour lui succéder.

Le CIPM a approuvé un certain nombre de documents de principe concernant la traçabilité des mesures à appliquer aux déclarations de CMCs, les règles de fonctionnement des Comités consultatifs et de leurs groupes de travail, les critères pour devenir membre du CCU, ainsi qu'un document rédigé par le JCRB sur la procédure d'approbation d'une nouvelle organisation régionale de métrologie au Comité mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM (JCRB). L'approbation d'une nouvelle organisation régionale de métrologie est une étape particulièrement importante : la création de l'organisation GULFMET est en cours d'officialisation et il a donc été nécessaire de définir les critères sur lesquels le CIPM se fonderait pour décider d'accepter une nouvelle organisation régionale de métrologie dans le cadre du CIPM MRA.

Le CIPM a par ailleurs examiné un certain nombre de questions liées à la gestion du BIPM et a discuté, en particulier, des amendements au Règlement de la Caisse de retraite du BIPM. La direction du BIPM travaille depuis un certain nombre d'années à la révision de la structure financière de la Caisse de retraite actuelle, afin de tenir compte de l'allongement de l'espérance de vie et des questions actuarielles qui y sont liées. Le CIPM a approuvé un certain nombre d'amendements destinés à améliorer la stabilité et la sécurité financières de la Caisse de retraite existante, et a également approuvé de nouvelles dispositions qui sont appliquées au personnel du BIPM recruté à partir de janvier 2010. Le CIPM a également examiné le Règlement du personnel, la structure des salaires, ainsi que les règles financières et pratiques comptables, et y a apporté un certain nombre de changements.

1.4 Comité commun pour les guides en métrologie (JCGM)

La réunion annuelle des représentants des huit organisations membres du Comité commun pour les guides en métrologie (JCGM) s'est tenue le 2 décembre 2009. Deux Résolutions importantes ont été adoptées : l'une concerne la nomination par les organisations membres des experts constituant les Groupes de travail du JCGM, l'autre porte sur la rédaction de la Charte du JCGM concernant la production et la publication des documents du JCGM. Des rapports sur les activités du Groupe de travail sur l'expression de l'incertitude de mesure (JCGM-WG1), du Groupe de travail sur la révision du Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie (JCGM-WG2), et du groupe *ad hoc* du JCGM sur les logiciels de mesure, ont été présentés.

Le GUM (*Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure*, référence JCGM 100:2008), est désormais disponible gratuitement, en anglais et en français, sur le site internet du BIPM. Le JCGM-WG1 a terminé son travail sur l'*Introduction au GUM et aux documents apparentés*. Ce document, qui comprend de nombreux liens hypertextes vers les autres documents du JCGM, a pour référence JCGM 104:2009 et est publié sur le site internet du BIPM (www.bipm.org/en/publications/guides/).

Depuis 2008, la 3^e édition du VIM (*Vocabulaire international de métrologie – Concepts fondamentaux et généraux et termes associés*), ou « VIM3 », est gratuitement disponible sur le site du BIPM (www.bipm.org/en/publications/guides/, référence JCGM 200:2008). Le JCGM-WG2 a toutefois reconnu que les versions du VIM3 publiées par l'ISO/CEI et

l'OIML étaient légèrement différentes du document principal commun au JCGM et au BIPM, et que les trois textes contenaient par ailleurs un certain nombre d'erreurs qu'il était nécessaire de corriger de façon officielle. Au cours de l'année couverte par le présent rapport, le JCGM-WG2 a par conséquent rédigé des *corrigenda*, qui seront joints à chacune des trois versions du VIM3, afin de disposer d'un fichier maître corrigé et unique qui pourra être utilisé pour toute nouvelle version du VIM. Le *corrigendum* concernant le document commun au JCGM et au BIPM, disponible en français et en anglais, a été mis en ligne sur le site du BIPM en juin 2010.

1.5 Ateliers du BIPM sur les grandeurs physiologiques et unités du SI et sur la métrologie à l'échelle nanométrique

Outre le nombre croissant d'ateliers organisés par les divers Comités consultatifs et comités communs, le BIPM a dernièrement inauguré une série d'ateliers spécifiques qui portent sur des sujets présentant des enjeux particuliers. L'objectif de ces ateliers est de rassembler des acteurs de diverses disciplines afin de discuter des solutions pour faire face aux défis actuels et, si possible, identifier les actions à mettre en place.

L'atelier du BIPM sur les grandeurs physiologiques et les unités du SI s'est déroulé les 16 et 17 novembre 2009 et a réuni environ 70 personnes provenant de 22 pays différents. La plupart des participants venaient de laboratoires nationaux de métrologie, et étaient aussi membres actifs de comités techniques ou de groupes de travail d'organisations, institutions ou unions internationales telles que l'ISO, la CEI, la CIE, l'ICRU, l'UICPA et l'UIPPA. L'atelier avait pour thème la santé et la sécurité humaines, et douze experts en métrologie ont fait des présentations couvrant six domaines préalablement sélectionnés par le Comité d'organisation scientifique de cet atelier. Vous trouverez plus de détails sur cet atelier à la section 9.4.1 du présent rapport, ou dans le rapport complet disponible sur le site internet du BIPM à l'adresse www.bipm.org/en/events/physiological_quantities/.

L'atelier du BIPM sur la métrologie à l'échelle nanométrique a permis de rassembler des scientifiques venant des laboratoires nationaux de métrologie ou de l'industrie, et des experts des agences de réglementation ou des organismes de normalisation. Cet atelier qui s'est tenu sur deux jours, les 18 et 19 février 2010, et auquel plus de 100 participants ont assisté, a abordé la très large question de la nanotechnologie par le biais d'exposés et de tables rondes portant sur huit thèmes spécifiques. Comme à l'accoutumée,

les débats ont été très animés et les présentations ont toutes été d'un excellent niveau, ce qui a permis aux participants de traiter la question clé de la réunion, à savoir « Quelles activités sont nécessaires pour mettre en place une infrastructure internationale efficace pour la métrologie à l'échelle nanométrique ? ». Vous trouverez plus de détails sur cet atelier à la section 9.4.2 du présent rapport, ou dans le rapport disponible sur le site internet du BIPM à l'adresse www.bipm.org/en/events/nanoscale/.

1.6 Le Système Qualité du BIPM

Le BIPM continue à fournir un certain nombre de services de mesure, à la fois internes et externes, qui sont en conformité avec le Système Qualité auto-déclaré ISO/CEI 17025. Entre le 1^{er} juillet 2009 et le 30 juin 2010, 78 certificats et 6 notes d'étude ont été délivrés.

Conformément au programme d'audits établi pour l'année 2009, les cinq départements scientifiques du BIPM ont fait l'objet d'audits internes et externes : aucune non-conformité majeure n'a été observée.

Un Groupe interne sur la qualité s'est réuni à trois reprises au cours de la période couverte par le présent rapport, afin d'examiner les résultats des audits et discuter des non-conformités, ainsi que d'autres points concernant le Système Qualité du BIPM. La revue annuelle de direction du Système Qualité qui s'est tenue le 1^{er} octobre 2009 a permis de noter un certain nombre de points qui ont depuis été résolus.

M. Bruno Coelho a été engagé en qualité de responsable Qualité, Santé et Sécurité en septembre 2009.

1.7 Santé et sécurité

Le BIPM continue à prendre très au sérieux ses obligations dans le domaine de la santé et de la sécurité : comme précédemment mentionné, un poste de responsable Qualité, Santé et Sécurité a ainsi été créé en 2009. Le Comité interne Santé et Sécurité s'est réuni trois fois au cours de la période couverte par le présent rapport et a enregistré plus de 50 actions. Des efforts concertés ont ainsi été faits afin d'améliorer les documents du BIPM portant sur la santé et la sécurité, notamment en ce qui concerne les procédures de traitement des déchets chimiques. Le Comité Santé et Sécurité met également à jour le manuel de santé et sécurité du BIPM, et travaille à la

rédaction d'un guide interne de bonnes pratiques en matière de protection de l'environnement. Un audit sur la radioprotection s'est déroulé avec succès en avril 2010.

1.8 Commissions du personnel

Certaines des commissions du personnel du BIPM ont fusionné en juin 2008 en raison de l'adoption des nouveaux Statut, Règlement et Instructions applicables aux membres du personnel du BIPM (SRI). La Commission des conditions d'emploi (CCE) peut ainsi travailler de façon plus cohérente car elle peut désormais communiquer librement avec le personnel sur les questions qu'elle soulève lors de ses discussions avec le directeur et avec la direction administrative. La charge de travail de la CCE est lourde, ce qui est particulièrement vrai en cette période de changements concernant le Règlement de la Caisse de retraite et de prévoyance. Les membres de la CCE sont élus par les membres du personnel du BIPM et doivent trouver un juste équilibre entre le temps qu'ils consacrent à leur mission, c'est-à-dire représenter les intérêts du personnel et dialoguer avec le directeur, et le temps qu'ils consacrent à leur travail.

Au cours de la période couverte par le présent rapport, la CCE :

- a participé à trois réunions avec le directeur ;
- a rédigé deux mémorandum sur les amendements à la Caisse de retraite ;
- a effectué une enquête auprès des membres du personnel afin d'identifier les sujets qui devront faire l'objet de discussions ;
- a proposé d'apporter des modifications aux SRI ou aux amendements aux SRI proposés par le directeur. Certaines de ces modifications ont déjà été approuvées, et d'autres sont en train d'être mises en œuvre.

D'autres commissions du personnel du BIPM s'occupent notamment des questions de protection sociale du personnel ou des activités culturelles et festives, le but étant de contribuer à créer un environnement de travail convivial et à renforcer la cohésion entre les membres du personnel, en particulier pour les nouveaux recrutés qui, souvent, viennent travailler dans un pays qui n'est pas leur pays natal.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance aux membres du personnel qui participent à ces commissions.

1.9 Travail scientifique au BIPM

Masses : les objectifs du Département des masses sont de maintenir et d'améliorer les équipements actuels d'étalonnage, tout en se préparant à relever les défis que génère la perspective d'une redéfinition à venir du kilogramme. Le Département est en particulier fortement impliqué dans le travail technique de préparation nécessaire avant toute redéfinition.

Des étalonnages d'étalons de masse de 1 kg, en platine iridié et en acier inoxydable, ont été menés à bien pour plus d'une douzaine de laboratoires nationaux de métrologie. Des déterminations auxiliaires du volume, de la localisation du centre de gravité et des propriétés magnétiques de ces étalons ont été effectuées selon les besoins. Depuis février 2010, les comparaisons de masses de 1 kg sont réalisées uniquement à l'aide de notre balance Metrotec, qui a dû être transférée de façon temporaire dans un laboratoire voisin afin que le laboratoire d'étalonnage (salle 104) puisse être rénové, tel que cela était prévu dans l'actuel programme de travail pour les années 2009 à 2012. La balance Metrotec a été remise en service après son transfert dans le nouveau laboratoire et peut désormais être utilisée pour des étalonnages. Une seconde balance d'étalonnage, la HK1000MC, est désormais obsolète et sera remplacée par une balance Mettler-Toledo M-One qui devrait être livrée d'ici la fin de 2010. Les deux balances, la Metrotec et la M-One, seront placées dans des enceintes installées côte à côte dans la salle 104, une fois celle-ci rénovée.

Le Département continue en outre à participer activement au projet de collaboration internationale sur la constante d'Avogadro (IAC), au sein duquel le BIPM joue un rôle clé pour les mesures de masse des sphères de silicium. Le BIPM organise des comparaisons de masse inter-laboratoires de ces sphères. Ce travail a été rendu plus complexe par la découverte d'une contamination de surface des sphères (voir section 2 pour plus de détails). Les membres du Département des masses contribuent également de façon significative à la mise au point de la balance du watt du BIPM (voir section 7).

Par ailleurs, le Département est en train de créer un ensemble d'étalons de masse très stables dont la masse moyenne représentera le kilogramme une fois redéfini. Cet ensemble sera constitué de douze artefacts de 1 kg fabriqués à partir de trois matériaux différents. La fabrication, au BIPM, de quatre cylindres traditionnels en platine iridié est presque achevée, et quatre sphères en monocristal de silicium ont été commandées auprès d'un

fournisseur japonais. La construction de dispositifs de stockage pour conserver ces artefacts dans un gaz non réactif tel que l'azote ou l'argon, ou dans des conditions de vide parfaitement déterminées, est en cours. Nous espérons que la masse moyenne pondérée des éléments de cet ensemble pourra être liée de façon expérimentale aux réalisations primaires de la nouvelle définition du kilogramme, et que de telles comparaisons seront effectuées de façon régulière, en fonction des besoins.

D'autres travaux sur la mise en pratique de la nouvelle définition du kilogramme sont effectués dans le cadre d'une coopération trilatérale entre le BIPM, le NPL (Royaume-Uni de Grande Bretagne et d'Irlande du Nord) et le METAS (Suisse).

Le Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées (CCM) a créé un sous-groupe de travail dont la mission est d'évaluer les méthodes pour comparer les étalons de masse maintenus dans le vide à ceux conservés dans l'air. La plupart des activités précédemment mentionnées sont également effectuées en collaboration avec le CCM.

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 de l'EAL, exprimée sous forme de l'écart-type d'Allan relatif, est estimée à 4×10^{-16} maximum pour des durées moyennes d'un mois. Pendant la période couverte par ce rapport, treize étalons primaires de **fréquence**, dont neuf fontaines à césium (IT CSF1, LNE-SYRTE FO1, LNE-SYRTE FO2, LNE-SYRTE FOM, NICT CSF1, NIST-F1, NMIJ F1, PTB CSF1 et PTB-CSF2), ont contribué à l'amélioration de l'exactitude du TAI. Une correction totale de fréquence de $-6,1 \times 10^{-15}$ a été appliquée pendant l'année à $[f(EAL) - f(TAI)]$.

Le Comité consultatif du temps et des fréquences (CCTF) ayant approuvé, en juin 2009, l'utilisation de la technique de positionnement précis (PPP) du GPS pour les comparaisons d'horloges pour le TAI, des solutions fondées sur cette méthode (TAI PPP) ont été intégrées à partir d'octobre 2009 au calcul de routine du TAI : quinze liaisons horaires de ce type ont ainsi été progressivement incluses.

La première comparaison horaire fondée sur des observations simultanées des satellites du GLONASS et utilisant des mesures du code civil a été intégrée au calcul du TAI en novembre 2009 pour le lien entre la PTB (Allemagne) et le VNIIFTRI (Fédération de Russie).

Le Département continue d'organiser et d'effectuer des campagnes d'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 d'équipements du GLONASS ont été effectuées, et d'autres sont en cours de préparation. L'étalonnage des équipements du GNSS dans les laboratoires participant au calcul du TAI est renforcé au niveau régional par une coopération avec l'EURAMET.

Le Département fournit son aide aux différents groupes de travail du CCTF et du CCL, au sein desquels certains membres du personnel exercent des responsabilités. Le Département assure le secrétariat exécutif du CCTF et du CCL, et a activement participé à l'organisation des réunions des groupes de travail du CCL en juin 2010.

Les études pour améliorer l'algorithme utilisé pour le calcul du TAI et de l'UTC ont été poursuivies.

Un programme de recherche restreint du Département 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 internet du BIPM (tai.bipm.org/iers/) et une nouvelle version de ces Conventions est en préparation.

Concernant la réalisation de repères de référence pour des applications astrogéodynamiques, le Département a participé à la création d'un nouveau repère de référence céleste international qui a été recommandé par l'UAI comme accès primaire au système de référence céleste international.

Le Département continue d'apporter des conseils techniques au laboratoire pilote et aux laboratoires hôtes dans les différentes organisations régionales de métrologie pour le bon déroulement de la comparaison clé de lasers stabilisés CCL-K11.

Des mesures pour l'ICAG-2009, effectuées dans le cadre à la fois d'une comparaison clé et d'une étude pilote, ont été menées à bien au BIPM entre juillet et octobre 2009 ; les résultats finaux doivent être publiés sous peu.

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

Le personnel du Département du temps, des fréquences et de la gravimétrie s'investit beaucoup dans le travail de coordination internationale nécessaire pour accomplir les tâches qui nous sont confiées par les États Membres. Ainsi, les physiciens du Département sont membres, dans diverses organisations internationales, de commissions, groupes de travail et autres organes exécutifs qu'ils président dans de nombreux cas. Un nombre significatif d'articles ont été rédigés par les membres du Département au cours de la période couverte par le présent rapport.

Électricité : le Département de l'électricité a concentré son travail sur le programme de comparaisons 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 soutien au projet de la balance du watt du BIPM, et le condensateur calculable qui a été mis au point en collaboration avec le NMIA (Australie).

Au total, neuf comparaisons clés ont été effectuées avec les laboratoires nationaux de métrologie dans les domaines de la tension, de la résistance et de la capacité. Pendant l'année 2009, le Département de l'électricité a émis 62 certificats d'étalonnage et 5 notes d'étude pour quatorze laboratoires nationaux de métrologie des États Membres. 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, mais non exclusivement, des laboratoires nationaux de métrologie qui ne possèdent pas leurs propres étalons primaires.

Dans le cadre de notre système qualité, nos activités de mesures dans les domaines de la tension, de la résistance et de la capacité ont été auditées par des experts externes du METAS, du NPL et de la PTB, respectivement. La qualité des procédures scientifiques du BIPM, ainsi que celle des documents écrits, a été soulignée.

Le nouveau système automatique d'étalonnage des étalons de tension à diode de Zener à 1,018 V a été validé et est désormais utilisé pour les mesures de routine. Le nouvel étalon transportable de tension de Josephson, destiné aux comparaisons sur site, a été comparé avec succès à l'étalon existant, avec une incertitude-type relative de 1×10^{-10} . Toutefois, il faut encore améliorer la fiabilité du système, ce qui constitue un préalable indispensable pour les comparaisons sur site.

Le travail concernant la fabrication d'un étalon de tension de Josephson spécifiquement conçu pour la balance du watt du BIPM a commencé. Le

réseau de jonctions de Josephson a été testé avec succès avec son instrumentation dédiée. La source de polarisation en continu qui sera utilisée pour sélectionner les tensions quantifiées des treize segments du réseau est actuellement en cours de mise au point. Elle fonctionnera entièrement sur batteries, le chargeur est déjà construit.

Un nouveau cryostat pour l'étalon de résistance à effet Hall quantique a été livré. Il remplacera l'ancien cryostat qui présentait une fuite. Il faut désormais mettre au point les dispositifs électroniques nécessaires aux comparaisons sur site à venir de résistances à effet Hall quantique. Un nouveau pont comparateur de courant fonctionnant à température ambiante, destiné à lier plus directement la résistance à effet Hall quantique aux étalons de référence de capacité du BIPM, est en cours de construction.

Le BIPM et le NMIA collaborent à la construction de deux condensateurs calculables de conception perfectionnée, destinés à mesurer la constante de von Klitzing avec une incertitude relative de l'ordre de 1×10^{-8} . Ces résultats seront d'une grande importance lors des discussions sur la redéfinition des unités. Au début de l'année 2010, le NMIA avait terminé la fabrication des éléments mécaniques de précision pour le condensateur calculable du BIPM. Les quatre barres d'électrodes fabriquées par le NMIA présentent la cylindricité requise de $0,1 \mu\text{m}$ qui est fondamentale pour atteindre l'incertitude cible. M. John Fiander du NMIA a été détaché au BIPM pendant dix semaines afin de collaborer à la construction du condensateur et de faire profiter les membres du personnel du BIPM de son expérience. Cette collaboration a permis de tester l'ensemble des composants critiques et a mis en évidence la nécessité de revoir la conception de certains éléments clés. Toutefois, aucun défaut majeur n'a été constaté et nous espérons que le condensateur calculable sera prêt pour effectuer des mesures d'ici la fin de 2010.

Balance du watt : grâce à l'amélioration de la synchronisation des mesures de tension et de vitesse, à une détermination approfondie des caractéristiques du voltmètre, et à une réduction de l'erreur d'Abbe dans les mesures de vitesse, des progrès considérables ont été accomplis au cours de l'année passée concernant la mesure du rapport entre la tension et la vitesse.

Pour la première fois, de longues séries de mesures de la constante de Planck ont été effectuées selon le protocole caractéristique de la balance du watt du BIPM. Comme les incertitudes de type B sont encore relativement importantes, l'objectif principal à ce stade est de démontrer la répétabilité et la reproductibilité de l'expérience. L'écart-type relatif des résultats de onze

séries de mesures est de 5×10^{-6} . L'incertitude-type composée relative est actuellement estimée à 5×10^{-5} et l'écart par rapport à la valeur de la CODATA de 2006 est comparable à l'incertitude.

Le nouveau laboratoire où la balance du watt sera installée permettra d'avoir une meilleure isolation sismique et une meilleure stabilité de la température. Alors que le nouveau laboratoire était encore vide, une cartographie en trois dimensions des variations spatiales de l'accélération gravitationnelle g a été effectuée : elle sera utilisée pour déterminer la valeur de g à l'endroit où sera posée la masse d'essai de la balance du watt. La balance du watt sera transportée dans le nouveau laboratoire lorsque l'enceinte à vide sera achevée. En même temps, plusieurs nouveaux systèmes électromécaniques, dont un échangeur de masses, un système d'étalonnage de la sensibilité de la cellule de pesée, et un dispositif de contrôle dynamique des mouvements horizontaux et d'inclinaison de la bobine, seront intégrés à la suspension de la balance du watt.

La fabrication du circuit magnétique définitif a commencé. La première étape de l'usinage sera effectuée pour l'essentiel par l'atelier de mécanique du BIPM, puis le traitement thermique et l'usinage de précision seront pris en charge par une société spécialisée. Nous prévoyons d'assembler l'aimant au premier semestre de 2011.

Une étude de faisabilité sur la future balance du watt cryogénique a commencé en septembre 2009. Les premiers aspects étudiés sont les conséquences du diamagnétisme de Meissner du fil supraconducteur.

Rayonnements ionisants : les nouvelles valeurs du kerma dans l'air dans les faisceaux de rayons x aux basses et moyennes énergies et dans les faisceaux de ^{137}Cs , telles qu'approuvées par la Section I du CCRI, sont désormais disséminées. L'étude de l'effet de l'air à basse pression sur les chambres d'ionisation en graphite ou en plastique dans le rayonnement du ^{60}Co est terminée et a été utilisée pour aider l'ININ (Mexique) à concevoir son étalon primaire de dosimétrie dans les faisceaux de rayonnement gamma. Un étalon primaire de dosimétrie dans les faisceaux de rayonnement gamma a été construit par l'ARPANSA (Australie) et une comparaison est programmée pour 2011. L'étude sur la « valeur- I » pour le graphite a été publiée et l'ICRU examine ce nouveau résultat. La Section I du CCRI discutera des conséquences de cette étude lors de sa prochaine réunion.

Le calorimètre en graphite pour la dose absorbée dans l'eau a été utilisé dans le faisceau de ^{60}Co avec une reproductibilité approchant désormais 1×10^{-3} .

La première comparaison de dosimétrie dans les faisceaux d'accélérateurs a été effectuée avec le NRC (Canada) en juin 2009 : le projet B de rapport est en préparation. La deuxième comparaison de cette série de comparaisons en continu du BIPM a eu lieu à la PTB (Allemagne) en mars 2010 : les résultats sont en cours d'analyse.

Le nouvel étalon primaire pour la dosimétrie aux doses mammographiques est désormais pleinement opérationnel et les deux premières comparaisons, réalisées avec le NMIJ (Japon) et le NIST (États-Unis d'Amérique) ont été menées à bien ; leurs rapports sont en cours de rédaction. Les caractéristiques de l'étalon national du NIM (Chine) ont également été déterminées.

Le projet B de rapport de la comparaison à haute dose (jusqu'à 30 kGy) est presque achevé. Le BIPM fournit des irradiations de référence au niveau de 1 kGy pour cette comparaison qui est effectuée tous les dix ans.

Le BIPM est reconnaissant envers les scientifiques détachés de RISØ (Danemark), du NMISA (Afrique du Sud), du VSL (Pays-Bas) et de l'ININ (Mexique) qui ont contribué à ce que les trois premières comparaisons de curiethérapie en continu du BIPM puissent être effectuées au VSL, au LNE-LNHB (France) et au NPL (Royaume-Uni de Grande Bretagne et d'Irlande du Nord). Les résultats de ces comparaisons sont en cours d'analyse.

Au total, quinze comparaisons de dosimétrie ont été effectuées et treize rapports de comparaisons terminées préalablement ont été publiés au cours des douze derniers mois. Par ailleurs, un rapport sur la détermination préliminaire des caractéristiques de la chambre à parois d'air libre du NIS (Égypte) a été publié, l'objectif étant que le NIS puisse utiliser cette chambre comme étalon primaire. Le BIPM a déterminé les caractéristiques dosimétriques de dix-sept étalons secondaires nationaux et continue à soutenir l'AIEA en irradiant régulièrement ses dosimètres pour le service de mesure fourni conjointement par l'AIEA et l'OMS.

Un audit interne du Système Qualité couvrant les activités de dosimétrie s'est tenu à la fin de 2009. Le Département des rayonnements ionisants 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 à l'établissement du Système Qualité.

En 2009, dix-sept ampoules ont été soumises dans le cadre des comparaisons en continu de mesures d'activité du BIPM liées au Système international de

référence (SIR). Dix nouveaux résultats, parmi lesquels ceux de comparaisons d'ampoules de ^{64}Cu , radionucléide qui n'avait pas été mesuré auparavant, soumises par trois laboratoires nationaux de métrologie, ont été enregistrés dans le fichier maître du SIR. (Ces sources ont également été utilisées pour vérifier la linéarité du nouveau système électronique du SIR.) Cinq rapports de comparaison, couvrant sept résultats, ont été publiés ; 22 autres rapports restent à éditer. Les niveaux d'activité des impuretés ont été mesurés à l'aide du spectromètre gamma Ge(Li) du BIPM pour cinq ampoules soumises à des comparaisons ; le remplacement de cet équipement par un spectromètre HPGe dépend de travaux complémentaires devant être effectués. Un audit interne du SIR a été réalisé avec succès à la fin de 2009 dans le cadre du Système Qualité du BIPM.

La première comparaison d'activité du radionucléide à courte durée de vie $^{99\text{m}}\text{Tc}$ effectuée au NIST à l'aide de l'instrument de transfert du SIR a été un succès. Le projet A de rapport a été préparé après que le bilan d'incertitude de l'instrument de transfert a été analysé en détail. Le BIPM tient à remercier le LNE-LNHB et le NPL qui ont fourni les ampoules nécessaires à l'étalonnage de l'instrument de transfert par rapport au SIR, ce qui a permis de lier le résultat du NIST à ceux des autres laboratoires nationaux de métrologie ayant participé au SIR pour ce radionucléide.

Cette année, le Département a concentré ses efforts sur la mise au point de l'équipement nécessaire à la technique du rapport des coïncidences triples aux coïncidences doubles (TDCR) pour les mesures d'activité. Les méthodes de calcul utilisées au BIPM ont été vérifiées en les comparant à celles d'autres laboratoires nationaux de métrologie, et les résultats ont été publiés. Ces progrès ont permis au BIPM de participer à la comparaison de ^3H de la Section II du CCRI en utilisant cette technique, et d'obtenir un résultat en accord avec la valeur moyenne de la comparaison, dans les limites des incertitudes. Toutefois, afin d'améliorer les prochains résultats et faire que cette méthode puisse être utilisée pour l'extension du SIR aux émetteurs de rayonnement bêta pur, les préamplificateurs ont été modifiés et la méthode d'étalonnage par traceur Compton est en cours de mise en œuvre à l'aide d'une source externe de ^{241}Am et d'un spectromètre au germanium hyper-pur.

Le BIPM prépare le projet A de rapport de la comparaison de ^3H du CCRI. 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. Bien

que le BIPM n'ait pas participé à la récente comparaison de mesures d'activité de particules alpha conduite par le NPL, il a participé, avec un résultat satisfaisant, à la comparaison de la Section II du CCRI sur l'évaluation de l'incertitude, pilotée par l'IRA-METAS (Suisse). Nous sommes en attente du rapport final.

La responsabilité de l'étalonnage interne des thermomètres à résistance de platine étalon au BIPM ayant été confiée au Département des rayonnements ionisants, une comparaison bilatérale a été conduite avec le LNE-INM. Le Département a également mis à jour son Système Qualité et a effectué la première campagne d'étalonnages pour les départements scientifiques du BIPM.

Chimie : des progrès significatifs ont été réalisés dans les trois domaines d'activité du programme de chimie : l'équivalence internationale des étalons de gaz pour le contrôle de la qualité de l'air et la surveillance du changement climatique ; l'équivalence internationale des calibrateurs primaires organiques dans les domaines de la santé, de l'alimentation, de la médecine légale, des produits pharmaceutiques, et de la surveillance de l'environnement ; et l'aide globale aux activités du CCQM et du JCTLM, ainsi que le travail de collaboration avec des organisations intergouvernementales.

Dans le domaine de la métrologie des gaz, le BIPM continue à coordonner les comparaisons d'étalons de référence mesuriers d'ozone de surface (BIPM.QM-K1). Au cours de l'année passée, quatre laboratoires nationaux ont participé à des comparaisons au BIPM, et le BIPM a procédé à l'installation d'un système de mise à niveau de l'équipement pour l'un des participants. Le système de titrage en phase gazeuse pour l'ozone du BIPM a été modifié et est actuellement testé, tandis que le convertisseur en molybdène intégré à l'analyseur par chimiluminescence d'oxyde d'azote a été remplacé par un convertisseur photolytique, plus spécifique à ce composé. La mise en place d'un photomètre étalon de référence équipé d'un laser et les mesures de la section efficace d'absorption de l'ozone se sont poursuivies. Le photomètre étalon de référence équipé d'un laser présente désormais le même niveau de bruit à 244 nm que celui équipé d'une lampe à mercure à 254 nm. En utilisant des valeurs de sections efficaces d'absorption de l'ozone publiées en 2004, on obtient avec les deux types de photomètres étalons de référence des résultats de mesure de la concentration en ozone qui sont en accord compte tenu du bruit de mesure. Des mesures exactes par interférométrie de la longueur du trajet optique au sein des cellules de gaz de

l'instrument ont commencé. Un équipement a été conçu pour la mesure directe de la section efficace d'absorption de l'ozone dans le rayonnement UV lointain ; il est actuellement en cours de construction.

L'équipement de comparaison pour le monoxyde d'azote a été mis à niveau et des études de stabilité d'étalons ont permis de fournir des informations pouvant être utilisées lors de l'établissement d'un laboratoire central d'étalonnage pour le réseau du programme de veille de l'atmosphère globale de l'OMM. La comparaison clé CCQM-K74 d'étalons de dioxyde d'azote a été menée avec succès et le projet A de rapport a été envoyé aux participants en juin 2010. La mesure de fractions molaires de gaz par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier est à l'étude dans le cadre de la comparaison pilote CCQM-P110. Le rapport, en cours de finalisation au BIPM, servira de document de base pour un atelier qui se tiendra pendant la réunion du Groupe de travail du CCQM sur l'analyse des gaz en novembre 2010. Le programme visant à mettre en place un équipement pour déterminer la comparabilité au niveau international des étalons de méthane dans l'air au niveau ambiant s'est poursuivi en 2009-2010 avec l'achat d'un équipement de chromatographie en phase gazeuse avec détection d'ionisation de la flamme. Les principales pièces du nouvel équipement de génération de formaldéhyde dans l'azote ont été installées puis validées au cours de l'année passée, en prévision des comparaisons clés à venir dans ce domaine.

L'objectif du programme d'analyse organique est de coordonner des comparaisons du CCQM pour la détermination de la fraction massique de substances pures de composés organiques destinés à être utilisés comme étalons primaires. La mise au point et la validation de méthodes analytiques nécessaires à la production et à la détermination des caractéristiques du matériau d'étude de la comparaison CCQM-K55.b (aldrine) sont terminées. Les procédures mises au point ou étudiées ont inclus : les méthodes de chromatographie en phase gazeuse avec spectroscopie de masse ou avec détection d'ionisation de la flamme ; la chromatographie liquide par ultraviolet ; la spectrométrie de masse et la chromatographie liquide avec spectrométrie de masse, avec détection par ionisation par électro-ébuliseur et par photoionisation ; la spectroscopie de résonance magnétique nucléaire ; le titrage Karl Fischer ; et les méthodes pour déterminer la teneur en eau du matériau d'étude.

Le matériau d'étude de la comparaison clé CCQM-K55.b (aldrine) a été préparé au BIPM par purification d'aldrine de grade technique fournie par le

NMIA. Un appel à participation a été lancé en janvier 2010 et dix-huit laboratoires nationaux de métrologie ou désignés se sont inscrits à la comparaison clé, sept laboratoires supplémentaires participant à l'étude pilote CCQM-P117.b menée en parallèle. Les échantillons à comparer ont été distribués aux laboratoires participants en mai 2010, et les résultats de la comparaison seront examinés lors de la réunion de novembre 2010 du Groupe de travail du CCQM sur l'analyse organique.

La mise au point des méthodes qui seront utilisées pour préparer et déterminer les caractéristiques du matériau d'étude de la comparaison clé CCQM-K78 (détermination de la fraction massique d'aldrine dans une solution d'isooctane) a commencé. Les procédures mises au point ou étudiées à ce jour comprennent : la préparation de solutions d'aldrine dans de l'isooctane par dosage gravimétrique, le sous-échantillonnage d'aliquotes de la solution dans des ampoules ensuite scellées à la flamme, et les méthodes de chromatographie en phase gazeuse avec détection d'ionisation de la flamme pour évaluer l'homogénéité d'un lot d'ampoules scellées.

Le BIPM a entrepris des recherches sur les méthodes de détermination des caractéristiques de matériaux purs de poids moléculaire plus élevé et à structure plus complexe qui présentent un intérêt pour le CCQM. L'angiotensine I et l'insuline ont été choisies comme systèmes modèles, et la mise au point et la validation de méthodes analytiques pour les acides aminés ont commencé. Des procédures sont en cours de mise au point pour déterminer les impuretés de structure connexe ou autres dans des matériaux purs disponibles dans le commerce, tels que l'isoleucine, la leucine, la phénylalanine, la proline, la tyrosine et la valine.

Les résultats de la comparaison clé de pureté CCQM-K55.a (estradiol) ont été reçus en mars 2009. Il s'en est suivi des études qui ont permis de découvrir la cause des différences significatives de teneur en eau observées à l'origine par les participants. Un projet B de rapport a été préparé qui propose une valeur de référence pour la teneur en estradiol de l'échantillon de comparaison.

La base de données du JCTLM a été mise à jour en janvier 2010 afin d'inclure les matériaux de référence du Cycle 6 du Groupe de travail 1 et les services de mesure de référence fournis par les laboratoires du Cycle 4 du Groupe de travail 2, approuvés par le comité exécutif lors de sa réunion annuelle en décembre 2009. En mai 2010, 49 services de mesure de référence fournis par des laboratoires ont été supprimés de la base de données du JCTLM en raison du non-respect, par ces laboratoires, du délai

de demande d'accréditation indiqué dans les normes ISO 15195 et ISO/CEI 17025.

L'appel à propositions pour le Cycle 7 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 5 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 2010 ; un e-mail a par ailleurs été envoyé à ce sujet à trois cents contributeurs potentiels du JCTLM. En mai 2010, 42 propositions de matériaux, 30 de procédures et 4 de services avaient été reçues ; ces propositions ont été envoyées aux groupes d'examen afin qu'elles soient évaluées. La refonte et la mise à jour de la base de données du JCTLM, dues aux changements qui ont été apportés aux formulaires du JCTLM de soumission de propositions et qui étaient requis par la révision de la norme ISO 15494, ont été confiées à une société extérieure. La nouvelle version du système, accessible en ligne, a été publiée en mars 2010.

L'étude « Measurement Service and Comparison Needs for an International Measurement Infrastructure for the Biosciences and Biotechnology », définie par le BIPM, a été confiée au LGC (Royaume-Uni de Grande Bretagne et d'Irlande du Nord) ; le LGC est en train de rédiger une ébauche du rapport qui sera soumis aux commentaires des parties prenantes en octobre 2010. Une version finale, prenant en considération ces commentaires, sera prête d'ici le mois de mars 2011.

1.10 Publications, conférences et voyages du directeur et du sous-directeur

1.10.1 Publications extérieures

1. Wallard A.J., News from the BIPM – 2009, *Metrologia*, **47**, 103-111.
2. Kühne M., Thomas C., Report on the BIPM Workshop on Physiological Quantities and SI Units (16-17 novembre 2009), *Rapport BIPM-2010/05*, 5 p.

1.10.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

A.J. Wallard :

- Kazan (République du Tatarstan, Fédération de Russie), du 21 au 25 septembre 2009, avec L. Mussio, pour la 23^e réunion du JCRB ;
- Londres (Royaume-Uni de Grande Bretagne et d'Irlande du Nord), les 9 et 10 décembre 2009, pour une réunion du Pathfinder Group ;
- Kuala Lumpur (Malaisie), le 13 décembre 2009, pour la 25^e assemblée générale et le symposium sur la métrologie de l'APMP ;
- Monterey (États-Unis d'Amérique), du 24 au 27 janvier 2010, pour une réunion du bureau de NCSLI ;
- Genève (Suisse), le 29 mars 2010, pour assister au comité scientifique 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 » ;
- Genève (Suisse), du 30 mars au 2 avril 2010, pour co-présider l'atelier commun à l'OMM et au BIPM intitulé « Measurement Challenges for Global Observation Systems for Climate Change Monitoring: Traceability, Stability and Uncertainty » ;
- Londres (Royaume-Uni de Grande Bretagne et d'Irlande du Nord), les 7 et 8 juin 2010, pour une réunion avec les représentants du « Measurement Board of the Department Business, Innovation and Skills » ;
- Tsukuba (Japon), du 9 au 12 juin 2010, avec M. Kühne, au NMIJ/AIST ;
- Daejeon (Rép. de Corée), du 12 au 16 juin 2010, pour assister à la réunion de la CPEM de 2010 et y faire une présentation sur le CIPM MRA.

M. Kühne :

- Vienne (Autriche), les 16 et 17 septembre 2009, avec P.J. Allisy-Roberts, pour rencontrer le directeur général adjoint de l'AIEA, ainsi que des collègues de l'AIEA ;
- Lima (Pérou), du 25 au 30 octobre 2009, avec L. Mussio, pour assister à l'assemblée générale du SIM et aux réunions connexes ;
- PTB, Braunschweig (Allemagne), le 10 décembre 2009, pour discuter du projet de l'accélérateur linéaire ;

- PTB, Berlin (Allemagne), le 11 décembre 2009, pour participer à un colloque donné à l'occasion du départ à la retraite de M. Buck, directeur du laboratoire berlinois de la PTB ;
- Genève (Suisse), le 29 mars 2010, pour la réunion du DCMAS ;
- Genève (Suisse), du 30 mars au 2 avril 2010, pour assister à l'atelier commun à l'OMM et au BIPM intitulé « Measurement Challenges for Global Observation Systems for Climate Change Monitoring: Traceability, Stability and Uncertainty » ;
- Astana (Kazakhstan), du 19 au 23 avril 2010, pour la 20^e réunion du comité de COOMET (COOMET 20) et la 8^e réunion du comité commun sur les étalons de mesure (JCMS-8) ;
- Berlin (Allemagne), le 10 mai 2010, avec E.O. Göbel, pour se rendre au ministère allemand de l'Économie ;
- Berlin (Allemagne), le 11 mai 2010, pour participer à une conférence « Lagrange » ;
- Moscou (Fédération de Russie), les 19 et 20 mai 2010, pour faire un discours à l'occasion de la Journée mondiale de la métrologie et visiter le Gosstandard et le VNIIMS ;
- Lisbonne (Portugal), du 23 au 27 mai 2010, pour l'assemblée générale de l'EURAMET.

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

Le directeur est membre du conseil scientifique de l'INRIM, Turin ; membre de l'Interdivisional Committee on Terminology, Nomenclature and Symbols de l'Union internationale de chimie pure et appliquée (UICPA) ; et membre de la Commission C2 « Symbols, units, nomenclature, atomic masses and fundamental constants » (SUNAMCO) de l'Union internationale de physique pure et appliquée (UIPPA). 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 ; et président du JCRB et du JCGM.

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

2 **MASSES (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° 21 (Mexique), n°s 60 et 64 (Chine), n° 67 (République tchèque) et n° 94 (Japon). C'est la première fois que le prototype n° 94, de fabrication récente, est étalonné. Les étalonnages des prototypes n° 52 (Allemagne) et n° 83 (Singapour) sont achevés. Les prototypes du Canada et de l'Égypte, ainsi que les nouveaux prototypes du Pakistan et du Kenya qui viennent d'être fabriqués, sont en cours d'étalonnage.

Des certificats pour deux étalons de 1 kg en acier inoxydable ont été émis pour le NML-SIRIM (Malaisie). Des étalonnages ont été effectués pour six autres étalons de 1 kg en acier inoxydable : trois pour KazInMetr (Kazakhstan), deux pour le MSL (Nouvelle Zélande) et un pour le NMC, A*STAR (Singapour). Par ailleurs, six autres étalons de 1 kg en acier inoxydable sont en cours d'étalonnage pour différents laboratoires nationaux de métrologie : un pour le BIM (Bulgarie), deux pour le NIS (Égypte), ainsi que trois pour le NIMT (Thaïlande).

Nous avons effectué des mesures de susceptibilité magnétique pour des étalons de 1 kg en acier inoxydable : trois pour le NIS, trois pour KazInMetr et un pour le MSL. De telles mesures viennent généralement compléter les informations concernant l'étalonnage initial de masse effectué par le BIPM. À la demande du NIS, la susceptibilité magnétique du prototype égyptien n° 58 a été déterminée. Le BIPM ayant mis au point un équipement

permettant de déterminer la susceptibilité magnétique de l'alliage de platine iridié, nous avons utilisé cette mesure comme un moyen supplémentaire de contrôler la qualité du matériau livré par notre fournisseur. Le prototype n° 58 a été fabriqué bien avant que nous ne disposions de cet équipement, mais les résultats de mesure sont identiques.

À la demande du NMC, A*STAR, nous avons vérifié le volume de leur étalon de masse de 1 kg en acier inoxydable en effectuant plusieurs pesées avec des paramètres différents pour la masse volumique de l'air, un artefact du BIPM dont on connaît le volume étant utilisé comme étalon.

2.1.2 Laboratoire d'étalonnage de masse (P. Barat et R.S. Davis)

Une rénovation complète de la salle 104, habituellement utilisée pour les étalonnages de masses de 1 kg à l'aide des balances HK1000 MC et Metrotec, est en cours depuis février 2010. Pendant les travaux, la balance HK1000 MC a été complètement démontée et les pièces ont été soigneusement stockées. Notre balance Metrotec a été transférée dans la salle 105 avec l'aide de la société Mettler-Toledo (Greifensee, Suisse) où elle a été remise en service : la masse des prototypes de 1 kg et des étalons de travail en platine iridié du BIPM a été mesurée avant et après l'installation de la balance dans la nouvelle salle, et les résultats étaient en accord à 1,1 μg près avec une incertitude-type de 2 μg . On peut donc conclure que le transfert de la balance Metrotec de la salle 104 à la salle 105 a été effectué avec succès.

Au début de 2010, un appel d'offres pour un comparateur de masses fonctionnant à la pression atmosphérique et dans le vide a été lancé afin de remplacer la balance HK1000 MC qui est désormais obsolète. Le BIPM va ainsi acquérir un comparateur M-One 6V-LL de marque Mettler-Toledo qui devrait être livré à la fin de l'année.

2.1.3 Détermination de la masse volumique de l'air (P. Barat et R. S. Davis)

Dans le *Rapport du directeur* de 2008, il avait été indiqué que suite à la rénovation de la salle 105 fin 2006, nous avons observé des différences dans la détermination de la masse volumique de l'air. L'atelier de mécanique du BIPM a ainsi produit de nouveaux artefacts pour la mesure de la masse volumique de l'air, à utiliser dans cette salle. Nous avons pu suivre la différence de la masse volumique de l'air en la mesurant au moyen de ces

artefacts (méthode gravimétrique) et en comparant le résultat obtenu à celui donné par la formule du CIPM 2007. Nous pensons que le résultat des mesures d'artefacts est pour l'essentiel correct et que toute différence est due à des contaminants présents dans l'air du laboratoire. D'avril à juin 2010, la différence moyenne relative à l'intérieur de la balance Metrotec était de $1,5 \times 10^{-4}$, ce qui est significatif. L'évolution de cette différence fait l'objet d'une étude en continu. Les étalonnages pour lesquels des corrections significatives de poussée de l'air sont nécessaires peuvent être effectués en toute confiance dans la salle 105 en utilisant, comme il se doit, les artefacts pour la mesure de la masse volumique de l'air.

2.1.4 Susceptomètre du BIPM (R.S. Davis)

Le susceptomètre du BIPM a été utilisé pour étalonner un cylindre en acier inoxydable qui sera utilisé par le MIKES (Finlande) comme étalon de susceptibilité magnétique volumique. Le système a également servi à contrôler certains matériaux utilisés dans la balance du watt du BIPM, ainsi que dans d'autres équipements. Enfin, nous avons vérifié si la susceptibilité de deux échantillons prélevés aux extrémités du nouveau lingot en platine iridié livré était conforme à celle attendue (voir sections 2.8 et 2.10.1).

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

L'objectif de cette balance (AX 106) est d'améliorer nos étalonnages de masse entre 100 g et 5 g. Des mesures extensives ont été effectuées afin de pouvoir mettre en service ce nouveau système. L'écart-type relatif d'une série de 24 pesées est de 1 µg. Pour la décade de 10 g à 100 g, la différence entre les résultats des différentes mesures effectuées en 2009 et de celles réalisées manuellement en 2006 est inférieure dans tous les cas à 3 µg. Pour la décade de 1 g à 10 g, des étalonnages d'un ensemble de masses de transfert ont été faits avec l'artefact de 10 g utilisé comme étalon dans la balance AX 106 (voir section 2.10.2 au sujet de l'étalonnage de la masse volumique de cet ensemble de masses de transfert). Les étalonnages courants sont ensuite effectués manuellement à l'aide de notre balance UMT 5 et de l'ensemble de masses de transfert. La différence par rapport aux pesées manuelles précédentes est inférieure dans tous les cas à 2 µg.

Dans le cadre du projet de la balance du watt du BIPM, la masse de deux artefacts en cuivre de 50 g a été déterminée.

Le VSL (Pays-Bas) utilise un système similaire et nous sommes reconnaissants envers nos collègues du VSL qui ont mis à notre disposition leur logiciel. Nous avons consigné par écrit la procédure complète de validation du logiciel, tel que le requiert notre Système Qualité. Notre nouveau service fera l'objet d'un audit en septembre 2010 dans le cadre d'un examen par les pairs des services d'étalonnages de masse.

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

Nous avons mentionné l'année dernière notre intention de réévaluer les composantes de l'incertitude dues à la position des masses dans notre comparateur de masse Sartorius CCL 1007. L'objectif est de réduire l'incertitude composée qui affecte les déterminations de masse. Deux étalons de masse en acier inoxydable, présentant des volumes presque identiques, ont été utilisés afin de réduire au maximum la correction de la poussée de l'air et certaines modifications de différences de masse apparentes. Pour les huit positions possibles du carrousel, les erreurs de position restent inférieures à 1,9 μg , avec une incertitude-type associée de moins de 0,6 μg . Ces résultats sont désormais suffisamment exacts pour pouvoir exploiter pleinement le potentiel du comparateur de masses. Deux projets majeurs (voir sections 2.4 et 2.5) et deux études d'importance (voir sections 2.6 et 2.7) ont été entrepris cette année. Nous avons démontré que le comparateur de masse Sartorius CCL 1007 pouvait être utilisé pour des comparaisons de masse dans l'air et dans le vide de la plus haute exactitude.

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

Comme mentionné dans le précédent *Rapport du directeur* (2009), le BIPM est le laboratoire pilote de la comparaison internationale de masse, dans le vide, de deux sphères de 1 kg en silicium enrichi isotopiquement, appelées AVO28#5 et AVO28#8. Ce travail entre dans le cadre du projet de collaboration internationale sur la constante d'Avogadro (IAC). Les autres laboratoires participant à cette comparaison sont le NMIJ AIST (Japon) et la PTB (Allemagne). Les deux sphères ont été mesurées au BIPM pour la

première fois en 2008. Le BIPM a à nouveau eu ces sphères en sa possession en 2009. Malheureusement, entre temps, la surface de la sphère AVO28#5 avait été contaminée de façon accidentelle par des traces de Delrin® dans un laboratoire national de métrologie. La sphère a donc été envoyée à la PTB où elle a été traitée avec une solution de 5 % d'acide chromique dans de l'acide sulfurique afin d'enlever cette pollution. Le BIPM n'a pas observé de changement significatif de la masse de cette sphère après le traitement effectué par la PTB. L'incertitude-type composée pour la détermination de la masse dans le vide des deux sphères est équivalente à celle obtenue en 2008, à savoir 5,4 µg. Les résultats de 2008 et de 2009 montrent que la différence de masse entre les mesures effectuées dans l'air et dans le vide est de l'ordre de 0,1 µg et 0,9 µg respectivement pour la sphère AVO28#5, et de l'ordre de 2,0 µg et 3,2 µg pour la sphère AVO28#8. Les déterminations de la masse dans le vide en 2008 et 2009 pour AVO28#5 et AVO28#8 sont en accord à 3 µg et 7 µg près, respectivement. L'accord entre les laboratoires est de l'ordre de 10 µg et 20 µg respectivement pour les sphères AVO28#5 et AVO28#8. La comparaison internationale de masse est terminée mais une autre source de contamination de surface a depuis été identifiée. En effet, la surface de chaque sphère a été contaminée par du cuivre et du nickel pendant la phase de polissage. Les sphères devront probablement être à nouveau polies afin d'enlever cette contamination, ce qui nécessitera de répéter les comparaisons de masse entre laboratoires.

2.5 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)

Comme cela a été mentionné dans le précédent *Rapport du directeur*, 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 a effectué une comparaison, dans l'air et dans le vide, d'artefacts de sorption en acier inoxydable. Cinq laboratoires membres du comité d'organisation du sous-groupe de travail 1 y ont participé, l'objectif étant d'inclure d'autres membres du sous-groupe de travail 1 lors d'une seconde série de mesures. Le but principal de cet exercice était d'évaluer le comportement des artefacts de sorption et de valider le protocole de la comparaison à venir du sous-groupe de travail 1. Les laboratoires participant à cette étude étaient le BIPM, le LNE, la PTB, le METAS et le NPL, ce dernier étant le laboratoire pilote.

Cette comparaison qui est désormais achevée montre que la stabilité des artefacts est comparable à celle observée lors d'autres comparaisons (en tenant compte des manipulations effectuées). Les résultats des comparaisons dans l'air et dans le vide de l'ensemble des participants présentent un accord dans la limite des incertitudes déclarées, bien que les coefficients de sorption de l'eau (calculés à partir des artefacts eux-mêmes) varient entre les participants, ce qui fait encore l'objet de recherches.

2.6 Étude sur la contamination de masse dans le vide à l'aide d'un manomètre à vide (P. Barat et A. Picard)

Le NPL a présenté les conclusions de ses recherches sur la contamination d'étalons de masse dans le vide (J. Berry, S. Davidson, Contamination deposited on mass standards in vacuum from an inverted magnetron gauge, *Meas. Sci. Technol.*, 2008, **19**, 115102). Dans le cadre du projet IAC, la PTB a observé une contamination significative dans sa balance sous vide. En conséquence, le BIPM a effectué cette année des recherches pour détecter une contamination similaire dans sa propre balance sous vide. Le manomètre à vide que nous utilisons associe un magnétron inversé et une jauge Pirani en un unique équipement compact (Boc Edwards WRG-S-NW25 D147-01-000) qui fonctionne de 10^4 Pa à 10^{-7} Pa. La différence de masse dans le vide entre un artefact en platine iridié (surface égale à 72 cm^2) et une sphère de silicium (surface égale à 275 cm^2) a été déterminée. Au cours de l'étude, la pression résiduelle de notre comparateur de masses CCL 1007 était de l'ordre de 2×10^{-3} Pa. Nous avons effectué trois séries de mesures avec le manomètre sur ON, OFF puis ON. Pour les trois séries, nous avons observé une augmentation de la différence de masse dans le vide de $1,3 \text{ ng jour}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ (manomètre sur ON), $0,1 \text{ ng jour}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ (manomètre sur OFF) et $0,7 \text{ ng jour}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ (manomètre sur ON), ce qui est environ vingt fois inférieur à la contamination observée par le NPL. Toutefois, afin d'éviter toute source de contamination, nous avons installé un connecteur en forme de T entre le manomètre à vide et l'enceinte du comparateur de masses CCL 1007. L'étude sera réitérée en utilisant cette nouvelle configuration.

2.7 Étude sur le gradient gravimétrique (P. Barat et A. Picard)

Le CENAM (Mexique) a fourni au BIPM quatre artefacts de 1 kg en acier inoxydable spécialement conçus pour déterminer le gradient de l'accélération gravitationnelle locale par comparaisons de masse. La hauteur du centre de masse de deux des artefacts, de forme cylindrique, diffère de près de 20 mm, si bien que l'on peut s'attendre à une différence de masse apparente de près de 6 μg due au gradient gravimétrique. Les deux autres artefacts sont en forme d'haltères asymétriques ; leur centre de gravité n'est pas aligné sur l'axe vertical. Ainsi, en pesant les artefacts dans le vide (pression de 2 mPa) puis en les retournant pour les mettre en position inverse, il est possible de déterminer le gradient local de l'accélération gravitationnelle à partir des différences de masse et de la valeur nominale de g . Cette étude est en cours.

2.8 Création et conservation d'un ensemble d'étalons de masse (P. Barat, F. Idrees, E. de Mirandes et A. Picard)

Afin d'anticiper la redéfinition du kilogramme, le BIPM crée un ensemble d'étalons de masse. La masse moyenne des étalons constituant cet ensemble permettra de garantir la stabilité de la référence de masse du BIPM, qui sera utilisée pour la dissémination de l'unité de masse. Cette masse moyenne devra aussi être traçable à la définition à venir du kilogramme, ce qui nécessitera que des comparaisons à des réalisations primaires de la nouvelle définition du kilogramme soient effectuées. Cet ensemble sera composé d'environ douze étalons de masse fabriqués en platine iridié, en monocristal de silicium, en acier inoxydable et, peut-être, dans un matériau supplémentaire. Une étude initiale est programmée, dont l'objectif est de contrôler la stabilité de la masse des étalons en fonction des conditions de stockage afin de déterminer comment optimiser ces conditions de stockage pour le futur. Un premier groupe d'artefacts sera stocké dans le vide (à environ 1 mPa), deux autres groupes le seront dans des gaz chimiquement inertes tels que l'azote et l'argon, et un dernier groupe sera stocké dans l'air ambiant. Tous les artefacts seront stockés sur un support en plastique PEEKTM à l'intérieur de caissons en acier inoxydable polis par électrolyse. Le gaz inerte circulera dans le dispositif de stockage à un débit d'environ 0,1 l/min. On contrôlera la présence d'oxygène, d'eau et d'hydrocarbures dans le gaz de sortie, à un niveau relatif de 1×10^{-6} . Le gaz résiduel présent dans le dispositif de stockage dans le vide sera également contrôlé au même

niveau d'incertitude. Aucun système de circulation de gaz ou de contrôle des impuretés n'est prévu pour les artefacts stockés dans l'air ambiant. Les caissons ont été fabriqués par l'atelier de mécanique du BIPM et le réseau reliant les caissons aux sources de gaz et aux analyseurs est en cours de construction.

2.9 Coopération trilatérale entre le NPL, le METAS et le BIPM (S. Davidson – NPL, P. Fuchs – METAS et A. Picard)

Le programme de travail actuel, dont les activités sont limitées par le budget approuvé par la Conférence générale des poids et mesures (CGPM) à sa 23^e réunion (2007), concerne les années 2009 à 2012. Le niveau de financement approuvé par la CGPM n'a pas permis au Département des masses de mettre en œuvre le programme qu'il souhaitait. En raison de cette limitation du budget, le NPL puis le METAS ont proposé de collaborer avec le BIPM, en affectant des membres de leur personnel ou en fournissant d'autres types de ressources au cours des années 2009 à 2012, afin de soutenir les activités du Département des masses du BIPM concernant la préparation de la mise en pratique de la nouvelle définition à venir du kilogramme. Le NPL a mis à la disposition du BIPM un physicien chercheur travaillant principalement au NPL et consacrant 60 % de son temps de travail annuel à des activités qui sont essentielles pour le BIPM et qui présentent un intérêt pour le NPL. Le METAS contribue à cette coopération en fournissant, tel que cela a été prévu, un physicien y consacrant au plus 50 % de son temps de travail annuel.

Cette coopération porte sur les domaines suivants :

- la méthodologie des comparaisons de masse dans l'air et dans le vide, que l'on peut étudier par mesure gravimétrique au BIPM, le NPL et le METAS travaillant de façon indépendante sur des artefacts de surface qu'ils fournissent ;
- l'analyse de surface par spectrométrie de photoélectrons induits par rayons X d'échantillons appartenant au METAS, ou fournis par le BIPM ou le NPL. Ce projet concernera en particulier des échantillons en platine iridié, silicium et alliage d'or fournis par le BIPM ;
- les comparaisons de masse, dans le vide ou en atmosphère inerte, d'artefacts transportés dans des conditions similaires à celles des comparaisons prévues. Un sas externe est nécessaire pour charger les

artefacts, ainsi que des conteneurs de transport spécialement conçus à cet effet ;

- l'efficacité des méthodes de nettoyage utilisées pour les différents matériaux (platine iridié, silicium et, peut-être, alliage d'or). Celle-ci peut être déterminée à l'aide de mesures gravimétriques associées à l'analyse par spectrométrie de photoélectrons induits par rayons X. Les méthodes de nettoyage étudiées comprennent : le jet de plasma d'hydrogène ou d'oxygène à basse pression (méthode mise au point par le METAS) ; l'exposition à l'ozone et à la lumière ultraviolette (méthode UVOx mise au point par le NPL) ; la méthode traditionnelle de nettoyage et de lavage utilisée par le BIPM ; et la méthode mise au point par le NMIA dans le cadre du projet de collaboration internationale sur la constante d'Avogadro (méthode utilisant un solvant).

Cette coopération est en cours et certains résultats ont déjà été obtenus en ce qui concerne :

- a) les procédures de nettoyage,
- b) la stabilité de masse dans l'air et dans le vide pour le platine iridié, le silicium naturel et l'acier inoxydable,
- c) les comparaisons de masse dans le vide,
- d) les conteneurs utilisés pour le transfert des étalons de masse,
- e) les conditions de stockage des étalons de masse,
- f) la contamination des échantillons en platine iridié après nettoyage.

2.10 Masse volumique et volume (R.S. Davis, C. Goyon-Taillade et F. Idrees)

2.10.1 Masse volumique et volume d'étalons de masse de plus de 300 g (R.S. Davis et C. Goyon-Taillade)

Cette année, nous avons déterminé la masse volumique de deux étalons de masse en acier inoxydable appartenant au NIS (Égypte). Cette activité est un service habituel proposé aux laboratoires nationaux de métrologie.

Afin de préparer l'ensemble d'étalons de masse qui sera nécessaire à la dissémination de l'unité de masse une fois le kilogramme redéfini (voir section 2.8), des tests de validation ont été réalisés sur deux échantillons de 300 g prélevés aux extrémités du lingot en platine iridié. Ce test est décrit en

détail dans le protocole technique qui a été établi en accord avec notre fournisseur, Johnson Matthey. L'atelier de mécanique du BIPM fabrique actuellement quatre cylindres et une pile de huit disques à partir de ce lingot. Une fois fabriqués, ces artefacts constitueront les éléments en platine iridié de l'ensemble.

Une comparaison bilatérale de la masse volumique d'un cylindre en platine iridié a été effectuée avec la PTB (Allemagne) en 2009. La masse de l'artefact était alors supérieure de 16 g à 1 kg (et a ensuite été ajustée au BIPM à 1 kg avec une tolérance de 1 mg). Les détails de cette comparaison seront publiés dans un rapport BIPM accessible au public, co-édité par nos collègues de la PTB. Ce rapport est en cours de rédaction.

2.10.2 Masse volumique et volume d'étalons de masse de moins de 100 g (R.S. Davis, C. Goyon-Taillade et F. Idrees)

Nous avons déterminé les volumes d'un étalon de masse de 10 g et de cinq étalons de masse de 1 g à 5 g, ces derniers ayant été spécialement conçus pour être utilisés comme étalons de transfert entre les balances AX 106 et UMT 5 (voir section 2.2). Par ailleurs, la masse volumique de deux artefacts de 50 g en cuivre a été déterminée dans le cadre du projet de la balance du watt du BIPM.

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

Les étalonnages des manomètres du BIPM par rapport à la balance de pression conservée au Département des masses ont été effectués quatre fois cette année. Trente-deux certificats internes ont été délivrés aux départements scientifiques du BIPM (y compris au Département des masses). Outre ces étalonnages, trois instruments ont été vérifiés. En septembre 2009, nos aptitudes en matière d'étalonnages ont fait l'objet, avec succès, d'un examen par les pairs effectué par un expert de la PTB.

2.12 Générateur d'humidité (C. Goyon-Taillade et F. Idrees)

Nous avons continué à mettre au point un générateur d'humidité, l'objectif étant de mettre en place un service d'étalonnage interne pour les instruments secondaires servant à mesurer l'humidité ou le point de rosée de l'air

ambiant. Le système est un générateur à deux niveaux de température et un niveau de pression avec recirculation totale. Une fois les problèmes liés au gradient thermique à l'intérieur du saturateur détectés, un nouveau modèle de saturateur a été conçu et fabriqué par l'atelier de mécanique du BIPM. La température sera contrôlée à l'aide de thermomètres à résistance de platine étalon placés à quatre emplacements différents dans le saturateur (dans l'eau, dans l'air au-dessus de l'eau, à proximité du conduit d'arrivée et de celui de sortie).

2.13 Conférences et voyages : Département des masses

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

R. Davis :

- Université de Reading (Royaume-Uni de Grande Bretagne et d'Irlande du Nord), le 7 août 2009, pour une réunion du groupe du CCU chargé de proposer de nouvelles définitions pour les unités de base du SI ;
- 19^e conférence internationale IMEKO, Lisbonne (Portugal), du 7 au 11 septembre 2009, avec A. Picard, pour présider un atelier organisé par le BIPM sur la redéfinition du kilogramme et pour assister à une réunion de l'IMEKO TC3 ;
- INRIM, Turin (Italie), les 22 et 23 septembre 2009, pour assister au 4^e atelier international sur les progrès de la détermination de la constante de Boltzmann ;
- INRIM, Turin (Italie), le 23 septembre 2009, pour assister à la réunion du sous-groupe de travail du Groupe de Travail 4 du CCT sur le SI en qualité de membre *ex officio* ;
- Laboratoire de l'accélérateur linéaire (LAL), Orsay (France), le 20 octobre 2009, pour une présentation invitée sur la redéfinition du kilogramme ;
- INDECOPI, Lima, (Pérou), du 2 au 5 novembre 2009, pour donner une conférence lors d'un atelier du SIM sur la métrologie des masses ;
- LNE et LNE-INM/Cnam, Paris, Trappes, Saint-Denis (France), les 18 et 19 février 2010, en tant que membre d'un comité organisé par l'Agence d'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur (AERES) ;

- NMC, A*STAR (Singapour), du 1^{er} au 4 mars 2010, pour une évaluation par les pairs des services de masse ;
- Comité technique de l'EURAMET sur la thermométrie, Thessalonique (Grèce), les 14 et 15 avril 2010, pour faire un compte rendu sur les activités du CCT ;
- NMIJ, Tsubuka (Japon), le 24 mai 2010, pour des discussions techniques ;
- Université de Tokyo (Japon), le 25 mai 2010, pour rendre visite au groupe de M. Kuroda ;
- 10^e symposium international de métrologie, Tokyo (Japon), le 26 mai 2010, pour une présentation invitée intitulée « The next generation of mass standards » ;
- Symposium TEMPMEKO & ISHM, Portoroz (Slovénie), du 31 mai au 3 juin 2010 ;
- VNIIM, Saint-Pétersbourg (Fédération de Russie), le 21 juin 2010, avec Z. Jiang, pour une réunion du Groupe de travail du CCM sur la gravimétrie ;
- Symposium de l'AIG « TGSMM 2010 », Saint-Pétersbourg (Fédération de Russie), du 22 au 25 juin 2010.

A. Picard :

- 19^e Conférence internationale IMEKO, Lisbonne (Portugal), du 7 au 11 septembre 2009, pour assister à la conférence et y faire une présentation sur les progrès de l'expérience de la balance du watt lors de l'atelier sur la redéfinition du kilogramme ;
- INRIM, Turin (Italie), les 22 et 23 septembre 2009, pour assister au 4^e atelier international sur les progrès de la détermination de la constante de Boltzmann ;
- INRIM, Turin (Italie), le 23 septembre 2009, pour assister en tant qu'invité du président à la réunion du sous-groupe de travail du Groupe de Travail 4 du CCT sur le SI ;
- ILL, Grenoble (France), les 26 et 27 novembre 2009, pour assister à une réunion sur le projet de collaboration internationale sur la constante d'Avogadro (IAC) ;
- Comité technique de l'EURAMET sur la masse, Istanbul (Turquie), du 3 au 5 mars 2010 ;

- Comité technique de l'EURAMET sur la thermométrie, Thessalonique (Grèce), du 14 au 16 avril 2010 ;
- KRISS, Daejeon (Rép. de Corée), les 10 et 11 juin 2010, pour assister à une réunion sur le projet de collaboration internationale sur la constante d'Avogadro (IAC).

2.14 Activités liées au travail des Comités consultatifs

M. Davis est secrétaire exécutif du CCM et du CCT, et membre de plusieurs de leurs groupes et sous-groupes de travail. Le CCM et le CCT se sont réunis au début de l'année 2010.

A. Picard coordonne les mesures de masse dans le cadre du projet de collaboration internationale sur la constante d'Avogadro et du Groupe de travail du CCM sur la constante d'Avogadro (voir section 2.4). Il est membre du Groupe de travail du CCM sur la définition du kilogramme dans le SI et du comité d'organisation du sous-groupe de travail 1 du Groupe de travail du CCM sur les étalons de masse, qui sont chargés d'étudier les différents aspects de la mise en pratique de la nouvelle définition du kilogramme.

2.15 Visiteurs du Département des masses

- M. Luis Manuel Peña (CENAM), du 3 au 10 juillet, pour apporter le prototype n° 21 à étalonner et pour travailler sur certains points de la métrologie des masses ; le 23 juillet 2009, pour venir chercher le prototype n° 21 après son étalonnage.
- M. Mitsuru Tanaka (président du CCM), le 4 septembre 2009, pour préparer la réunion du CCM de mars 2010.
- M. W. Sabuga (PTB), le 17 septembre 2009, pour une évaluation par les pairs de notre service d'étalonnage interne pour la pression atmosphérique.
- M. Naoki Kuramoto (NMIJ/AIST), les 1^{er} et 2 octobre 2009, pour des discussions techniques et pour venir chercher les sphères de silicium du projet de collaboration internationale sur la constante d'Avogadro (IAC).

- M. J. Soullard, société MBraun France, Orsay (France), le 16 novembre 2009, pour commencer la construction de la boîte à gants ; les 27 mai et 30 juin 2010, pour effectuer des tests.
- M. P. Richard, sous-directeur du METAS, le 11 janvier 2010, pour coordonner les réunions des groupes de travail du CCM et l'atelier prévus en mars 2010.
- M. L. Nielsen (DFM), président du sous-groupe de travail 2 du Groupe de travail du CCM sur les étalons de masse, les 11 et 12 janvier 2010, pour coordonner l'atelier et les réunions des sous-groupes de travail du CCM prévus en mars 2010.
- M. D. Heydenbluth et M. Schreiber, Sartorius AG, le 5 février 2010, pour effectuer des réglages sur le conteneur à déchargement automatique.
- M. M. Kliebenschädel, Mettler-Toledo, Greifensee (Suisse), du 16 au 19 février 2010, pour déplacer la balance Metrotec de la salle 104 à la salle 105.
- M. Hazim Abdallah (NIS), du 17 au 20 mai 2010, pour apporter des étalons de masse à étalonner et discuter de points techniques.

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

3.1 Temps atomique international (TAI) et Temps universel coordonné (UTC) (E.F. Arias, A. Harmegnies, 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 horaires qui maintiennent des réalisations locales de l'UTC ; les données mensuelles sont publiées chaque mois dans la *Circulaire T. Le Rapport annuel du BIPM sur les activités du temps*, volume 4, complété par des fichiers informatiques accessibles sur le site internet du BIPM, donne les résultats définitifs de l'année 2009. À compter de ce volume, le *Rapport annuel du BIPM sur les activités du temps* ne sera disponible qu'au format électronique ; il est publié

sur le site internet du BIPM, à l'adresse www.bipm.org/en/publications/time_activities.html

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 sur les algorithmes utilisés pour établir les échelles de temps, effectué par le Département afin d'améliorer la stabilité à long terme de l'EAL et l'exactitude du TAI, continue.

Suite à l'étude des prédictions de fréquence d'horloges et à la conclusion selon laquelle les masers à hydrogène ne peuvent être responsables que d'environ 20 % de la dérive de l'EAL, une analyse comparative des algorithmes de différentes échelles de temps a été entreprise et est toujours en cours.

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 2009. 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 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 2009, des mesures ponctuelles de la fréquence du TAI ont été délivrées par treize étalons primaires de fréquence, dont neuf fontaines à césium (IT CSF1, LNE-SYRTE FO1, LNE-SYRTE FO2, LNE-SYRTE FOM, NICT CSF1, NIST F1, NMIJ F1, PTB CSF1 et PTB CSF2). Des rapports sur le fonctionnement et les résultats des étalons primaires de fréquence sont publiés régulièrement sur le site internet du BIPM et sont présentés dans le *Rapport annuel du BIPM sur les activités du temps*.

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 2009, 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 $-6,1 \times 10^{-15}$.

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(BIPM09), valable jusqu'en décembre 2009, qui présente une exactitude caractérisée par une incertitude-type relative estimée à environ 5×10^{-16} . Par ailleurs, depuis janvier 2010, nous fournissons chaque mois une extension de TT(BIPM09) fondée sur le calcul le plus récent du TAI. Une telle extension est pratique pour l'analyse des données de pulsars, en attendant les mises à jour annuelles de TT(BIPM). 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.

3.2.4 Représentations locales de l'UTC dans les laboratoires nationaux telles que diffusées par les systèmes GNSS

Par suite à la recommandation faite par le CCTF en 2009, des travaux préparatoires ont été entrepris dans le Département du temps afin de publier les écarts de temps entre la réalisation en temps réel de l'UTC maintenue par l'Observatoire naval des États-Unis d'Amérique, UTC(USNO), telle que diffusée par le GPS, et l'UTC disséminé dans la *Circulaire T* du BIPM, d'une part, et celle maintenue par le VNIIFTRI, UTC(SU), telle que diffusée par le GLONASS, et l'UTC, d'autre part.

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

Certains membres du Département 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, et au Groupe de travail du CCTF sur les étalons primaires 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. Les dernières modifications apportées à la liste des valeurs de la fréquence et de l'incertitude associée pour les transitions du Rb, de l'ion Hg^+ , de l'ion Yb^+ , de l'ion Sr^+ et du Sr ont été recommandées par le CCTF en juin 2009 ; aucune autre mise à jour n'a été effectuée au cours de la période couverte par le présent rapport. Le personnel du Département continue à participer aux travaux liés aux étalons de fréquence optiques, domaine d'activité en évolution très rapide, en étudiant, par exemple, leur comparaison à un niveau d'incertitude relative de 10^{-17} .

* Retraité depuis le 31 août 2009.

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 69 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.

Des progrès significatifs ont été effectués par le Département concernant les liaisons horaires utilisées pour le calcul du TAI ; les résultats de trois techniques indépendantes sont utilisés pour le calcul des comparaisons des horloges des laboratoires participants, fondées sur l'observation des satellites du GPS et du GLONASS, et sur 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). Les comparaisons d'horloges peuvent être réalisées au moyen de récepteurs du GPS à une seule fréquence et de mesures du code C/A, ou de récepteurs géodésiques du GPS à deux fréquences et à canaux multiples (de type P3). Les récepteurs classiques du GPS à un seul canal et une seule fréquence, qui représentent aujourd'hui 3 % 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, ce qui représente 15 % des liaisons horaires. Des liaisons supplémentaires par aller et retour existent dans la région Asie-Pacifique mais elles ne sont pas officiellement incluses dans les calculs ; de nombreux autres laboratoires européens s'équipent en vue d'utiliser cette technique.

Les mesures de phase et de code des signaux du GPS fournies par les laboratoires du temps sont traitées chaque mois à l'aide de la technique de positionnement précis (PPP). Suite à l'approbation du CCTF lors de sa réunion de juin 2009, de telles liaisons PPP ont été introduites au calcul du TAI depuis septembre 2009. Le nombre de laboratoires concernés de façon régulière est désormais de 30, et environ 15 liens de ce type sont utilisés pour le calcul du TAI. Des comparaisons entre les résultats de liaisons obtenus par PPP, par aller et retour sur satellites géostationnaires et par des récepteurs de type P3, sont publiées chaque mois sur le serveur FTP du Département.

Le Département continue à étudier les autres méthodes et techniques de comparaisons de temps et de fréquences.

La première comparaison horaire fondée sur des observations simultanées des satellites du GLONASS et utilisant des mesures du code civil a été intégrée au calcul du TAI en novembre 2009 pour le lien entre la PTB (Allemagne) et le VNIIFTRI (Fédération de Russie). Les résultats obtenus sont cohérents avec les liaisons à une seule fréquence et à canaux multiples du GPS.

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

Pour toutes les liaisons du GNSS, les données sont corrigées pour tenir compte des positions des satellites déduites des éphémérides précises, calculées rétrospectivement par l'IGS et l'ASE. Les corrections pour le retard dû à la traversée de l'ionosphère des données des récepteurs à une seule fréquence sont déduites du contenu total d'électrons de l'ionosphère tel que cartographié par 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 du Département du temps, des fréquences et de la gravimétrie.

La méthode mise au point pour effectuer l'étalonnage absolu des retards du récepteur Ashtech Z12-T permet au BIPM d'utiliser ce récepteur pour étalonner de manière différentielle des récepteurs similaires dans le monde. Les campagnes d'étalonnage ont débuté en janvier 2001. Des résultats d'étalonnage ont également été obtenus pour d'autres récepteurs : le récepteur Septentrio PolaRx2, depuis 2006, et les récepteurs Dicom GTR50 et Javad JPS E-GGD, depuis 2009. D'autres types de récepteurs sont à l'étude, en collaboration avec les laboratoires qui en sont équipés. Depuis

2009, le récepteur voyageur du BIPM pour les étalonnages différentiels est un GTR50. Dans tous les cas, au moins deux récepteurs restent au BIPM pour servir de référence locale à laquelle le récepteur voyageur est comparé entre les campagnes d'étalonnage. Les résultats des exercices d'étalonnage différentiel sont disponibles sur une page spéciale du site internet du BIPM (www.bipm.org/jsp/en/TimeCalibrations.jsp), sur laquelle les résultats d'étalonnages précédents sont également fournis.

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. Le BIPM calcule ses propres solutions pour de telles liaisons depuis octobre 2007, à l'aide du logiciel GPSPPP de positionnement précis du GPS fourni par RNCAN (Ressources Naturelles Canada), et ces liaisons ont été intégrées au calcul régulier du TAI depuis septembre 2009.

En ce qui concerne le GLONASS, des travaux sur les liaisons horaires P3 et sur celles utilisant la technique de positionnement précis (PPP) ont commencé en juin 2010.

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 2009, et le Groupe de travail du CCTF sur les comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite s'est réuni à l'Observatoire polonais AOS (Poznań) en octobre 2009. L'équipement pour les comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite est actuellement opérationnel 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 participe également à l'étalonnage des liaisons horaires par comparaison de temps par aller et retour sur satellite par rapport au GPS.

Les résultats des liaisons horaires et des comparaisons de liaisons par récepteurs du GNSS à une ou deux fréquences et par observations par aller et retour sont publiés chaque mois sur le serveur FTP du Département du temps, des fréquences et de la gravimétrie (<ftp://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 2009 à juin 2010, des récepteurs du GPS et du GLONASS à une ou deux fréquences ont été étalonnés. Le BIPM participe aussi à 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.

Une doctorante a commencé à travailler sur l'étalonnage absolu des récepteurs du GNSS, grâce à une collaboration cofinancée par le CNES à laquelle participe également le LNE-SYRTE. En 2009, un travail visant à effectuer un étalonnage absolu des antennes du GNSS a été entrepris au CNES. Par ailleurs, ce travail de doctorat comprend une étude globale de tous les résultats d'étalonnages 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.

Une coopération avec l'EURAMET a commencé : son but est d'obtenir un soutien régional pour l'étalonnage des équipements du GNSS installés dans des laboratoires participant au TAI. Cette activité suit la Recommandation CCTF 2 (2009) et ouvre la voie à de possibles collaborations avec d'autres organisations régionales de métrologie.

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

Les résultats pour les laboratoires de temps ayant signé le CIPM MRA de la comparaison clé dans le domaine du temps, CCTF-K001.UTC, ont été régulièrement publiés dans la KCDB après la publication mensuelle de la *Circulaire T* jusqu'en juin 2009. Depuis, la KCDB propose seulement un lien à la dernière *Circulaire T*.

Comme cela a été requis par le CCTF en juin 2009, le Département du temps, des fréquences et de la gravimétrie prépare un document de directives pour déterminer la traçabilité de la fréquence des réalisations locales UTC(k) à la seconde du SI.

Conformément à la décision du CIPM à sa 98^e session (2009), le BIPM continue à soutenir la comparaison clé CCL-K11 en participant aux campagnes de mesures et en apportant des conseils d'ordre général. Le BIPM a en particulier participé à la campagne de mesures qui a eu lieu au NMIJ/AIST en avril 2010, à laquelle huit laboratoires ont participé avec succès. En tenant compte également d'une campagne similaire organisée au NRC en septembre 2009, ainsi que des mesures réalisées au BEV et au MIKES, le nombre total de laboratoires nationaux de métrologie participants est désormais de 17, ce qui prouve qu'après une période de démarrage, la comparaison clé CCL-K11 se déroule efficacement et fournit des résultats permettant d'étayer les déclarations de CMCs.

3.6 Pulsars (G. Petit)

Il a été mis fin à notre collaboration avec l'Observatoire Midi-Pyrénées (OMP, Toulouse, France) concernant l'étude des pulsars. Nous poursuivons notre collaboration avec d'autres 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. Le Département du temps, des fréquences et de la gravimétrie fournit à ces groupes sa réalisation du temps terrestre, TT(BIPM), en temps différé.

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

Le BIPM maintient le site Web et le serveur FTP des *Conventions de l'IERS* (tai.bipm.org/iers/). Des mises à jour des *Conventions* de 2003 ont été placées sur le site Web (tai.bipm.org/iers/convupdt) ; elles portent sur plusieurs modèles nouveaux décrivant les effets qui affectent le positionnement sur la Terre au niveau millimétrique, niveau qui devient significatif. Ces changements sont à l'étude 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* devrait être disponible avant la fin de 2010.

Des activités liées à la réalisation de repères de référence pour l'astronomie et pour la géodésie sont menées en collaboration 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 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 des activités du Département du temps, des fréquences et de la gravimétrie, les activités dans ce domaine sont limitées à la maintenance des peignes de fréquence pour des applications internes au BIPM.

* Retraité depuis le 31 août 2009.

3.9 Service d'étalonnage et de mesurage (L. Robertsson et L. Tisserand)

Le Département fournit un service d'étalonnage et de mesurage de peignes et 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.

Vingt lasers ont été mesurés pour l'ICAG-2009. Comme prévu, pour la première fois au cours de cette comparaison internationale, des études sur les caractéristiques des faisceaux des interféromètres des gravimètres participants ont été réalisées afin de tenir compte de petites corrections liées aux effets de la diffraction.

La fréquence des horloges à rubidium des gravimètres a été vérifiée à plusieurs reprises au cours de la campagne de mesures.

3.10 Cuves à iode (R. Felder*, J. Labot† et L. Robertsson)

Conformément à la décision du CIPM, il a été mis fin au service de remplissage et de vérification de cuves à iode du BIPM le 31 juillet 2009, une fois les dernières cuves livrées aux laboratoires nationaux ainsi qu'à divers instituts.

3.11 Gravimètre FG5-108 (L. Vitushkin‡)

Après avoir modifié la tête du laser compact à Nd:YVO₄/KTP/I₂, à la longueur d'onde de 532 nm, ainsi que le système délivrant le faisceau lumineux à l'interféromètre du gravimètre FG5-108 au moyen d'une fibre optique, le gravimètre a donné de bons résultats. Toutefois, une fois le moteur de la chambre de chute et le système de contrôle de chute remplacés, les tests effectués après plusieurs réajustements ont montré à nouveau un dysfonctionnement du gravimètre. Après plusieurs essais et après en avoir

* Retraité depuis le 31 août 2009.

† Retraité depuis le 30 juin 2009.

‡ Retraité depuis le 30 novembre 2009.

discuté avec les concepteurs de l'instrument, il a été décidé d'arrêter les mesures.

3.12 Huitième comparaison internationale de gravimètres absolus, ICAG-2009 (L. Vitushkin, Z. Jiang, L. Robertsson et L. Tisserand)

Contrairement aux précédentes comparaisons de gravimètres absolus, l'ICAG-2009 s'est déroulée en deux parties consécutives, la comparaison clé CCM.G-K1 d'une part et une étude pilote d'autre part, qui ont rassemblé respectivement 12 et 10 participants. C'était la première fois qu'une comparaison clé de gravimétrie absolue était organisée. La comparaison clé et l'étude pilote ont été réalisées de façon générale selon le même protocole, même si des conditions assouplies étaient acceptées pour l'étude pilote. Un programme sur cinq sites comprenant trois mesures pour chaque instrument était prévu. Une évaluation préliminaire de l'ensemble des résultats a été effectuée et un projet A de rapport a été édité.

Dans le cadre de l'ICAG-2009, des mesures de la fréquence des lasers et des étalons à rubidium des gravimètres ont été réalisées. Un laser de référence du BIPM, étalonné préalablement à l'ICAG-2009 à l'aide d'un système à peigne de fréquence optique, a été utilisé comme référence pour les mesures des battements de fréquence. Dans le cas des étalons à rubidium, on a utilisé un signal de référence étalonné par rapport à l'UTC, et des mesures de fréquence et de stabilité ont été effectuées à l'aide d'un phasemètre.

Par ailleurs, des mesures des paramètres des faisceaux des lasers utilisés pour la détermination par interférométrie de la position de la masse d'essai en chute libre ont été effectuées, ce qui est important pour obtenir une bonne estimation de l'erreur due au déphasage de Gouy.

Des mesures ont été réalisées, à l'aide de quelques uns des gravimètres participants, à deux emplacements de la salle où sera installée la balance du watt. Ces mesures, qui ne sont pas incluses dans le rapport officiel, serviront à contrôler la stabilité du champ gravitationnel de la salle.

3.13 Publications, conférences et voyages : Département du temps, des fréquences et de la gravimétrie

3.13.1 Publications extérieures

1. Arias E.F., Current and future realizations of coordinate time scales, *Proc. IAU Symp.* **261**, Cambridge University Press, 2010, 16-21.
2. Arias E.F., Panfilo G., Impact of new frequency standards on the international timescales, *Proc. IAU*, Vol **5**, 2010, 223-224.
3. Harmegnies A., Panfilo G., Arias E.F., Detection of outliers in TWSTFT data used in TAI, *Proc. 41st PTTI Systems and Applications Meeting*, 2010, 421-432.
4. Harmegnies A., Panfilo G., Arias E.F., BIPM time activities update, *Proc. 41st PTTI Systems and Applications Meeting*, 2010, 183-188.
5. Jiang Z., Arias E.F., Lewandowski W., Petit G., Toward unified TWSTFT and GNSS delay characterization for UTC time transfer?, *Proc. EFTF 2010*, 2010, CD-ROM.
6. Jiang Z., Lewandowski W., Konaté H., TWSTFT Data Treatment for UTC time transfer, *Proc. 41st PTTI Systems and Applications Meeting*, 2010, 409-420.
7. Jiang Z., Petit G., Combination of TWSTFT and GNSS for accurate UTC time transfer, *Metrologia*, 2009, **46**, 305-314.
8. Jiang Z., Becker M., Francis O., et al, Relative Gravity Measurement Campaign during the 7th International Comparison of Absolute Gravimeters, *Metrologia*, 2009, **46**, 214-226.
9. Jiang Z., Fully use of the redundancy in TWSTFT and GNSS time and frequency transfer, *Proc. EFTF2009*, 1194-1197.
10. Jiang Z., Lewandowski W., Konaté H., TWSTFT data treatment for UTC time transfer, *Proc. 41st PTTI Systems and Applications Meeting*, 2010, 409-420.
11. Jiang Z., Piester D., Liang K., Restoring a TWSTFT Calibration with a GPS Bridge - a standard procedure for UTC time transfer, *Proc. EFTF 2010*, 2010, CD-ROM.
12. Jiang Z., Interpolation of TW time transfer from measured points onto standard MJD for UTC generation, *Proc. EFTF 2010*, 2010, CD-ROM.
13. Lewandowski W., Jiang, Z., Use of GLONASS at the BIPM, *Proc. 41st PTTI Systems and Applications Meeting*, 2010, 5-14.

14. Lewandowski W., Jiang Z., Use of GLONASS at the BIPM, *Proc. PTTI2009*, 2010, 5-13.
15. Liu Y., Jiang Z., Precise time transfer activities in Singapore, *Proc. EFTF-IFCS 2009*, 2010, 634-638.
16. Ma C., Arias E.F., Bianco G., Boboltz D., Bolotin S., Charlot P., Engelhardt G., Fey A., Gaume R., Gontier A.-M., Heinkelmann R., Jacobs C., Kurdubov S., Lemberg S., Malkin Z., Nothnagel A., Petrov L., Skurikhina E., Sokolova J., Souchay J., Sovers O., Tesmer V., Titov O., Wang G., Zharov V., The Second Realization of the International Celestial Reference Frame by Very Long Baseline Interferometry, *IERS Technical Note N°35*, 2009.
17. Panfilo G., Arias E.F., Algorithms for International Atomic Time, *UFFC special issue on the 2009 Joint Meeting of the EFTF and IEEE FCS*, 2010, 140-150.
18. Panfilo G., Arias E.F., Studies and possible improvements on EAL algorithm, *Proc. EFTF-IFCS 2009*, 2010, 110-115.
19. Petit G., Relativity in the IERS Conventions, *Proc IAU Symposium 261*, Cambridge University Press, 2010, 16-21.
20. Petit G., Current use of GNSS time transfer in TAI and future strategies, *Proc. 2nd Int. Colloq. on scientific and fundamental aspects of Galileo*, 2009, CD-Rom.
21. Petit G., Luzum B., Report of the IERS Conventions Center, *IAU Transactions XXIB*, 2010.
22. Petit G., Atomic time scales TAI and TT(BIPM): present performances and prospects, *Proc. IAU*, Vol 5, 2010, 220-221.
23. Souchay J., Andrei A., Barache C., Bouquillon S., Suchet D., Baudin M., Gontier A.-M., Lambert S., Le Poncin Lafitte C., Taris F., Arias E.F., The construction of the Large Quasar Astrometric Catalogue, *A&A* 494, 2, 2009, 799-815.
24. Zhang H., Li H., Lewandowski W., Jiang Z., TWSTFT activities at NTSC, *Proc. EFTF-IFCS 2009*, 2010, 1206-1208.

3.13.2 Publications du BIPM

25. *Rapport annuel du BIPM sur les activités du temps (2009)*, 2010, 4, 104 p., disponible uniquement à l'adresse www.bipm.org/en/publications/time_activities.html

26. *Circulaire T* (mensuelle), 7 p.
27. Lewandowski W., Tisserand L., Relative characterization of GPS time equipment delays at the OP, AOS, GUM, LT, TP, BEV, OMH, NIMB, NMC, and ZMDM, *Rapport BIPM-2010/02*, 27 p.
28. Lewandowski W., Tisserand L., Relative characterization of GPS time equipment delays at the OP, PTB, AOS, USNO and IT, *Rapport BIPM-2010/03*, 16 p.
29. Lewandowski W., Tisserand L., Relative characterization of GNSS receiver delays for GPS and GLONASS C/A codes in the L1 frequency band at the OP, SU, PTB and AOS, *Rapport BIPM-2010/04*, 40 p.

3.13.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

E.F. Arias :

- Rio de Janeiro (Brésil), du 2 au 7 août 2009, pour participer à la discussion commune 6 sur le temps lors de la 27^e assemblée générale de l'UAI et pour y faire une présentation, ainsi que pour assister à des réunions des commissions 18, 31 et 52 ;
- Buenos Aires (Argentine), du 30 août au 12 septembre 2009, pour une présentation lors de l'assemblée scientifique de l'AIG, pour une réunion du comité d'organisation du GGOS, et pour une réunion du directoire de l'IGS ;
- Saint-Petersbourg (Fédération de Russie), du 14 au 18 septembre 2009, pour la 4^e réunion de l'ICG et pour une réunion du groupe de travail D sur le temps et les références géodésiques et de ses sous-groupes ;
- Vienne (Autriche), le 15 février 2010, pour une réunion préparatoire de la 5^e réunion de l'ICG ;
- Thessalonique (Grèce), du 15 au 17 mars 2010, pour une réunion du comité technique de l'EURAMET sur le temps et les fréquences ;
- Paris (France), le 15 juin 2010, pour une présentation lors de l'atelier sur les quasars et sur les galaxies non résolues avec Gaia ;
- Newcastle (Royaume-Uni de Grande Bretagne et d'Irlande du Nord), du 28 juin au 1^{er} juillet 2010, pour une présentation invitée lors de l'atelier de l'IGS, et pour une réunion du groupe de travail D sur le temps et les références géodésiques et de ses sous-groupes.

A. Harmegnies :

- Albuquerque, Nouveau Mexique (États-Unis d'Amérique), du 14 au 22 novembre 2009, pour le cours didactique du PTTI, pour faire un exposé et présenter un poster lors de la 41^e réunion des systèmes et applications du PTTI, et pour une réunion des stations participant aux comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite ;
- Orsay (France), du 22 au 25 juin 2009, pour une formation sur FORTRAN ;
- Bruxelles (Belgique), du 27 au 30 juillet 2009, pour travailler sur les comparaisons d'horloges par GNSS pour le calcul du TAI.

Z. Jiang :

- Saint-Pétersbourg (Fédération de Russie), du 20 au 25 juin 2010, pour le symposium de l'AIG sur la gravimétrie terrestre, et pour une réunion du Groupe de travail du CCM sur la gravimétrie.

W. Lewandowski :

- Varsovie (Pologne), du 28 au 30 septembre 2009, le 13 octobre 2009, les 25 et 26 mai 2010, et les 23 et 24 juin 2010, au SRC (Space Research Centre) et au GUM (Central Office of Measures) ;
- Bruxelles (Belgique), le 8 juillet 2009, pour discuter de l'échelle de temps Galileo à la Commission européenne ;
- Lintong et Beijing (Chine), du 10 au 15 août 2009, pour discuter des définitions des échelles de temps au NTSC et au NIM ;
- Genève (Suisse), du 7 au 11 septembre 2009, pour des réunions du groupe de travail 7A et du groupe d'étude sur le futur de la seconde intercalaire dans l'UTC de l'UIT ;
- Saint-Pétersbourg (Fédération de Russie), du 13 au 18 septembre 2009, pour la 4^e réunion de l'International Committee for GNSS (ICG) des Nations Unies ;
- Savannah, Géorgie (États-Unis d'Amérique), du 19 au 25 septembre 2009, pour assister à la 49^e réunion du Civil GPS Service Interface Committee (CGSIC) et présider son sous-comité sur le temps, et pour assister à la conférence ION GNSS ;
- Poznań (Pologne), du 10 au 22 octobre 2009, pour la 17^e réunion du Groupe de travail du CCTF sur les comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite ;

- Londres, Westminster (Royaume-Uni de Grande Bretagne et d'Irlande du Nord), du 25 au 28 octobre 2009, pour assister à la conférence interparlementaire sur l'espace ;
- Albuquerque, Nouveau Mexique (États-Unis d'Amérique), du 14 au 22 novembre 2009, pour la 41^e réunion des systèmes et applications du PTTI, et pour une réunion des stations participant aux comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite ;
- Noordwijk (Pays-Bas), 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.

G. Petit :

- Queretaro (Mexique), du 20 au 22 juillet 2009, pour une visite du CENAM et pour une présentation invitée ;
- Rio de Janeiro (Brésil), du 2 au 7 août 2009, pour participer à la 27^e assemblée générale de l'UAI et pour y faire deux présentations, ainsi que pour assister à une réunion de la commission 52 ;
- Padoue (Italie), du 13 au 16 octobre 2010, pour une réunion du comité consultatif scientifique sur le GNSS et pour une présentation lors du second colloque international sur les aspects scientifiques et fondamentaux de Galileo ;
- Saint-Mandé (France), le 25 octobre 2009, pour une réunion de la commission Géopositionnement du CNIG ;
- Paris (France), le 24 mars 2010, pour une réunion du comité consultatif scientifique sur le GNSS ;
- Noordwijk (Pays-Bas), du 12 au 16 avril 2010, pour assister à la réunion de l'EFTF au cours de laquelle il a donné deux présentations et a reçu le prix EFTF 2010 ;
- Daejeon (Rép. de Corée), du 13 au 18 juin 2010, pour une présentation lors de la CPEM 2010, et une visite du laboratoire du temps du KRISS.

L. Robertsson :

- Kuala Lumpur (Malaisie), du 12 au 16 décembre 2009, pour un exposé lors d'un atelier sur la métrologie utilisant des peignes, et pour la réunion du comité technique des longueurs de l'APMP ;
- Tokyo (Japon), du 15 au 25 avril 2010, en tant que conseiller pour une campagne de mesures de la comparaison CCL-K11 ;

- Singapour (Singapour), du 7 au 12 juin 2010, pour des réunions des groupes de travail du CCL ;
- Daejeon (Rép. de Corée), du 13 au 19 juin 2010, pour la CPEM 2010.

L. Tisserand :

- Boulder (États-Unis d'Amérique), du 9 au 13 novembre 2009, pour un séminaire du NIST sur le temps et les fréquences.

L. Vitushkin :

- Saint-Petersbourg (Fédération de Russie), du 9 au 13 novembre 2009, pour des discussions sur les comparaisons de gravimètres.

3.14 Activités en liaison avec des organisations extérieures

E.F. Arias est membre de l'UAI et participe à son groupe de travail 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 représente également le BIPM au comité d'organisation du GGOS qui constitue un service scientifique de l'AIG. 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 dont il préside le sous-comité sur le temps. Il est membre du conseil scientifique du Space Research Centre de l'Académie des sciences de Pologne. Il est également membre d'un groupe consultatif sur la réforme de la métrologie au ministère polonais de l'Économie. Tout comme E.F. Arias, il représente le BIPM au Groupe de travail 7A du Groupe d'étude 7 de l'UIT-R, et de l'International Committee on GNSS (ICG) des Nations Unies.

G. Petit est co-directeur du Conventions Product Centre de l'IERS. Il est président de la Commission 52 de l'UAI sur la relativité en astronomie fondamentale. Il est membre du groupe de travail « Numerical Standards in Fundamental Astronomy » de l'UAI ; du groupe de travail de l'IGS sur les

produits horaires ; du comité consultatif scientifique sur le GNSS de l'ESA ; et 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.

3.15 Activités liées au travail des Comités consultatifs

E.F. Arias est secrétaire exécutive du CCTF et a partagé avec R. Felder le secrétariat du Groupe de travail commun au CCL et au CCTF sur les étalons de fréquence jusqu'au 31 août 2009. 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 a été secrétaire exécutif du CCL et co-secrétaire du Groupe de travail commun au CCL et au CCTF sur les étalons de fréquence jusqu'au 31 août 2009.

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. Robertsson est, depuis le 1^{er} janvier 2010, secrétaire exécutif du CCL et membre du Groupe de travail du CCL sur la planification stratégique et du groupe de discussion 11 sur les lasers. Il représente le BIPM au Groupe de travail du CCM sur la gravimétrie.

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

3.16 Visiteurs du Département 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, Fédération de Russie), du 18 septembre au 5 octobre 2009, pour participer en tant qu'observateurs à l'ICAG-2009.
- M. O. Francis (Université de Luxembourg, Luxembourg), le 18 mars 2010, pour faire un exposé au BIPM, et installer un gravimètre relatif qui sera utilisé pour déterminer les marées terrestres du site.
- Mme S. Junqueira (ONRJ, Brésil), le 8 juillet 2010, pour discuter des applications des peignes de fréquence dans le domaine de la métrologie du temps et des fréquences.
- Groupe de 20 délégués de la Conférence du réseau européen ELSA intitulée « Gaia, at the frontiers of astrometry », le 9 juin 2010, pour visiter le Département.

3.17 Chercheurs invités

- M. F. Lahaye (RNCAN, Canada), du 22 au 25 septembre 2009, pour une coopération sur la technique de positionnement précis (PPP) du GPS.
- Mme A. Proia (doctorante), du 25 janvier au 20 février 2010, pour travailler sur son doctorat sur l'étalonnage absolu des récepteurs du GNSS.
- M. Leonid Vitushkin (VNIIM, Fédération de Russie), du 19 au 23 avril 2010, pour la préparation des résultats de l'ICAG-2009.
- M. Paweł Lejba (Space Research Centre - AOS, Borowiec, Pologne), du 15 au 30 juin 2010.

4 ÉLECTRICITÉ (M. STOCK)

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

Le processus de validation du nouveau système automatique d'étalonnage des étalons de tension à diode de Zener à 1,018 V, qui a commencé l'an passé, s'est achevé suite à une analyse statistique fondée sur le calcul de la densité spectrale de puissance. Deux réseaux programmables, dont l'un faisait office d'étalon de tension à diode de Zener, ont été portés à la même tension théorique à quelques nanovolts près, puis ont été comparés l'un à l'autre 2048 fois sur trois jours consécutifs à l'aide du nouveau système automatique d'étalonnage des étalons de tension à diode de Zener. Le palier du bruit en $1/f$ affectant ces mesures s'est avéré d'un ordre de grandeur plus élevé que ce qui était prévu. Une analyse en profondeur du dispositif de mesure a montré qu'un module de communication à isolateur optique était responsable de cette augmentation significative du niveau de bruit. Ce module a été retiré du dispositif afin de réduire le bruit.

De nouvelles mesures ont été effectuées pour comparer le nouvel étalon de tension de Josephson conventionnel, transportable et fonctionnant à 10 V, à notre étalon primaire de Josephson : cette comparaison est la deuxième d'une série de comparaisons internes très importantes visant à valider la qualité du nouvel étalon transportable. Les résultats les plus récents montrent un bon accord, $(U_{\text{nouveau}} - U_{\text{référence}}) / U_{\text{référence}} = -7,4 \times 10^{-11}$, avec une incertitude-type totale de $1,4 \times 10^{-10}$ en valeur relative.

Toutefois, le nouvel étalon de tension de Josephson transportable n'a pas encore atteint un niveau suffisant de fiabilité pour être utilisé dans le programme de comparaisons sur site du BIPM d'étalons de Josephson. En effet, dans certaines circonstances, la propagation du signal radiofréquence dans le guide d'ondes est encore perturbée, ce qui a pour conséquence directe d'engendrer une perte intermittente des marches de Shapiro. Ce problème a fait l'objet de recherches et semble directement lié aux propriétés intrinsèques du guide d'ondes. D'autres travaux de recherche sont en cours.

Le travail technique sur la mise au point d'un étalon de tension de Josephson spécifiquement conçu pour la balance du watt du BIPM a commencé. L'équipement nécessaire pour faire fonctionner le réseau de jonctions de Josephson a été assemblé dans une baie de mesure et a été testé avec succès avec le réseau lui-même. Un logiciel a été conçu pour étudier la dépendance

de la largeur des marches de Shapiro de chacune des treize cellules du réseau en fonction de la radiofréquence et de la puissance. Les paramètres de fonctionnement optimaux, à savoir le courant de polarisation, la fréquence et la puissance, ainsi que leur tolérance seront déterminés d'après l'analyse des résultats.

Une source de polarisation spéciale en continu a été conçue et est actuellement en cours de mise au point. Cette source sera alimentée par des batteries afin de réduire l'impact des interférences électromagnétiques entre l'alimentation électrique de l'expérience de la balance du watt et celle de l'équipement requis pour faire fonctionner le réseau. Cette source permet une polarisation indépendante des treize cellules du réseau. L'objectif final est de programmer le réseau afin qu'il génère une tension quantifiée qui suive de près la tension produite aux bornes de la bobine de la balance du watt à tout moment, afin de rester dans les limites de fonctionnement de l'amplificateur analogique. Sinon, le temps nécessaire au retour à un fonctionnement normal de l'amplificateur après une surcharge contribuerait à réduire le nombre de mesures d'acquisition de la différence de tension lorsque la bobine se déplace à une vitesse constante.

Un audit externe du service d'étalonnage de tension, effectué dans le cadre du Système Qualité du BIPM, a été réalisé avec succès en novembre 2009.

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)

Le nouveau cryostat pour l'effet Hall quantique commandé l'an dernier a été livré et s'avère répondre à nos exigences techniques. L'ancien cryostat a ainsi été envoyé au fabricant pour réparation. L'origine de la fuite détectée il y a un an a été découverte par le fabricant qui a donc pu y remédier. Nous disposons désormais de deux cryostats fiables, l'un restant au BIPM pour l'étalon primaire, l'autre devant être utilisé pour les comparaisons sur site à venir d'étalons à effet Hall quantique.

Suite à la charge de travail conséquente en matière d'étalonnages et à l'absence à long terme d'un technicien, la construction du système électronique nécessaire à de telles comparaisons est encore en cours. La situation devrait s'améliorer à partir d'août 2010, date à laquelle un technicien nouvellement embauché commencera à travailler.

Un nouveau pont de résistance spécialement conçu pour mesurer directement une paire de résistances de 51,6 k Ω (qui constituent une partie du pont de quadrature du BIPM) par rapport à la résistance de Hall quantifiée est en cours de construction. Il permettra de raccourcir la chaîne de mesure qui relie la résistance de Hall quantifiée aux étalons de référence de capacité du BIPM : l'objectif est de réduire les incertitudes globales, ce qui est par ailleurs important pour notre projet de détermination de la constante de von Klitzing à l'aide du condensateur calculable. Les particularités de ce pont consistent en l'utilisation d'un comparateur de courant à température ambiante, conçu à partir de systèmes mis au point par le BIPM antérieurement, et d'une source de courant unique au lieu de la source de courant double plus fréquente ; le système électronique est donc plus simple et le fonctionnement plus stable. La conception de ce pont a été présentée lors de la conférence de la CPEM.

Le travail lié aux étalonnages de résistance a été soumis avec succès à un audit externe en novembre 2009.

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

Afin d'assurer la conservation de l'étalon de référence de capacité à 10 pF, celui-ci a été relié à la résistance de Hall quantifiée par deux fois pendant la période couverte par le présent rapport. Les étalons de travail ont ensuite été utilisés pour disséminer le farad par des étalonnages et des comparaisons (voir sections 4.4 et 4.5). Aucun travail majeur de mise au point n'a été entrepris en ce qui concerne les ponts de capacité, car le travail du Département de l'électricité s'est concentré sur le condensateur calculable. Le service d'étalonnage de capacité a été soumis avec succès à un audit externe en novembre 2009.

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

La construction d'un condensateur calculable au BIPM a véritablement commencé en 2010. À l'origine, le calendrier du projet était d'obtenir une nouvelle valeur mesurée de la constante de von Klitzing R_K pour

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

† Atelier de mécanique du BIPM.

l'ajustement par la CODATA des valeurs des constantes fondamentales en 2010. Bien que cela ne soit plus possible, un résultat devrait être obtenu en 2011, ce qui sera très précieux pour la poursuite des discussions sur les redéfinitions d'unités.

John Fiander du NMIA a travaillé au BIPM pendant dix semaines, d'avril à juin 2010, afin que la construction du condensateur puisse commencer. Le programme établi à l'origine a été modifié, le condensateur du BIPM ayant été assemblé avant que le condensateur du NMIA ne le soit. En conséquence, cet assemblage n'a pas été qu'une simple étape de construction mais a également consisté à effectuer des modifications et à corriger des erreurs de conception. La conception générale du condensateur s'est révélée sûre mais certains détails ont inévitablement dû être modifiés à la lumière de l'expérience acquise lors de l'assemblage. Le fait de travailler de façon collective sur les problèmes constatés au cours de la construction a sans aucun doute permis un transfert de connaissance plus intense aux membres du personnel du BIPM que cela n'aurait été le cas en construisant la seconde « copie » du condensateur. L'atelier de mécanique du BIPM a apporté une aide continue au projet durant cette période, en répondant rapidement aux demandes de modification ou de construction de nouvelles pièces.

Au moment de la rédaction du présent rapport (juin 2010), le projet du condensateur calculable connaît des modifications et des évolutions rapides. Voici de façon succincte les principaux points d'avancement :

- Les dernières pièces de précision, c'est-à-dire la vis-mère et les barres d'électrodes principales, ont été livrées au BIPM par le NMIA : elles ont été installées avec succès dans le condensateur. Les quatre électrodes respectent tout à fait la cylindricité requise de $0,1 \mu\text{m}$, ce qui représente une contribution de seulement 1×10^{-9} environ au bilan d'incertitude globale.
- Le condensateur a été complètement monté afin de pouvoir tester les composants critiques et les procédures d'alignement, et s'assurer du bon fonctionnement de l'interféromètre. La conception de certains composants clés (tels que les supports à ressort situés sur la partie supérieure des électrodes principales) va être révisée suite à ces essais.
- Aucun défaut majeur qui empêcherait le condensateur d'atteindre l'incertitude cible de moins de 1×10^{-8} n'a été observé. La procédure d'alignement des électrodes principales a été vérifiée et permet d'obtenir la précision requise, et l'interféromètre fonctionne

correctement (il présente une cavité mécaniquement très stable entre les miroirs mobiles).

- D'autres essais devront être effectués pour finaliser les composants dont la conception aura été modifiée, et il faudra améliorer le système optique, mais nous pouvons espérer que le condensateur sera achevé pour l'essentiel d'ici la fin de l'année 2010.
- L'année 2011 sera ensuite consacrée aux travaux de mesure, à l'étude des grandeurs d'influence et à l'estimation des composantes de l'incertitude affectant la mesure de R_K .

La chaîne de mesure permettant de relier le condensateur calculable à l'étalon de résistance à effet Hall quantique est la même que celle utilisée pour conserver la capacité ; elle fonctionne donc tout à fait. Un pont supplémentaire est nécessaire pour la première étape de la chaîne qui va du condensateur calculable à l'étalon de 1 pF ; il a récemment été testé à l'aide d'étalons fixes de 0,2 pF et 0,6 pF. Les essais ont été limités par la stabilité de ces étalons mais ont permis de constater l'absence de problèmes majeurs concernant le pont. Une évaluation complète du pont ne peut être effectuée qu'avec le condensateur calculable lui-même, ce qui fera partie des mesures prévues pour le début de 2011. Le nouveau pont de résistance mentionné à la section 4.2.1 devrait également être prêt à ce moment-là et fera partie de la chaîne de mesure finale.

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

Deux comparaisons sur site d'étalons de tension de Josephson effectuées avec le SMD (Belgique) et l'EIM (Grèce) ont été menées à bien en novembre 2009 et mars 2010, respectivement. Les résultats de la comparaison avec le SMD ont été publiés et sont très satisfaisants :

$$\text{à } 10 \text{ V} : (U_{\text{SMD}} - U_{\text{BIPM}}) = -0,4 \text{ nV} \quad u = 1,3 \text{ nV}$$

Les résultats de la comparaison avec l'EIM ne sont pas encore disponibles.

Les résultats d'une comparaison effectuée avec le NIST en mars 2009 ont également été publiés au cours de la période couverte par le présent rapport :

$$\text{à } 10 \text{ V} : (U_{\text{NIST}} - U_{\text{BIPM}}) = -0,8 \text{ nV} \quad u = 1,0 \text{ nV}$$

Les études entreprises dans le cadre de cette comparaison ont conduit le NIST et le BIPM à rédiger un article commun qui a été présenté lors de la conférence de la CPEM.

Deux comparaisons bilatérales de tension utilisant des étalons à diode de Zener comme étalons de transfert ont été effectuées à 1,108 V et 10 V avec l'INTI (Argentine) et avec le NSAI (Irlande) entre août et octobre 2009, et en mai 2010, respectivement.

$$\text{à } 1,018 \text{ V} : (U_{\text{INTI}} - U_{\text{BIPM}}) = -0,01 \mu\text{V} \quad u = 0,03 \mu\text{V}$$

$$\text{à } 10 \text{ V} : (U_{\text{INTI}} - U_{\text{BIPM}}) = -0,24 \mu\text{V} \quad u = 0,38 \mu\text{V}$$

Les résultats du NSAI ne sont pas encore disponibles.

Dans le cadre des comparaisons de résistance à 1 Ω et 10 k Ω , appelées BIPM.EM-K13.a et BIPM.EM-K13.b respectivement, les rapports des comparaisons bilatérales d'étalons de résistance avec le NMIA (Australie) et le NIMT (Thaïlande) ont été finalisés.

$$(R_{\text{NIMT}} - R_{\text{BIPM}}) / (10 \text{ k}\Omega) = +0,66 \times 10^{-6} \quad u = 0,11 \times 10^{-6}$$

$$(R_{\text{NMIA}} - R_{\text{BIPM}}) / (1 \Omega) = -0,13 \times 10^{-6} \quad u = 0,11 \times 10^{-6}$$

Le rapport de la comparaison de résistance à 1 Ω et 10 k Ω avec le GUM (Pologne) est au stade de projet B.

Les comparaisons d'étalons de capacité de 10 pF (BIPM.EM-K14.a) et 100 pF (BIPM.EM-K14.b) avec le CMI (République tchèque) ont été achevées, et les mesures d'une comparaison avec le NPLI (Inde) ont commencé.

4.5 Étalonnages

Du 1^{er} juillet 2009 au 30 juin 2010, le Département de l'électricité a effectué les étalonnages suivants :

- étalons de résistance de 1 Ω pour le BIM (Bulgarie), le NML-SIRIM (Malaisie), le NIS (Égypte), l'INMETRO (Brésil), le DMDM (Serbie) et le NIMT (Thaïlande) ; étalons de résistance de 100 Ω pour le BIM (Bulgarie), le NMC, A*STAR (Singapour), le DMDM (Serbie), le SMD (Belgique), le NIMT (Thaïlande) et le KRISS (Corée) ; étalons de résistance de 10 k Ω pour le BIM (Bulgarie), le NIS (Égypte), l'INMETRO (Brésil), le DMDM (Serbie), le SMD (Belgique), le NIMT (Thaïlande) et le KRISS (Corée) ;

- étalons de capacité de 1 pF, 10 pF ou 100 pF pour la PTB (Allemagne), le CMI (République tchèque), le NIMT (Thaïlande), le NMISA (Afrique du Sud) et le SMU (Slovaquie) ;
- deux étalons de tension à diode de Zener à 1,018 V et 10 V pour le NIS (Égypte), et un étalon de tension à diode de Zener à 1,018 V et 10 V pour le Département des rayonnements ionisants du BIPM.

Pendant l'année 2009, le Département de l'électricité a émis 62 certificats d'étalonnage et 5 notes d'étude pour quatorze laboratoires nationaux de métrologie des États Membres.

4.6 Publications, conférences, voyages : Département de l'électricité

4.6.1 Publications extérieures

1. Wood B., Solve S., A review of Josephson comparison results, *Metrologia*, 2009, **46**(6), R13-R20.
2. Giblin S., Willenberg G.-D., Fletcher N., Frequency dependence of gas dielectric-capacitors used in sub-nA reference current generators, *CPEM Digest*, 2010, p. 318.
3. Fletcher N., Goebel R., A current comparator bridge for the direct measurement of 51.6 k Ω against the quantized Hall resistance, *CPEM Digest*, 2010, p. 575.
4. Solve S., Chayramy R., The BIPM compact Josephson voltage standard, *CPEM Digest*, 2010, p. 155.
5. Tang Y., Solve S., Witt T.J., Impact of 1/f noise on Josephson voltage standard comparison, *CPEM Digest*, 2010, p. 175.
6. Goebel R., Fletcher N., Stock M., Pritchard B., Xie R., Coogan P., and Johnson L., Bilateral Comparison of 1 Ω standards (ongoing BIPM key comparison BIPM.EM-K13.a) between the NMIA (Australia) and the BIPM, *Metrologia*, 2009, **46**, *Tech. Suppl.*, 01011.
7. Goebel R., Kurupakorn C., Fletcher N., Stock M., Report on bilateral comparison of 10 k Ω standards (ongoing BIPM key comparison BIPM.EM-K13.b) between the NIMT-Thailand and the BIPM, *Metrologia*, 2010, **47**, *Tech. Suppl.*, 01005.
8. Solve S., Chayramy R., Stock M., Nicolas J., van Theemsche A., Comparison of the Josephson voltage standards of the SMD and the

BIPM (part of the ongoing BIPM key comparison BIPM.EM-K10.b), *Metrologia*, 2010, **47**, *Tech. Suppl.*, 01004.

9. Tonina A., Iuzzolino R., Bierzychudek M., Real M., Solve S., Chayramy R., Stock M., Bilateral comparison of 1.018 V and 10 V standards between the INTI (Argentina) and the BIPM, August to October 2009 (part of the ongoing BIPM key comparison BIPM.EM-K11.a and b), *Metrologia*, 2010, **47**, *Tech. Suppl.*, 01002.

4.6.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

M. Stock :

- VSL, Delft (Pays-Bas), les 29 et 30 novembre 2009, pour la réunion du comité technique de l'EURAMET sur l'électricité et le magnétisme ;
- Kuala Lumpur (Malaisie), les 14 et 15 décembre 2009, pour assister à la réunion du comité technique de l'APMP sur l'électricité et le magnétisme et y présenter le travail du Département de l'électricité ;
- Genève (Suisse), du 30 mars au 1^{er} avril 2010, pour assister à l'atelier commun à l'OMM et au BIPM intitulé « Measurement Challenges for Global Observation Systems for Climate Change Monitoring: Traceability, Stability and Uncertainty ».

S. Solve et R. Chayramy :

- SMD, Bruxelles (Belgique), du 19 au 24 novembre 2009, pour une comparaison BIPM sur site d'étalons de tension de Josephson ;
- EIM, Thessalonique (Grèce), du 2 au 11 mars 2010, pour une comparaison BIPM sur site d'étalons de tension de Josephson.

S. Solve :

- ESM, Douai (France), le 29 avril 2010, pour une présentation sur le rôle du BIPM et ses activités dans le domaine de la métrologie des tensions en continu.

N. Fletcher et R. Goebel :

- NPL (Royaume-Uni de Grande Bretagne et d'Irlande du Nord), le 23 septembre 2009, pour des discussions techniques sur les comparateurs de courant cryogénique ;

- Cryogenic Ltd (Royaume-Uni de Grande Bretagne et d'Irlande du Nord), le 3 décembre 2009, pour des essais du nouveau cryostat à effet Hall quantique.

N. Fletcher, R. Goebel, S. Solve et M. Stock :

- Daejeon (Rép. de Corée), du 13 au 16 juin 2010, pour la réunion de la CPEM et ses réunions connexes (voir détails ci-après). N. Fletcher a fait une présentation intitulée « A current comparator bridge for the direct measurement of 51.6 k Ω against the quantized Hall resistance » et a présidé une session de présentations ; S. Solve et M. Stock ont tous deux présidé des sessions posters, et S. Solve a présenté un poster intitulé « The new BIPM Compact Josephson Voltage Standard » ;
- M. Stock et S. Solve ont assisté à la réunion du Groupe de travail du CCEM sur l'utilisation de mesures électriques pour contrôler la stabilité du prototype international du kilogramme le 12 juin 2010, et M. Stock a donné une présentation sur l'avancement du projet de la balance du watt du BIPM ;
- N. Fletcher et R. Goebel ont assisté à la réunion des experts en métrologie électrique quantique en continu de l'EURAMET le 12 juin 2010 ;
- M. Stock a assisté à la réunion du Groupe de travail du CCEM pour les grandeurs aux radiofréquences le 13 juin 2010 ;
- S. Solve a assisté à la réunion des experts en métrologie sur la différence courant alternatif / courant continu le 13 juin 2010.

4.7 Activités en liaison avec des organisations extérieures

M. Stock est membre du comité exécutif de la CPEM. N. Fletcher, S. Solve et M. Stock ont été membres du comité de programme pour 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 20^e réunion du CCPR a eu lieu les 17 et 18 septembre 2009. Les groupes de travail du CCEM se sont réunis pendant la conférence de la CPEM, du 13 au 18 juin 2010.

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

4.9 Visiteurs du Département de l'électricité

- Mme L. Locascio (NIST, États-Unis d'Amérique), le 11 juillet 2009, pour une visite du Département de l'électricité.
- Mme E. Barsacq (ministère des Affaires étrangères et européennes de la République française), le 20 août 2009, pour une visite du Département de l'électricité.
- M. J. Schurr (PTB), le 3 novembre 2009, pour un audit externe du service d'étalonnage de capacité.
- M. B. Jeanneret (METAS), le 4 novembre 2009, pour un audit externe du service d'étalonnage de tension.
- Mme C. Lorduy (ministère du Commerce, de l'industrie et du tourisme, Colombie), le 9 novembre 2009, pour une visite du Département de l'électricité.
- M. S. Giblin (NPL), le 19 novembre 2009, pour un audit externe du service d'étalonnage de résistance.
- M. M. Helmy Abd El-Raouf (NIS, Égypte), les 23 et 24 février 2010, pour visiter le Département de l'électricité et venir récupérer des étalons de résistance.
- M. R. Behr (PTB, Allemagne), le 17 mars 2010, pour discuter de l'étalon de tension à réseau de Josephson programmable et de l'étalon de tension de Josephson en courant alternatif.
- M. J. Fiander (NMIA, Australie), du 26 mars au 4 juin 2010, pour travailler sur le projet de condensateur calculable.

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

Le travail sur la mise au point de chambres d'ionisation à cavité, fabriquées à partir de différents matériaux (graphite et C552, un plastique conducteur « équivalent à l'air ») et présentant différentes épaisseurs de parois, se poursuit dans le cadre d'un certain nombre de projets. Le point commun à l'ensemble de ces chambres est l'usinage de précision des pièces et l'utilisation d'une machine de mesure de coordonnées tridimensionnelles pour déterminer le volume de la cavité de chacune des chambres. Une nouvelle méthode a été mise au point afin de prendre en considération la flexion des parois les plus fines (disques en graphite ou en plastique de 50 mm de diamètre et de seulement 0,7 mm d'épaisseur) sous la pression légère exercée par la machine de mesure de coordonnées tridimensionnelles.

Une chambre en C552 a été utilisée avec une cuve sous pression spécialement conçue pour tester l'effet de l'air à basse pression sur la réponse de la chambre dans le rayonnement du ^{60}Co . Comme prévu, la réponse de la chambre en C552 (normalisée à une valeur de référence de pression de l'air selon la méthode habituelle) varie moins sous l'effet de la pression de l'air que celle de la chambre à parois en graphite nominale-ment identique qui a été testée l'an dernier. Ces résultats ont des implications non seulement pour les mesures de kerma dans l'air en altitude, notamment à l'ININ (Mexique), mais pourraient aussi indiquer une erreur allant jusqu'à 5×10^{-3} , en fonction de la conception de la chambre, pour toutes les déterminations de kerma dans l'air dans le faisceau de ^{60}Co effectuées à l'aide de chambres à parois en graphite.

Un court article décrivant la réévaluation des corrections de paroi et de non-uniformité axiale pour l'étalon du BIPM de kerma dans l'air dans le faisceau de ^{137}Cs , approuvé par la Section I du CCRI lors de sa réunion de 2009, a été publié dans *Metrologia*.

* En détachement de l'ININ (Mexique), du 10 avril au 12 juillet 2010, avec le soutien de l'AIEA.

Une chambre à parois en graphite a été fournie à l'ARPANSA (Australie) et une seconde chambre destinée à l'ININ est en cours de construction ; elles seront utilisées par chacun de ces laboratoires comme étalon primaire de kerma dans l'air. Dans les deux cas, le laboratoire est responsable de la détermination du volume d'air de sa chambre propre.

Le calorimètre du BIPM, servant à mesurer la dose absorbée dans l'eau, a été utilisé à intervalles réguliers dans le faisceau de référence de ^{60}Co du BIPM au cours de l'année passée. Le but est principalement de démontrer sa reproductibilité et, à plus long terme, de remplacer l'étalon ionométrique actuel pour la dose absorbée dans le faisceau du ^{60}Co . Le fait de faire fonctionner le système durant la nuit, en utilisant des doses 5 à 10 fois moins élevées que celles pour les faisceaux d'accélérateurs, a permis de réduire les incertitudes statistiques. Le calorimètre a été mis en place près d'une dizaine de fois depuis mars 2009, ce qui a résulté en une incertitude-type statistique proche de 1×10^{-3} pour la détermination de la dose absorbée de référence. Afin de s'assurer de leur stabilité à long terme, la méthode d'étalonnage des thermistances du calorimètre est en cours de révision en utilisant un conteneur étanche qui vient d'être construit. Le laboratoire du calorimètre a été réorganisé afin d'obtenir plus d'espace pour l'équipement voyageur.

Les calculs de Monte-Carlo pour la conversion de la dose absorbée du graphite à l'eau ont bien progressé. Des fichiers complexes correspondant aux quatre configurations de géométries physiques ont été élaborés pour utilisation avec la version la plus récente du code de géométrie (PENGEOM). Grâce aux informations sur les faisceaux d'accélérateurs (fichiers de distribution spatiale et phasique) fournies par le NRC et la PTB, des calculs ont été effectués pour les quatre paramètres requis, pour chacun des trois faisceaux d'accélérateur dans chaque laboratoire. Un nouveau serveur a été installé, ce qui a permis d'augmenter la vitesse de calcul d'un facteur de deux. Malgré cette amélioration, près de dix jours de calculs continus sont nécessaires pour chaque faisceau d'accélérateur afin d'obtenir une incertitude-type statistique de 0,06 % pour le facteur de conversion de la dose dans ce faisceau. En outre, un grand nombre de calculs ont été effectués afin d'étudier les effets systématiques, en particulier celui lié au pouvoir d'arrêt du graphite pour les électrons. Suite à cette analyse, l'incertitude-type composée de la conversion calculée de la dose est estimée être inférieure à 3×10^{-3} . Un article pour publication dans *Metrologia* est en préparation.

L'an dernier le générateur pour les rayons x aux moyennes énergies avait été ajusté pour délivrer deux qualités de rayonnement de 50 kV, maintenant

utilisées pour comparer les étalons aux énergies basses et moyennes. La nouvelle chambre à parois d'air libre pour la dosimétrie en mammographie a été utilisée comme instrument de transfert. Les résultats montrent une différence relative de $2 \text{ à } 3 \times 10^{-3}$ entre les étalons qui, bien que proche de l'incertitude-type composée des étalons, est supérieure à celle prévue lorsque la corrélation est prise en considération. D'autres mesures sont nécessaires afin de confirmer ces résultats.

Le projet de mettre au point un étalon de dose absorbée pour les rayons x aux énergies moyennes a progressé avec la construction d'un étalon à cavité en graphite à paroi fine. Cet étalon à cavité, auquel on a ajouté des parois avant et arrière, a été utilisé dans le faisceau de ^{60}Co , afin de démontrer que le volume de la cavité d'une telle chambre peut être mesuré avec exactitude. Les mesures initiales pour les rayons x ont confirmé la nécessité de disposer d'une chambre en plastique équivalent à l'air à de plus basses énergies (la chambre en graphite pourrait être restreinte à 250 kV ou plus). L'évaluation de la chambre en plastique, dont les pièces sont désormais toutes construites, permettra de déterminer si l'incertitude-type cible de 1×10^{-2} peut être atteinte, et comprendra des mesures dans l'air à basse pression.

Les améliorations apportées l'an dernier aux systèmes pour les rayons x, tels que l'étalonnage des diviseurs de tension et la correction pour le courant parasite traversant le système de refroidissement, ont permis d'augmenter leur stabilité. L'écart-type des déterminations répétées de kerma dans l'air au cours de l'année passée est typiquement de 2×10^{-4} .

Après la publication l'an dernier d'un article sur les corrections de diaphragme dans *Physics in Medicine and Biology*^{*}, un court article a été publié dans *Metrologia* : il décrit les changements pour les déterminations du kerma dans l'air dans les faisceaux de rayons x résultant de l'adoption de nouveaux facteurs de correction, ainsi que de la correction pour la dispersion due au support du diaphragme aux énergies moyennes évoquée l'an passé. De plus, un rapport BIPM décrit la détermination préliminaire au BIPM des caractéristiques de la chambre à parois d'air libre de forme cylindrique du NIS (Égypte) et recommande les procédures à mettre en place au NIS pour que la chambre puisse être utilisée comme étalon primaire.

Un article publié dans *Metrologia* décrit l'analyse, effectuée l'an dernier, de résultats de mesures et calculs publiés ayant un impact sur la valeur-*I* pour le

^{*} 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.

graphite. La conclusion est que ces résultats sont ajustés au mieux si la valeur- I est de 82,5 eV avec une incertitude-type de 1,5 eV. Ce résultat engendre une modification de 1×10^{-2} maximum pour tous les étalons à cavité du monde. Ce sujet est actuellement examiné par le Report Committee on Key Data de l'ICRU, dont le BIPM est membre.

La mise au point d'un équipement pour la mammographie s'est achevée en octobre 2009. L'écart existant entre l'étalon actuel et le nouvel étalon dans ce domaine d'énergie a été réduit à moins de 1×10^{-3} , en faisant coïncider les plans du collecteur et de la plaque de garde à mieux que $5 \mu\text{m}$ et en ajoutant un revêtement en graphite aux deux plaques. Une fois le nouveau tube de rayons x avec cible en molybdène installé, l'orientation, la forme et la taille du faisceau ont été étudiées à l'aide de films radiographiques. Des mesures des profils de faisceau horizontaux et verticaux ont été effectuées à l'aide d'une chambre d'ionisation dé. Les deux études ont été utilisées pour déterminer le centre du faisceau et concevoir un collimateur permettant de produire un champ de 100 mm de diamètre à la distance de référence de 600 mm du centre du tube. Le nouvel étalon, placé sur un nouveau banc d'étalonnage, a été aligné mécaniquement afin de mesurer l'axe du faisceau à cette distance de référence. Quatre qualités de rayonnement allant de 25 kV à 35 kV ont été établies comme les faisceaux de référence pour les comparaisons et étalonnages en mammographie. Une étude de quatre chambres d'ionisation couramment utilisées pour la mammographie a été effectuée en comparant leur réponse dans ces nouveaux faisceaux et dans les faisceaux mammographiques simulés établis précédemment avec le tube à anode de tungstène. Un rapport BIPM qui a été publié décrit l'établissement de ces qualités de rayonnement de référence pour la mammographie.

Les mesures primaires et les étalonnages des chambres de référence continuent dans tous les faisceaux de référence de rayons x et de rayonnement gamma, y compris pour les qualités de rayonnement simulées pour la mammographie. Les comparaisons et les étalonnages sont étayés par les efforts significatifs consacrés à l'étalonnage et à la maintenance des équipements, comme l'exige aussi le Système Qualité du BIPM.

5.1.2 Comparaisons de dosimétrie

Trois comparaisons de kerma dans l'air ont été effectuées dans des faisceaux de rayonnement gamma du ^{60}Co avec le VNIIM (Fédération de Russie) et l'ARPANSA, et du ^{137}Cs avec le VNIIM. Les projets de rapports ont été

préparés. Six comparaisons de kerma dans l'air ont été effectuées dans les faisceaux de rayons x aux basses énergies avec le NIST, le LNE-LNHB et le GUM (Pologne), et aux moyennes énergies avec le GUM, ainsi que dans les faisceaux mammographiques avec le NMIJ et le NIST. Le rapport du NMIJ est en cours de publication.

Deux comparaisons de dose absorbée dans l'eau dans le faisceau de rayonnement gamma du ^{60}Co ont été réalisées avec le NMIJ et l'ARPANSA. Le projet de rapport de l'ARPANSA a été préparé.

Treize rapports de comparaisons précédentes ont été publiés dans la série des *Technical Supplements* de *Metrologia* pour le NIM, le BEV (Autriche), le VSL, le NRC, le NPL, l'ENEA (Italie), le VNIIFTRI (Fédération de Russie), le LNE-LNHB, l'ITN (Portugal) et le MKEH (Hongrie).

La première comparaison clé de dose absorbée dans l'eau dans les faisceaux d'accélérateurs, BIPM.RI(I)-K6, a été effectuée au NRC en juin 2009. Bien que constituant un défi sur le plan technique, cette comparaison s'est parfaitement déroulée et un projet B de rapport sera bientôt publié. La deuxième comparaison de cette série de comparaisons en continu du BIPM a eu lieu à la PTB en mars 2010 : ses résultats sont en cours d'analyse. Ces deux comparaisons ont montré l'importance de contrôler la stabilité du faisceau et la nécessité d'effectuer des mesures d'uniformité radiale. Des systèmes transportables sont désormais opérationnels et permettront au BIPM d'effectuer des mesures indépendantes de ces paramètres importants. Le protocole de la comparaison a été révisé en septembre 2009 puis en mai 2010, en se fondant en partie sur l'expérience acquise au NRC et à la PTB. Les deux prochaines comparaisons, au NIST et au METAS (Suisse), ont été lancées.

Le projet de rapport de la comparaison à haute dose, pilotée par le BIPM et utilisant des dosimètres à l'alanine du NIST et du NPL, fait l'objet de discussions. L'effet du débit de dose observé lors de travaux précédents a pu être établi de façon plus claire lors de cette comparaison. Alors que cet effet peut générer des erreurs allant jusqu'à 4 %, la façon d'appréhender les résultats obtenus ne fait pas consensus à l'heure actuelle. La meilleure solution proposée est de rédiger un rapport de comparaison simplifié puis de publier un article scientifique plus détaillé.

Les quatre chambres de transfert disponibles pour les comparaisons de dose absorbée aux hautes énergies continuent à être mesurées périodiquement dans le faisceau de ^{60}Co . Une chambre de transfert est régulièrement

étalonnée pour les mesures de kerma dans l'air dans le faisceau de ^{60}Co et pour la qualité de rayons x de 250 kV. Cette chambre ainsi qu'une chambre d'ionisation à puits seront utilisées dans la comparaison du BIPM de dosimétrie en curiethérapie avec des sources de ^{192}Ir .

Par suite à la réunion de la Section I du CCRI en 2009, trois détachements supplémentaires ont été organisés au BIPM afin de travailler sur les comparaisons de curiethérapie. Tout d'abord, M. Claus Anderson* a automatisé le système de mesure de la chambre d'ionisation à puits qui a ensuite été testé au LNE-LNHB. Dans un second temps, Mme Zakithi Msimang† a travaillé sur la détermination de la position optimale de la source de référence de $^{166\text{m}}\text{Ho}$ pour de faibles niveaux de dose, puis elle a rédigé des instructions de travail et un protocole de comparaison, et effectué des mesures de stabilité pour la source de référence. Pendant le détachement de Mme Msimang au BIPM, l'équipement a été transporté au NPL pour une comparaison d'essai. Suite à une consultation avec M. A. Aalbers, le système complet utilisant les deux méthodes de transfert a été transporté au VSL en novembre 2009 pour la première comparaison clé, à laquelle M. Anderson a également participé. Une partie du système de transfert a ensuite été transportée au LNE-LNHB en 2010 pour l'étalonnage de la chambre à puits, ce qui entre dans le cadre de la comparaison clé. Enfin, M. José Alvarez‡ a pu rejoindre le BIPM en tant que chercheur associé parrainé par l'AIEA. Il a pu sécuriser la source de ^{137}Cs pour les mesures de référence à haute dose, identifier la position idéale pour cette source, établir à nouveau les mesures de stabilité de la chambre, analyser toutes les données précédentes et conduire une comparaison clé au NPL. Il a également rédigé les rapports des trois premières comparaisons. Néanmoins, le second type de comparaison de curiethérapie, pour la mesure des sources de grains d'iode 125 de curiethérapie, n'a pas encore été lancé. Il faudra attendre pour cela que des laboratoires nationaux de métrologie apportent leur aide au BIPM ou que le protocole soit modifié de façon significative. Le Groupe de travail de la Section I du CCRI sur les étalons en curiethérapie a été consulté.

* En détachement du RISØ (Danemark), août 2009.

† En détachement du NMISA (Afrique du Sud), de septembre à octobre 2009.

‡ En détachement de l'ININ (Mexique), du 12 avril au 9 juillet 2010.

5.1.3 Détermination des caractéristiques d'étalons nationaux pour la dosimétrie

Six séries de déterminations des caractéristiques d'étalons nationaux ont été effectuées pour les faisceaux de rayons x aux énergies basses, moyennes et mammographiques, pour le NMISA, le NIM et le STUK (Finlande), et onze autres pour le kerma dans l'air, l'équivalent de dose ambiant et la dose absorbée dans l'eau dans les faisceaux de rayonnement gamma du BIPM à la demande du NMISA, du STUK, du NIM et du NRPA (Norvège). Le rapport BIPM sur les conditions de mesure à utiliser pour ce travail a été mis à jour.

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

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

5.2.1 Système international de référence (SIR) pour les radionucléides émetteurs de rayonnement gamma

En 2009, le BIPM a reçu 17 ampoules contenant onze radionucléides différents envoyées par onze laboratoires : le ČMI-IIR (République tchèque), l'IFIN-HH (Roumanie), l'IRA-METAS (Suisse), l'IRMM (Commission européenne), le LNE-LNHB, le MKEH, le NMIJ, le NPL, la PTB, le RC (Pologne) et le VNIIM (Fédération de Russie).

Toutes les ampoules soumises l'ont été afin de générer des valeurs d'équivalence pour les comparaisons clés. Un radionucléide à courte durée de vie, le ^{64}Cu , a été mesuré pour la première fois par trois laboratoires différents, à savoir le ČMI-IIR, le NPL et la PTB. Les résultats sont en accord entre eux, ainsi qu'avec la valeur prévue par le programme SIRIC. En comptant les dix nouvelles mesures enregistrées pour 2009, concernant le ^{64}Cu (PTB), le ^{85}Sr (RC), le ^{131}I (NMIJ), le ^{133}Ba (IRA-METAS), le ^{134}Cs (IRA-METAS), le ^{137}Cs (IFIN-HH), le ^{152}Eu (LNE-LNHB et VNIIM), le ^{241}Am (MKEH et RC) et une précédente ampoule de ^{75}Se soumise par le LNE-LNHB enregistrée cette année, le nombre total d'ampoules mesurées depuis les débuts du SIR en 1976 est maintenant de 931, ce qui correspond à 692 résultats indépendants pour 64 radionucléides différents.

* À temps partiel (60 %, puis 80 % à partir de septembre 2009).

On attend les conclusions de l'une des analyses de la comparaison internationale d'une solution de ^{177}Lu , qui est en cours, pour déterminer les valeurs finales du SIR pour les deux ampoules de ^{177}Lu envoyées par l'IRMM et le NPL.

Les résultats concernant l'ampoule de ^{134}Cs soumise par le NPL sont encore en attente.

Les rapports actualisés de cinq comparaisons ont été publiés dans la série des *Technical Supplements* de *Metrologia* pour le ^{51}Cr , le ^{57}Co , le ^{64}Cu , le ^{133}Ba et le $^{166\text{m}}\text{Ho}$.

Trois résultats de 2006 et quatre de 2007 sont encore en attente de publication dans la KCDB. Parmi les résultats soumis après 2007, 75 % en sont au stade de projet A ou B de rapport, et nous attendons encore les mesures d'activité des laboratoires nationaux de métrologie pour les 25 % restants des ampoules soumises. Conformément à la recommandation de la Section II du CCRI en 2005, les résultats de comparaison datant de plus de 25 ans sont supprimés de la KCDB et les laboratoires nationaux de métrologie concernés en sont informés. Les résultats du SIR antérieurs à 1989 apparaissent désormais en noir dans la KCDB.

Le BIPM a coordonné et participé à un exercice pour le Groupe de travail de la Section II du CCRI sur les comparaisons clés portant sur le calcul des valeurs de référence. Des résultats typiques du SIR ont été transmis au Groupe de travail de la Section II du CCRI sur les comparaisons clés et trois méthodes différentes d'évaluation des valeurs de référence de comparaisons clés ont été proposées par les participants (calcul de la moyenne arithmétique en utilisant de nouvelles règles pour identifier les résultats aberrants, détermination du sous-ensemble cohérent le plus important, et calcul d'une moyenne partiellement pondérée). Les résultats ont été présentés et discutés lors de la réunion du Groupe de travail sur les comparaisons clés. La troisième méthode proposée a semblé la plus prometteuse et fait l'objet de recherches complémentaires.

Toutes les mesures du SIR sont désormais effectuées avec le nouveau système d'acquisition des données fondé sur un dispositif électronique mis à jour. La mesure de la linéarité du nouveau dispositif électronique a été répétée à l'aide de trois sources supplémentaires de ^{64}Cu et l'analyse des résultats est en cours. Un nouveau compilateur FORTRAN a été acheté et le logiciel SIRIC (mis au point en collaboration avec le NPL) a été recompilé

avec les bibliothèques NAG* mises à jour. Cela permettra au BIPM de maintenir le logiciel à jour et d'expérimenter certaines modifications avant de le distribuer aux laboratoires nationaux de métrologie intéressés par l'utilisation de ce programme pour leurs chambres d'ionisation.

Un audit interne du SIR a été réalisé avec succès au second semestre de 2009 dans le cadre du Système Qualité du BIPM.

5.2.2 Spectrométrie gamma

Des mesures de routine pour détecter d'éventuelles impuretés dans les radionucléides à courte durée de vie ont été effectuées à l'aide du spectromètre Ge(Li). Aucune impureté n'a été détectée dans les solutions de ^{64}Cu soumises au SIR par le NPL et le LNE-LNHB, ni dans les solutions de ^{67}Ga soumises au SIR par la PTB et le NIST.

L'étalonnage du spectromètre au germanium hyper-pur avance bien. Des mesures d'efficacité en plaçant la source à six emplacements différents sont en cours.

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

La première comparaison de $^{99\text{m}}\text{Tc}$ à l'aide de l'instrument de transfert du SIR, effectuée dans le cadre de la comparaison clé BIPM.RI(II)-K4.Tc-99m, s'est déroulée au NIST. Les résultats préliminaires sont en accord avec la valeur de référence à une incertitude-type près. Ces bons résultats sont encourageants et plusieurs laboratoires nationaux de métrologie ont demandé à participer à cette comparaison du BIPM en continu. Le bilan d'incertitude de l'instrument de transfert est en cours de finalisation. Des simulations de Monte-Carlo utilisant le logiciel PENELOPE2008 ont permis d'évaluer les composantes de l'incertitude liées au volume et à la masse volumique de la solution radioactive et aux caractéristiques de l'ampoule en verre. Ces simulations ont par ailleurs confirmé l'effet relatif d'amplitude de 2×10^{-3} mesuré au NIST et dû à la présence de dix gouttes de solution sur les parois intérieures de l'ampoule. Le protocole de la comparaison a été modifié suite à ces simulations de Monte-Carlo et à l'expérience acquise au NIST. Le projet A de rapport de cette première comparaison a été préparé.

* Numerical Algorithms Group, Oxford, Royaume-Uni de Grande Bretagne et d'Irlande du Nord.

5.2.4 Extension du SIR aux émetteurs de rayonnement bêta pur

Le spectromètre Beckmann du commerce, utilisant la méthode CIEMAT-NIST, et le spectromètre de comptage par la méthode du rapport des coïncidences triples aux coïncidences doubles (TDCR) conçu par le BIPM sont proposés en parallèle pour l'extension du SIR aux émetteurs de rayonnement bêta pur. Le Département des rayonnements ionisants a concentré ses efforts au cours de l'année passée sur le spectromètre TDCR. Pour mettre en œuvre la méthode d'étalonnage par traceur Compton mise au point par P. Cassette au LNE-LNHB, une source de ^{241}Am ayant une activité de 37 MBq a été achetée. Le support du détecteur interne a été modifié par l'atelier de mécanique du BIPM afin de permettre un positionnement plus facile de la source de ^{241}Am . Un obturateur circulaire en plomb de 5 mm d'épaisseur, qui peut être placé entre la source et le scintillateur, a été conçu pour absorber le rayonnement γ de 60 keV lorsque la source externe de ^{241}Am n'est pas utilisée. Un spectromètre au germanium hyper-pur a été installé en face du centre de la paroi inférieure du spectromètre TDCR, dont l'épaisseur a été réduite à 0,1 mm à cet emplacement précis. La chambre de détection a également été entourée de protections supplémentaires en plomb afin de réduire le niveau de rayonnement ambiant.

La conception du système électronique comprenant trois préamplificateurs a été révisée afin d'améliorer le rapport signal sur bruit car les signaux initiaux rapides (temps de montée de l'ordre de la nanoseconde) présentent une amplitude de l'ordre du mV et se sont avérés trop faibles pour une discrimination correcte. Chacun des préamplificateurs se compose de trois étages rapides, dont l'amplification a été choisie de façon à éviter des oscillations importantes et hautement perturbantes des signaux de sortie. L'amplification totale de ces nouveaux préamplificateurs est telle que les signaux de sortie sont désormais de quelques centaines de mV. Le logiciel du BIPM a été modifié afin de bien prendre en considération l'asymétrie des photomultiplicateurs. Actuellement, l'atténuation de l'ionisation est évaluée de façon indépendante à l'aide du formalisme de Bethe, en tenant compte des effets liés aux composés et mélanges présents dans les scintillateurs qui sont rarement des substances pures. Une fois ce logiciel validé, il sera intégré au programme d'analyse TDCR afin de pouvoir utiliser des scintillateurs présentant des compositions chimiques variées.

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

Sept participants à cette comparaison internationale ont terminé leur compte rendu. Trois techniques différentes, à savoir la spectrométrie γ (quatre laboratoires), le comptage interne de gaz radioactif à l'aide d'un compteur proportionnel à géométrie $4\pi - 4\pi(\text{PC})$ (trois laboratoires), et la mesure à l'aide d'une chambre d'ionisation $4\pi\text{-}\gamma$ étalonnée (un laboratoire), ont été utilisées.

Six des résultats sont cohérents et les mesures du SIR précédemment effectuées avec les ampoules permettront d'établir un lien direct de cette comparaison au SIR. Le projet A de rapport est actuellement en préparation. Comme le NIST n'a pas pu participer à cette comparaison en raison d'une panne de détecteur, et que la valeur obtenue par le LNE-LNHB n'est pas aussi exacte que prévu, il est peu probable que cette comparaison permette d'identifier la cause de la différence existant entre les résultats du SIR pour ce radionucléide.

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

La date limite de la comparaison de mesures d'activité d'une solution d'eau tritiée a été repoussée et le BIPM avait finalement reçu l'ensemble des résultats fin novembre 2009. Des aliquotes similaires d'environ 5 g d'eau tritiée, prélevées sur une grande partie de la solution initiale, ont été préparées par le LNE-LNHB et versées dans des ampoules qui ont ensuite été scellées à la flamme. Comme le ^3H ne peut pas être détecté dans les chambres d'ionisation, aucune mesure n'est prévue dans le cadre du SIR. Le LNE-LNHB a envoyé les ampoules aux 19 participants potentiels et 15 ensembles de résultats, dont ceux du BIPM, ont été soumis. Huit techniques différentes ont été utilisées, principalement celles fondées sur la détection par scintillation liquide, à savoir la méthode CIEMAT/NIST utilisant le ^{54}Mn comme traceur, plusieurs variantes de la méthode TDCR, et également une méthode de comptage reposant sur l'utilisation d'un étalon de ^3H . Deux autres méthodes, l'une fondée sur un compteur proportionnel différentiel, et l'autre sur l'utilisation de deux détecteurs $\text{NaI}(\text{Tl})$ utilisant le ^{54}Mn comme traceur, ont été utilisées. Si l'on exclut l'un des résultats qui est aberrant, les quatorze autres se situent entre + 2 % et - 4 % de la moyenne arithmétique de la comparaison et sont en accord dans les limites des incertitudes évaluées pour le facteur d'élargissement $k = 1$. Le projet A de rapport est en préparation.

5.2.7 Mesures d'activité du ^3H

Le BIPM a participé à la comparaison clé CCRI(II)-K2.H-3 en utilisant pour la première fois le spectromètre TDCR qu'il a mis au point. L'analyse des résultats de la comparaison des mesures d'activité du ^3H a montré que le résultat du BIPM était de 4 % inférieur à la valeur moyenne de la comparaison. Afin de déterminer l'origine de cette différence, qui se situe néanmoins dans les limites des incertitudes, d'autres recherches ont été entreprises. Étant donné la proximité géographique entre le LNE-LNHB et le BIPM, une vérification croisée a été effectuée, les deux laboratoires échangeant leurs sources. Il ne semble pas y avoir de problème avec les sources préparées par le BIPM mais les mesures que le BIPM a effectuées avec le spectromètre TDCR ont montré le même décalage que celui observé au cours de la comparaison. Des recherches complémentaires ont détecté un problème dans le niveau du signal et les trois préamplificateurs rapides ont été modifiés afin d'y remédier (voir section 5.2.4). Des modifications mineures ont également été apportées au logiciel de traitement du signal. Les essais de validation ont été effectués avec succès mais les données expérimentales sont encore en cours d'analyse.

5.2.8 Comparaison de l'évaluation de l'incertitude du CCRI

Le BIPM a participé à une comparaison du CCRI portant sur l'évaluation de l'incertitude des mesures de coïncidence, pilotée par l'IRA avec l'aide du NPL qui a fourni les données. Chaque participant a reçu le même lot de données de mesures de coïncidence comprenant toutes les informations nécessaires pour évaluer les incertitudes. Les résultats préliminaires de cette comparaison ont été présentés au Groupe de travail de la section II du CCRI sur les incertitudes : ils montrent que la participation du BIPM a été un succès. On attend maintenant le rapport de cette comparaison.

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

Le Département des rayonnements ionisants maintient désormais les étalons de thermométrie du BIPM afin que celui-ci puisse procéder à l'étalonnage des thermomètres à résistance de platine étalon utilisés en interne, aux niveaux d'incertitude requis en particulier pour les calorimètres étalons, ainsi que pour les étalons utilisés par les départements de l'électricité et des masses. Un étalonnage d'essai en interne a été effectué fin 2009 et, en parallèle, une comparaison bilatérale indirecte, sur un domaine limité en température et en utilisant des thermomètres à résistance de platine étalon comme instruments de transfert, a été effectuée entre le BIPM et le LNE-INM. Le projet B de rapport de cette comparaison clé (CCT-K3.1) a été soumis à l'approbation des membres du CCT. La procédure du Système Qualité et les instructions de laboratoire ont été révisées, et un audit interne a eu lieu fin 2009. Les résultats de la comparaison et l'audit ont démontré que les étalonnages de thermomètres réalisés pour les départements du BIPM pouvaient être effectués dans les limites de l'incertitude requise de 300 μ K. Nous sommes redevables envers S. Solve pour les connaissances qu'il a transmises au Département.

Suite à la comparaison bilatérale, la première campagne d'étalonnages depuis 2006 s'est déroulée début 2010 : seize thermomètres à résistance de platine étalon appartenant aux départements des rayonnements ionisants, de l'électricité et des masses ont été étalonnés. La campagne a également inclus une comparaison interne de cellules à point triple de l'eau effectuée dans le cadre du Système Qualité.

5.4 Publications, conférences, voyages : Département des rayonnements ionisants

5.4.1 Publications extérieures

1. Allisy-Roberts P.J., Kessler C., Burns D.T., Berlyand V., Berlyand A., Comparison of the standards for absorbed dose to water of the VNIIFTRI, Russia and the BIPM in ^{60}Co γ -rays, *Metrologia*, 2010, 47, *Tech. Suppl.*, 06003.

* M. Stock et S. Solve sont membres du Département de l'électricité.

2. Allisy-Roberts P.J., Kessler C., Burns D.T., Delaunay F., Donois M., Comparison of the standards for air kerma of the LNE-LNHB and the BIPM for ^{137}Cs gamma radiation, *Metrologia*, 2009, 46, *Tech. Suppl.*, 06011.
3. Allisy-Roberts P.J., Kessler C., Burns D.T., Zhongqing T., Jiacheng H., Xiaoyuan Y., Kun W., Comparison of the standards for air kerma of the NIM and the BIPM for ^{60}Co gamma radiation, *Metrologia*, 2009, 46, *Tech. Suppl.*, 06013.
4. Burns D.T., A re-evaluation of the I -value for graphite based on an analysis of recent work on W , $s_{c,a}$ and cavity perturbation corrections, *Metrologia*, 2009, 46, 585–590.
5. Burns D.T., Kessler C., Allisy P.J., Re-evaluation of the BIPM international standard for air kerma in x-rays, *Metrologia*, 2009, 46, L21–L23.
6. Kessler C., Allisy-Roberts P., Burns D.T., Cardoso J., Oliveira C., Comparison of the standards for air kerma of the ITN (Portugal) and the BIPM for ^{137}Cs γ -rays, *Metrologia*, 2009, 46, *Tech. Suppl.*, 06012
7. Kessler C., Allisy P.J., Burns D.T., Duane S., Manning J., Nutbrown R., Comparison of the standards for air kerma of the NPL and the BIPM for ^{60}Co γ -rays, *Metrologia*, 2010, 47, *Tech. Suppl.*, 06004.
8. Kessler C., Allisy-Roberts P.J., Burns D.T., Guerra A.S., Laitano R.F., Pimpinella M., Comparison of the standards for absorbed dose to water of the ENEA-INMRI (Italy) and the BIPM for ^{60}Co γ -rays, *Metrologia*, 2010, 47, *Tech. Suppl.*, 06002.
9. Kessler C., Allisy-Roberts P.J., Csete I., Machula G., Comparison of the standards for air kerma of the MKEH and the BIPM for ^{137}Cs gamma radiation *Metrologia*, 2010, 47, *Tech. Suppl.*, 06013.
10. Kessler C., Allisy-Roberts P.J., McCaffrey J.P., Ross C.K., Comparison of the standards for air kerma of the NRC and the BIPM for ^{60}Co gamma radiation, *Metrologia*, 2010, 47, *Tech. Suppl.*, 06005.
11. Kessler C., Allisy-Roberts P.J., de Prez L.A., van Dijk E., Comparison of the standards for air kerma of the VSL and the BIPM for ^{60}Co gamma radiation, *Metrologia*, 2010, 47, *Tech. Suppl.*, 06015.

12. Kessler C., Allisy-Roberts P.J., Steurer A., Tiefenboeck W., Gabris F., Comparison of the standards for air kerma of the BEV and the BIPM for ^{60}Co gamma radiation, *Metrologia*, 2010, 47, *Tech. Suppl.*, 06006.
13. Kessler C., Allisy-Roberts P.J., Steurer A., Tiefenboeck W., Gabris F., Comparison of the standards for air kerma of the BEV and the BIPM for ^{137}Cs gamma radiation, *Metrologia*, 2010, 47, *Tech. Suppl.*, 06007.
14. Kessler C., Burns D.T., Allisy-Roberts P.J., Re-evaluation of the BIPM standard for air kerma in ^{137}Cs gamma radiation, *Metrologia*, 2009, 46, L24–L25.
15. Kessler C., Burns D.T., Allisy-Roberts P.J., McCaffrey J.P., McEwen M.R., Ross C.K., Comparison of the standards for absorbed dose to water of the NRC and the BIPM for ^{60}Co gamma radiation, *Metrologia*, 2010, 47, *Tech. Suppl.*, 06016.
16. Michotte C., Nonis M., Experimental comparison of different dead-time correction techniques in single-channel counting experiments, *Nucl. Instr. and Meth.*, 2009, A(608), 163-168.
17. Michotte C., Courte S., Ratel G., Sahagia M., Wätjen A.C., Fitzgerald R., Maringer F.-J., Update of the ongoing comparison BIPM.RI(II)-K1.Co-60 including activity measurements of the radionuclide ^{60}Co for the IFIN-HH (Romania), NIST (USA) and the BEV (Austria), *Metrologia*, 2010, 47, *Tech. Suppl.*, 06010.
18. Michotte C., Courte S., Ratel G., Sochorová J., Update of the comparison BIPM.RI(II)-K1.Co-56 of activity measurements of the radionuclide ^{56}Co to include the result of the CMI-IIR, *Metrologia*, 2010, 47, *Tech. Suppl.*, 06011.
19. Michotte C., Ratel G., Courte S., Garcia-Toraño E., Kossert K., Nähle O., van Wyngaardt W.M., Simpson B.R.S., Update report of the BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Na-22 of activity measurements of the radionuclide ^{22}Na to include the CIEMAT, PTB and the NMISA, *Metrologia*, 2010, 47, *Tech. Suppl.*, 06001.
20. Zimmerman B.E., Altitzoglou T., Rodrigues D., Broda R., Cassette P., Mo L., Ratel G., Simpson B., van Wyngaardt W., Wätjen C., Comparison of triple-to-double coincidence ratio (TDCR) efficiency calculations and uncertainty assessments for ^{99}Tc *Appl. Radiat. Isot.*, 2010, 68, 1477-1481.

5.4.2 Rapports BIPM

21. Allisy-Roberts P.J., Burns D.T., Kessler C., Measuring conditions used for the calibration of national ionometric standards at the BIPM, *Rapport BIPM-2009/04*, 20 p.
22. Burns D.T., Kessler C., Roger P., El-Sersy A.R., Preliminary characterization of the NIS free-air chamber standard at the BIPM, *Rapport BIPM-2009/02*, 12 p.
23. Kessler C., Roger P., Burns D.T., Establishment of reference radiation qualities for mammography, *Rapport BIPM-2010/01*, 10 p.

5.4.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

P.J. Allisy-Roberts :

- Londres (Royaume-Uni de Grande Bretagne et d'Irlande du Nord), le 2 juillet 2009, le 21 janvier 2010 et le 31 mars 2010, pour des réunions du comité de rédaction du *Journal of Radiological Protection* ; le 6 août 2009, pour une réunion des présidents des groupes de travail du National Measurement Office (NMO) ; le 22 juin 2010, pour présider une réunion des conseillers en matière de radioprotection ;
- Teddington (Royaume-Uni de Grande Bretagne et d'Irlande du Nord), le 4 septembre 2009, le 7 janvier 2010, et les 4 et 5 février 2010, pour présider des réunions du groupe de travail Acoustic and Ionizing Radiation du NMS ; le 29 septembre 2009, avec Z. Msimang (NMISA), pour une comparaison d'essai de curiethérapie au NPL ; du 8 au 11 juin 2010, avec J. Alvarez (AIEA/ININ), pour conduire une comparaison de dosimétrie en curiethérapie au NPL ;
- Vienne (Autriche), du 15 au 19 mars 2010, pour présider le comité scientifique permanent de l'AIEA ; du 12 au 14 mai 2010, pour assister à une réunion du comité scientifique pour le symposium sur la dosimétrie ;
- LNE (France), le 13 novembre 2009, pour assister au comité scientifique dans le domaine des rayonnements ionisants ;
- LNE-LNHB (France), le 12 mars 2010, pour une comparaison de dosimétrie en curiethérapie ; le 1^{er} avril 2010, pour assister au comité scientifique dans le domaine des rayonnements ionisants ;

- VSL (Pays-Bas), du 24 au 27 novembre 2009, avec C. Andersen (RISØ), pour la première comparaison de curiethérapie à haute dose ;
- Versailles (France), du 2 au 4 décembre 2009, avec S. Picard, pour assister à une conférence sur les accidents en radiothérapie ;
- Ljubljana (Slovénie), du 21 au 23 mai 2010, pour assister à une réunion de membres de la Fédération européenne des organisations de physique médicale et faire une présentation sur le programme de dosimétrie dans le rayonnement des accélérateurs linéaires du BIPM.

D.T. Burns :

- Dresde (Allemagne), du 11 au 15 septembre 2009, pour assister à une réunion de la commission principale de l'ICRU ;
- Paris (France), les 15 et 16 octobre 2009, pour une réunion des délégués de l'EURAMET dans le domaine des rayonnements ionisants ;
- Braunschweig (Allemagne), du 8 au 12 mars 2010, pour une comparaison des étalons de dose absorbée dans les faisceaux de l'accélérateur linéaire de la PTB.

S. Picard :

- Saint-Denis (France), le 28 septembre 2009, avec M. Nonis, pour la comparaison clé CCT-K3.1 en thermométrie avec le LNE-INM/CNAM ;
- Braunschweig (Allemagne), le 26 novembre 2009, pour discuter avec R.-P. Kapsch (PTB) de la comparaison clé dans les faisceaux d'accélérateurs linéaires ;
- Braunschweig (Allemagne), du 8 au 26 mars 2010, avec P. Roger, pour une comparaison des étalons de dose absorbée dans les faisceaux de l'accélérateur linéaire de la PTB.

G. Ratel :

- Bratislava (Slovaquie), du 7 au 11 septembre 2009, pour la 17^e conférence de l'ICRM et la réunion de son comité exécutif. G. Ratel a également fait partie du comité de lecture de neuf articles devant être publiés dans les comptes rendus de la conférence ;
- Roissy (France), les 30 novembre et 1^{er} décembre 2009, avec S. Courte, pour assister à une formation APAVE afin d'obtenir le certificat d'aptitude pour le transport de marchandises dangereuses ;

- Le Cap (Afrique du Sud), du 15 au 17 avril 2010, pour participer à l'évaluation du NMISA en qualité d'assesseur technique dans le domaine des mesures de radioactivité ;
- Tsukuba (Japon), les 19 et 20 mai 2010, pour une réunion du comité exécutif de l'ICRM.

C. Michotte :

- Bratislava (Slovaquie), du 8 au 10 septembre 2009, pour assister à la conférence internationale sur la métrologie des radionucléides et ses applications, et faire une présentation orale sur la première comparaison des mesures d'activité du ^{99m}Tc à l'aide de l'instrument de transfert du SIR qui s'est déroulée au NIST ;
- Le Cap (Afrique du Sud), du 10 au 13 novembre 2009, pour une réunion du Groupe de travail 1 du Comité commun pour les guides en métrologie en tant que personne à contacter au BIPM et rapporteur.

5.5 Activités en liaison avec des organisations extérieures

P.J. Allisy-Roberts a démissionné du Groupe de travail de l'UK National Measurement System Programme for Ionizing Radiation and Acoustics, auquel elle participait depuis 1991 et qu'elle présidait depuis 1998. Elle est actuellement présidente de l'UK Ionising Radiation Health and Safety Forum et représente le BIPM au comité scientifique des laboratoires secondaires de dosimétrie de l'AIEA qu'elle préside. 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 et de deux Report Committees de l'ICRU, l'un sur les données clés en dosimétrie, l'autre sur les grandeurs opérationnelles pour la radioprotection. Il est la personne à contacter au BIPM du comité technique de l'EURAMET sur les rayonnements ionisants.

G. Ratel représente le BIPM à l'International Committee for Radionuclide Metrology (ICRM) ; il est président du Nominating Committee de l'ICRM.

5.6 Activités liées au travail des Comités consultatifs

P.J. Allisy-Roberts est secrétaire exécutive du CCRI et de ses trois sections, dont les groupes de travail se sont réunis à sept reprises au cours des douze derniers mois, en plus d'une réunion spéciale du CCRI en mai 2010 pour discuter de stratégie. Elle est aussi secrétaire exécutive du CCAUV.

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 la dosimétrie des accélérateurs se sont réunis en mai 2010 : C. Kessler et S. Picard ont également assisté à ces réunions. D.T Burns est également membre d'un groupe *ad-hoc* d'évaluation de l'effet d'un excès de charge sur la valeur de W_{air} .

C. Michotte coordonne le Groupe de travail de la Section II du CCRI sur l'instrument de transfert du SIR, et est membre du Groupe de travail de la Section II du CCRI sur les comparaisons clés qui s'est réuni en avril 2010. 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 2009 et en mai 2010.

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 le 7 septembre 2009 ; Groupe de travail sur les comparaisons clés, qui s'est réuni le 9 septembre 2009 et le 27 avril 2010 ; Groupe de travail sur les incertitudes de mesures, qui s'est réuni le 28 avril 2010 ; et Groupe de travail sur la réalisation du becquerel.

5.7 Visiteurs du Département des rayonnements ionisants

- M. Duncan Butler (ARPANSA), le 4 décembre 2009.
- M. Ganesan Ramanathan (ARPANSA), le 30 avril 2010.

5.8 Chercheurs invités

- M. Klaus Andersen (RISØ), du 10 août au 4 septembre 2009.
- Mme Zakithi Msimang (NMISA), du 1^{er} au 30 septembre 2009.
- Mme Anna Villevalde (VNIIM), du 16 au 20 novembre 2009.

- MM. Takahiro Tanaka et Tadahiro Kurosawa (NMIJ), du 23 au 27 novembre 2009.
- M. Yuichiro Morishita (NMIJ), du 30 novembre au 4 décembre 2009.
- M. Sibusiso Jozela (NMISA), du 18 au 29 janvier 2010.
- M. Jinjie Wu (NIM), du 18 au 29 janvier 2010.
- M. Wang Kun (NIM), du 19 au 26 février 2010.
- M. Adrian Knyziak (GUM), du 26 avril au 7 mai 2010.
- M. David Webb (ARPANSA), du 25 mai au 4 juin 2010.
- M. Jose Alvarez (ININ), chercheur associé de l'AIEA, du 12 avril au 9 juillet 2010.

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

Deux laboratoires, le NIST (États-Unis d'Amérique) en juin 2009, et le CHMI (République tchèque) en septembre 2009, ont apporté ou envoyé leur étalon national mesureur d'ozone au BIPM pour une comparaison directe à l'étalon de référence BIPM-SRP27. Ces comparaisons font partie du second cycle de la comparaison clé BIPM.QM-K1 qui a commencé en mai 2009. La publication des rapports des comparaisons du second cycle a été ajournée afin de permettre celle de tous les rapports des comparaisons effectuées au cours du premier cycle (2007-2008).

Suite à la 23^e réunion du Groupe de travail du CCQM sur l'analyse des gaz en avril 2010, deux rapports en attente concernant des comparaisons du premier cycle (avec le NMISA en juillet 2008, et avec le NPLI en février 2009) ont été révisés et publiés dans le *Technical Supplement* de *Metrologia* en mai 2009. Le projet B de rapport de la comparaison avec le VSL, qui s'est déroulée en septembre 2008, est le dernier rapport toujours en révision auprès du Groupe de travail du CCQM sur l'analyse des gaz.

En décembre 2009, une comparaison suivant le protocole de la comparaison clé BIPM.QM-K1 a été effectuée avec l'Agência Portuguesa do Ambiente (Portugal), qui n'a pas encore été nommée laboratoire désigné dans le cadre du CIPM MRA. Le rapport de cette comparaison sera publié sous la forme d'un rapport BIPM.

En février 2010, un kit de mise à niveau pour les photomètres mesureurs d'ozone du NIST a été installé avec succès dans l'un des photomètres étalons de référence conservés par le LNE (SRP21). L'installation a été effectuée dans les laboratoires du BIPM et un rapport a été envoyé au LNE.

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

Des mesures concernant l'oxygène à l'état de traces ont été effectuées et ont montré qu'il était nécessaire de modifier la conception de l'équipement pour le titrage en phase gazeuse du BIPM ; ainsi, une grande partie des tubes en plastique éthylène/propylène perfluoré ont été retirés. L'élément où se produit la réaction, composé à l'origine de tubes en plastique éthylène/propylène perfluoré de 6,35 mm, a été remplacé par 11 m de tubes en verre borosilicaté de 11 mm. Ce nouvel équipement est actuellement à l'essai. Le convertisseur en molybdène intégré à l'analyseur par chimiluminescence d'oxyde d'azote a été remplacé par un convertisseur photolytique construit au BIPM. Ce convertisseur est plus spécifique au dioxyde d'azote et n'est pas affecté par l'ozone, mais présente un facteur de conversion plus faible. L'efficacité de la conversion du convertisseur photolytique a été mesurée à 26 % mais devrait présenter une meilleure reproductibilité et être plus discriminante que l'ancien convertisseur à molybdène.

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

L'analyseur par chimiluminescence TEI 42C a été remplacé avec succès par un analyseur Eco Physics CLD70E dans l'équipement de comparaison du BIPM. Des études de stabilité ont été effectuées avec des étalons primaires que le BIPM possède depuis six années. La stabilité de ces étalons a été évaluée et les résultats utilisés lors de discussions pour l'établissement d'un laboratoire central d'étalonnage pour le réseau du programme de veille de l'atmosphère globale de l'OMM. La procédure du BIPM pour assigner une

valeur aux étalons secondaires de gaz utilisés en interne est en cours de révision.

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

La comparaison clé CCQM-K74 a été menée à bien et le projet A de rapport a été transmis aux participants en juin 2010. La comparaison CCQM-K74 avait pour objectif d'évaluer le niveau de comparabilité des aptitudes de mesure des laboratoires en ce qui concerne le dioxyde d'azote (NO_2) à une fraction molaire nominale de $10 \mu\text{mol/mol}$. La valeur de référence proposée pour cette comparaison est fondée sur les valeurs assignées à l'aide de l'équipement de génération dynamique du BIPM, en appliquant les corrections adéquates concernant la présence d'acide nitrique mesuré par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier. La mesure de fractions molaires de gaz par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier est à l'étude dans le cadre de la comparaison pilote CCQM-P110 dont le rapport est en cours de finalisation par le BIPM ; ce rapport servira de base à un atelier qui se tiendra pendant la réunion du Groupe de travail du CCQM sur l'analyse des gaz en novembre 2010.

6.1.5 Comparaison clé d'étalons de méthane

Le programme visant à mettre en place un équipement pour déterminer la comparabilité au niveau international des étalons de méthane dans l'air au niveau ambiant s'est poursuivi en 2009-2010 avec l'achat d'un équipement de chromatographie en phase gazeuse avec détection d'ionisation de la flamme. Cet équipement, complétant celui de spectroscopie par absorption laser dans un résonateur optique en anneau (CRDS) acheté en 2008-2009, permettra de déterminer la cohérence des valeurs d'étalons de méthane dans l'air dans des conditions de répétabilité, afin de réduire les incertitudes de mesure analytique. Les mesures devraient commencer d'ici la fin de 2010.

6.1.6 Formaldéhyde

Les principales pièces du nouveau générateur de formaldéhyde dans l'azote ont été installées puis validées au cours de 2009-2010. Un spectromètre par absorption laser dans un résonateur optique en anneau (CRDS), destiné à mesurer le formaldéhyde dans l'azote à des fractions molaires allant de

100 nmol/mol à 20 $\mu\text{mol/mol}$, a été soumis à des essais en utilisant des mélanges générés par dilution à partir d'un cylindre étalon de formaldéhyde à la fraction molaire de 10 $\mu\text{mol/mol}$. Des tests de validation concernant la linéarité, la répétabilité à court terme et la reproductibilité de l'équipement, ont été menés à bien. Un système composé d'une chambre à perméation attachée à une balance à suspension magnétique pour la génération dynamique de mélanges de formaldéhyde dans l'azote a été testé pour vérifier la stabilité de la mesure de masse, ainsi que les éventuelles pertes de formaldéhyde au sein de la chambre. Afin de remplir les critères de validation, le système a dû être amélioré en ce qui concerne, principalement, l'isolation entre la chambre à perméation qui est chaude (80 °C) et la balance. Des mesures des éventuelles pertes de formaldéhyde ont été effectuées à l'aide d'une source externe, également à perméation, et ont permis de conclure que le système convenait. Les premiers tests de génération de formaldéhyde avec un tube à perméation de paraformaldéhyde maintenu à 100 °C ont commencé, et la période de stabilisation a été étudiée. Un système d'auto-échantillonnage a été construit et installé ; il permettra à l'avenir d'accueillir jusqu'à 15 étalons de gaz dans des cylindres pour comparaison. Le spectromètre infrarouge à transformée de Fourier a été relié au système afin de commencer l'analyse d'éventuelles impuretés dans les mélanges de formaldéhyde et d'azote.

6.1.7 Mise au point d'un photomètre étalon de référence équipé d'un laser et mesure de la section efficace d'absorption de l'ozone

Les améliorations apportées en isolant le photomètre étalon de référence équipé d'un laser de son environnement ont permis d'améliorer la stabilisation en puissance du laser, qui peut désormais être estimée par un écart-type d'Allan relatif meilleur que 1×10^{-5} pour des moyennes de 1 seconde à 200 secondes. On a aussi réduit les effets liés à la polarisation et le photomètre étalon de référence équipé d'un laser présente désormais le même niveau de bruit à 244 nm que le photomètre étalon de référence équipé d'une lampe à mercure à 254 nm. En utilisant des valeurs de sections efficaces d'absorption de l'ozone publiées en 2004, on obtient avec les deux types de photomètres étalons des résultats de mesure de la concentration en ozone qui sont en accord compte tenu du bruit de mesure. Des mesures exactes par interférométrie de la longueur du trajet optique au sein des cellules de gaz de l'instrument ont commencé.

Simultanément, un équipement a été conçu pour la mesure directe de la section efficace d'absorption de l'ozone dans le rayonnement UV lointain. Des pompes à vide, des pièces de chambre à vide, des jauges de pression, une cellule de mesure et un analyseur de spectre de masse (pour l'analyse des impuretés) ont été achetés. La conception d'un générateur d'ozone pur a été achevée et toutes les pièces sont en cours de commande.

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

L'objectif du programme d'analyse organique est de coordonner 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 de métrologie qui fournissent des services dans le domaine de l'analyse organique dans le cadre du CIPM MRA, ou pour lesquels des aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages dans ce domaine sont publiées dans la base de données du BIPM sur les comparaisons clés.

Les membres du Groupe de travail du CCQM sur l'analyse organique ont également convenu d'inclure au programme d'analyse organique du BIPM la coordination de comparaisons visant à déterminer la fraction massique de substances organiques dans une solution. En 2011, le BIPM coordonnera la comparaison clé CCQM-K78 pour la détermination de la fraction massique d'aldrine dans une solution d'isooctane. Par ailleurs, la partie du programme d'analyse organique du BIPM concernant les méthodes de détermination des caractéristiques de matériaux purs afin d'assigner des valeurs aux substances de poids moléculaire élevé et à structure complexe, tels que les peptides ou les protéines, a actuellement pour sujet d'étude les acides aminés purs, l'angiotensine I et l'insuline. Les équipements du BIPM ont été adaptés afin de pouvoir être utilisés pour la manipulation, la préparation, la détermination des caractéristiques et le stockage des matériaux tels que les peptides ou les protéines qui seront utilisés dans des comparaisons d'évaluation de la pureté du CCQM.

6.2.1 Mise au point des méthodes

La mise au point et la validation de méthodes analytiques nécessaires à la production et à la détermination des caractéristiques du matériau d'étude de la comparaison clé CCQM-K55.b (aldrine) sont terminées. Les principales impuretés observées dans le matériau sont des impuretés de structure connexe, ainsi qu'un solvant organique résiduel.

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

- les méthodes de chromatographie en phase gazeuse avec spectroscopie de masse ou avec détection d'ionisation de la flamme pour identifier et quantifier, par étalonnage externe, l'aldrine et ses composés connexes ;
- les protocoles d'analyse par chromatographie en phase gazeuse avec détection d'ionisation de la flamme pour tester la stabilité et l'homogénéité des impuretés contenues dans le matériau ;
- la chromatographie liquide par ultraviolet, pour confirmer de façon indépendante l'identification et la quantification des impuretés du matériau d'étude de la comparaison CCQM-K55.b ;
- des recherches sur les méthodes de spectrométrie de masse et de chromatographie liquide avec spectrométrie de masse, avec détection par ionisation par électronébuliseur et par photoionisation, pour l'analyse de l'aldrine. Ces méthodes ont cessé d'être utilisées en raison des difficultés pour obtenir des spectres valables ;
- l'analyse des données obtenues par spectroscopie de résonance magnétique nucléaire par un collaborateur externe, afin de confirmer le profil d'impureté identifié pour le matériau de la comparaison CCQM-K55.b et afin d'obtenir par résonance magnétique nucléaire quantitative une évaluation indépendante de la fraction massique d'aldrine ;
- l'optimisation de la chromatographie en phase gazeuse avec spectroscopie de masse pour la détermination des composés organiques volatils résiduels présents dans le matériau d'étude de la comparaison CCQM-K55.b, et son application pour évaluer la stabilité et l'homogénéité des composés organiques volatils contenus dans le matériau ;

- la mise en œuvre des conditions du titrage Karl Fischer pour déterminer la teneur en eau du matériau d'étude ;
- l'utilisation de l'analyse thermogravimétrique pour obtenir des données confirmant l'estimation de teneur en eau et en composés organiques volatils obtenue par d'autres techniques ;
- l'analyse de traces de métal afin de confirmer l'absence de niveaux significatifs de métaux ;
- la microanalyse du pourcentage des éléments carbone et hydrogène, afin de fournir des données pour déterminer les caractéristiques du matériau d'étude.

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

La mise au point de méthodes destinées à être utilisées lors de la préparation et de la détermination des caractéristiques du matériau d'étude pour la comparaison clé CCQM-K78 (aldrine en solution) a débuté.

Les procédures mises au point ou étudiées à ce jour pour les matériaux candidats de la comparaison CCQM-K78 comprennent :

- la préparation de solutions d'aldrine dans de l'isooctane par dosage gravimétrique ;
- le sous-échantillonnage d'aliquotes de la solution dans des ampoules scellées ensuite à la flamme ;
- les méthodes de chromatographie en phase gazeuse avec détection d'ionisation de la flamme pour évaluer l'homogénéité d'un lot d'ampoules scellées.

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 substances de poids moléculaire élevé et à structure complexe qui présentent un intérêt pour le CCQM. L'angiotensine I et l'insuline ont été choisies comme systèmes modèles, après consultation avec le NIST et le NIBSC. Ces deux substances jouent un rôle important dans le domaine de la chimie clinique, de la médecine de laboratoire, de l'analyse pharmaceutique, et du contrôle antidopage dans le milieu du sport. Des stratégies d'étude ont été mises au point pour les deux substances et ont été présentées pendant les réunions annuelles du CCQM au

BIPM. L'achat d'acides aminés purs, d'angiotensine I, d'insuline, ainsi que des équipements de laboratoire spécifiques requis (tels que des appareils d'hydrolyse, un évaporateur rotatif à vide, un système de spectrométrie de masse) est en cours, voire achevé.

La mise au point et la validation des méthodes d'analyse pour les acides aminés ont commencé afin de pouvoir utiliser ces méthodes pour déterminer les caractéristiques de l'angiotensine I et de l'insuline. L'identification et la quantification des principales impuretés présentes dans un ensemble d'acides aminés sélectionnés sont extrêmement importantes pour pouvoir assigner une valeur aux peptides ou aux protéines en se fondant sur l'analyse des acides aminés.

Parmi les procédures en train d'être mises au point ou étudiées pour la détermination des impuretés de structure connexe, ou autres, dans des matériaux purs disponibles dans le commerce, tels que l'isoleucine, la leucine, la phénylalanine, la proline, la tyrosine et la valine, figurent :

- les méthodes de chromatographie liquide par ultraviolet et de détection des aérosols chargés pour identifier et quantifier, par étalonnage externe, les acides aminés sélectionnés et les composés connexes ;
- la spectrométrie de masse et la chromatographie liquide avec spectrométrie de masse utilisant la chromatographie par interaction hydrophylque et l'ionisation par électronébuliseur pour identifier, qualitativement et quantitativement, les acides aminés sélectionnés et les composés connexes. Les procédures seront utilisées à la fois pour déterminer les caractéristiques des acides aminés sélectionnés et pour analyser les acides aminés contenus dans les peptides ou protéines hydrolysés ;
- les méthodes de titrage Karl Fischer pour déterminer la teneur en eau des acides aminés sélectionnés ;
- la chromatographie en phase gazeuse avec spectroscopie de masse pour déterminer les impuretés organiques volatiles présentes dans les acides aminés sélectionnés ;
- l'analyse thermogravimétrique comme méthode de soutien à l'évaluation de la teneur totale en composés volatils et en eau.

Par ailleurs, le processus d'engagement d'un chercheur associé travaillant dans le domaine de l'analyse de pureté des molécules de grande taille a commencé.

6.2.4 Coordination des comparaisons du CCQM pour l'évaluation de la pureté

Le rapport abrégé final de la comparaison CCQM-P20.f (digoxine) a été accepté et sera publié en 2010 sous la forme d'un *Technical Supplement* de *Metrologia*.

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

Les résultats de la comparaison de pureté CCQM-K55.a (estradiol) ont été reçus en mars 2009 et un premier résumé a été transmis à l'ensemble des participants avant d'être discuté en détail lors de la réunion du Groupe de travail du CCQM sur l'analyse organique en avril 2009. Il s'en est suivi des études qui ont permis de détecter la cause des différences significatives de teneur en eau observées par les participants lors de la comparaison ; cela a été discuté lors de la réunion de novembre 2009.

Il a été convenu que la principale raison de la dispersion des données provient de l'utilisation d'un four chaud pour libérer l'eau contenue dans l'échantillon d'estradiol afin de mesurer sa teneur en eau par titrage Karl Fischer. Si la température est plus basse que celle du point de fusion de l'estradiol (176 °C), l'eau n'est que partiellement libérée, ce qui résulte en une sous-estimation de la teneur en eau du matériau de la comparaison.

Comme cela a été requis par le Groupe de travail du CCQM sur l'analyse organique en avril 2009, le BIPM a préparé un projet A de rapport pour la réunion de novembre 2009, et une valeur de référence pour la teneur en estradiol de l'échantillon de la comparaison, fondée sur une approche par bilan massique similaire à celle utilisée pour la comparaison CCQM-P20.f, a été proposée. Un projet B de rapport de comparaison clé a ensuite été discuté lors de la réunion du Groupe de travail du CCQM sur l'analyse organique en avril 2010, et on est parvenu en principe à un accord concernant la valeur de référence et l'incertitude associée proposées pour la comparaison clé.

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

Le matériau d'étude pour la comparaison clé CCQM-K55.b (aldrine) a été préparé au BIPM par purification d'aldrine de grade technique fournie par le NMIA. Le matériau a été divisé en unités de 500 mg. Le profil d'impureté du matériau a été déterminé et la conformité de l'homogénéité et de la

stabilité du lot a été démontrée aux fins de l'étude. Un appel à participation a été lancé en janvier 2010 et dix-huit laboratoires nationaux de métrologie ou désignés se sont inscrits à la comparaison clé. Sept laboratoires supplémentaires participent à l'étude pilote CCQM-P117.b menée en parallèle. Les échantillons à comparer ont été distribués aux laboratoires participants en mai 2010 et les résultats de la comparaison seront examinés lors de la réunion du Groupe de travail du CCQM sur l'analyse organique en novembre 2010.

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 (JCTLM), et membre de son groupe d'examen sur la mise en œuvre des Systèmes Qualité. 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 en même temps que les réunions de l'American Association for Clinical Chemistry (AACC) à Chicago en juillet 2009 ; elle a été suivie d'un atelier intitulé « Measurement Standards Needs for Next Generation Healthcare » organisé sous les auspices du JCTLM, du CCQM et du NIST. Les activités du JCTLM ont également été présentées au cours d'une session intitulée « Metrology and its application to Clinical Laboratory » au cours de la réunion de l'AACC.

La huitième réunion du comité exécutif du JCTLM s'est tenue au BIPM les 3 et 4 décembre 2009, et M. M. Müller (IFCC) a été nommé nouveau président du JCTLM pour une période de deux ans, renouvelable une fois. Le BIPM a de nouveau été désigné pour assurer le secrétariat du JCTLM pour trois périodes consécutives de deux ans.

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 concernant les médicaments, les enzymes et les électrolytes. Le calendrier d'examen des propositions exceptionnelles du Cycle 3 du Groupe de travail 1 concernant les matériaux de référence et les procédures de mesure de référence pour les électrolytes a été établi. Le document répertoriant le domaine d'activité de chaque groupe d'examen a été approuvé et mis en ligne sur le site internet du JCTLM. La recommandation faite par le groupe d'examen des acides nucléiques a été acceptée : les trois propositions exceptionnelles du Cycle 3 du Groupe de travail 1 concernant

les matériaux de référence seront ainsi publiés dans une nouvelle catégorie appelée « Liste III » qui couvrira les matériaux de référence pour des propriétés nominales.

La base de données du JCTLM a été mise à jour en janvier 2010 afin d'inclure les matériaux de référence du Cycle 6 du Groupe de travail 1 et les services de mesure de référence fournis par les laboratoires du Cycle 4 du Groupe de travail 2, approuvés par le comité exécutif lors de sa réunion annuelle. En mai 2010, 49 services de mesure de référence fournis par des laboratoires ont été supprimés de la base de données du JCTLM en raison du non-respect, par ces laboratoires, du délai de demande d'accréditation indiqué dans les normes ISO 15195 et ISO/CEI 17025.

En juin 2010, la base de données du JCTLM comprenait :

- 227 matériaux de référence certifiés, disponibles et couvrant douze catégories de substances. Parmi ces matériaux de référence, 33 sont actuellement inclus dans la Liste II (matériaux de référence dont la valeur a été assignée conformément à des protocoles reconnus au niveau international), et trois dans la Liste III (matériaux de référence pour les propriétés nominales) ;
- 146 méthodes ou procédures de mesure de référence qui représentent environ 75 substances différentes appartenant à huit catégories ;
- 86 services de mesure de référence pouvant être fournis par dix laboratoires de référence de six pays, et couvrant six catégories de substances.

L'appel à propositions pour le Cycle 7 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 5 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 2010 ; un e-mail a par ailleurs été envoyé à ce sujet aux trois cents contributeurs potentiels. En mai 2010, 42 propositions de matériaux, 30 de procédures et 4 de services avaient été reçues ; ces propositions ont été envoyées aux groupes d'examen afin qu'elles soient évaluées.

La refonte et la mise à jour de la base de données du JCTLM, dues aux changements qui ont été apportés aux formulaires du JCTLM de soumission de propositions et qui étaient requis par la révision de la norme ISO 15494, ont été confiées à une société extérieure. La nouvelle version en ligne du système a été publiée en mars 2010.

Les procédures et formulaires de soumission de propositions du Groupe de travail 1 ont été révisés afin d'être en conformité avec les normes ISO 15194:2009 et ISO 15193:2009, le VIM3 et les critères de la Liste III concernant les propriétés nominales. Ces procédures et formulaires ont ensuite été publiés sur le site internet du JCTLM en janvier 2010.

Les procédures concernant le fonctionnement du secrétariat du JCTLM et celles 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 publiées sur les pages internet du JCTLM en décembre 2009.

6.4 Activités liées à la métrologie en matière de bioanalyse

Le contrat pour réaliser une étude clairement définie par le BIPM, intitulée « Study of Measurement Service and Comparison Needs for an International Measurement Infrastructure for the Biosciences and Biotechnology: Input for the BIPM Work Programme », a été attribué au LGC. Jusqu'à présent, l'avancée du projet respecte les délais impartis. L'avant-projet (P1-D1) a été livré au BIPM en octobre 2009, et un rapport sur les feuilles de route et stratégies (P2-D1) en mars 2010. Des ébauches de formulaires d'interview ont été rédigés en octobre 2009 et des rapports concernant les visites et entretiens effectués avec les principales organisations de la bio-industrie et de la mesure dans ce domaine ont été soumis au BIPM en mars 2010. Un rapport sur les activités et projets du Groupe de travail du CCQM sur la bio-analyse a été soumis au BIPM en juin 2010, en même temps qu'un rapport sur l'analyse des résultats de l'étude. Un projet du rapport de l'étude complète est en cours de préparation au LGC. Il sera soumis aux commentaires des parties prenantes en octobre 2010, et une version finale prenant en considération ces commentaires sera publiée au mois de mars 2011.

6.5 Activités liées au travail des Comités consultatifs

R.I. Wielgosz est secrétaire exécutif du CCQM, dont la 16^e session s'est tenue au BIPM les 15 et 16 avril 2010, suite aux réunions de ses groupes de travail. Un atelier du CCQM sur la médecine légale a été organisé au BIPM le 12 avril 2010.

S. Westwood est membre du Groupe de travail du CCQM sur l'analyse organique et de son sous-groupe de travail sur les compétences clés fondamentales.

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

J. Viallon est membre du Groupe de travail du CCQM sur l'analyse des gaz.

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

S. Maniguet est membre des groupes de travail du CCQM sur l'analyse organique et sur les comparaisons clés.

6.6 Comparaisons du CCQM coordonnées par le BIPM

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

- BIPM.QM-K1 – Ozone, niveau ambiant (comparaison en continu) ;
- CCQM-K74 – Dioxyde d'azote, assignation de valeur (10 $\mu\text{mol/mol}$) ;
- CCQM-K55.a – 17 β -estradiol, analyse de pureté ;
- CCQM-K55.b – Aldrine, analyse de pureté ;
- CCQM-P110 – Dioxyde d'azote (10 $\mu\text{mol/mol}$), étude spectroscopique par FIR ;
- CCQM-K78 – Solution d'étalonnage d'aldrine.

6.7 Activités en liaison avec des organisations extérieures

R.I. Wielgosz représente le BIPM à l'ICTNS de l'UICPA, 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*. Il a co-présidé le 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 », et a présidé la session plénière de cet atelier, ainsi que la session dédiée aux gaz à effet de serre.

S. Westwood représente le BIPM et le CCQM à l'ISO-REMCO ; il est membre du groupe d'experts Laboratoires de l'Agence mondiale antidopage (AMA).

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 des groupes de travail connexes 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, voyages : Département de la chimie

6.8.1 Publications extérieures

1. Viallon J., Botha A., Wielgosz R.I., Moussay P., Final report on the ongoing key comparison BIPM.QM-K1: Ozone at ambient level, comparison with NMISA, 2008, *Metrologia*, 2010, **47**, *Tech. Suppl.*, 08014.
2. Viallon J., Moussay P., Wielgosz R.I., Arya B.C., Mishra S.K., Kumar A., Shukla D.K., Norris J.E., Guenther F.R., Final report on the ongoing key comparison BIPM.QM-K1: Ozone at ambient level, comparison with NPLI, 2009, *Metrologia*, 2010, **47**, *Tech. Suppl.*, 08015.
3. Flores E., Viallon J., Moussay P., Idrees F., Wielgosz R.I., BIPM Chemistry Department: International Comparison of FTIR measurements traceable to HITRAN and Gravimetrically prepared Gas Standards. Proceedings of the 2009 AGU Fall Meeting, 14-18 December, San Francisco, California. Poster session Greenhouse Gas Measurements Using Active Optical Remote Sensing A41C-0126.
4. Westwood S., Josephs R.D., 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., An international comparison of mass fraction purity assignment of theophylline: CCQM Pilot Study CCQM-P20.e (Theophylline), *Metrologia*, 2009, **46**, *Tech. Suppl.*, 08019.

5. Josephs R.D., Daireaux A., Westwood S., Wielgosz R.I., Simultaneous determination of various cardiac glycosides by liquid chromatography – hybrid mass spectrometry for the purity assessment of the therapeutic monitored drug digoxin, *J. Chromatogr. A*, 2010, **1217**, 4535-4543 (doi:10.1016/j.chroma.2010.04.060).

6.8.2 Publications du BIPM

6. Viallon J., Moussay, P., Wielgosz R.I., Ross G., Comparison of Ozone Reference Standards of the DECC NSW and the BIPM, October 2008, *Rapport BIPM-2009/03*, 19 p.
7. Steele A.G., Viallon J., Hatto P., Janssen T.J.B.M., Knight A., Locascio L., Miles J.R., Morazzani V., Prins S., Unger W., Report on the BIPM Workshop on Metrology at the Nanoscale (18-19 February 2010), *Rapport BIPM-2010/06*, 22 p.

6.8.3 Conférences et voyages

R.I. Wielgosz :

- AACC, Chicago (États-Unis d'Amérique), les 18 et 19 juillet 2009, pour une réunion des groupes de travail du JCTLM et un atelier commun au JCTLM, au CCQM et au NIST ;
- NIST, Gaithersburg (États-Unis d'Amérique), les 28 et 29 juillet 2009, pour une réunion hors site du CSTL du NIST ;
- Hohenpeissenberg (Allemagne), les 8 et 9 octobre 2009, pour participer à l'atelier du programme de veille de l'atmosphère globale de l'OMM sur les oxydes d'azote et y faire une présentation ;
- Rio de Janeiro (Brésil), du 3 au 6 novembre 2009, pour une session plénière et des réunions des groupes de travail du CCQM ;
- National Institute for Biological Standards and Control (NIBSC), Londres (Royaume-Uni de Grande Bretagne et d'Irlande du Nord), le 24 novembre 2009 ;
- INRIM, Turin (Italie), les 4 et 5 février 2010, pour des réunions de l'EURAMET METCHEM ;
- Royal Society, Londres (Royaume-Uni de Grande Bretagne et d'Irlande du Nord), les 22 et 23 février 2010, pour participer à la

conférence « Greenhouse gases in the Earth system: setting the agenda to 2030 » ;

- Genève (Suisse), du 30 mars au 1^{er} avril 2010, pour présider des sessions plénières ou de groupe lors 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 ».

S. Westwood :

- Teddington (Royaume-Uni de Grande Bretagne et d'Irlande du Nord), du 3 au 6 juillet 2009, pour représenter le BIPM et le CCQM à la 32^e réunion annuelle du comité de l'ISO sur les matériaux de référence (ISO-REMCO) ;
- Montréal (Canada), du 13 au 15 septembre 2009, pour une réunion du groupe d'experts Laboratoires de l'AMA ;
- INMETRO, Rio de Janeiro (Brésil), du 3 au 5 novembre 2009, pour une réunion du Groupe de travail du CCQM sur l'analyse organique ;
- Vienne (Autriche), du 5 au 8 mars 2010, pour assister à la réunion des directeurs des laboratoires accrédités par l'AMA, ainsi qu'à une réunion du groupe d'experts Laboratoires de l'AMA ;
- Montréal (Canada), du 6 au 9 juin 2009, pour une réunion du groupe d'experts Laboratoires de l'AMA.

R. Josephs :

- International Dairy Federation (IDF), Berlin (Allemagne), le 23 septembre 2009, pour assister à la session du World Dairy Summit 2009 sur l'analyse et l'échantillonnage ;
- INMETRO, Rio de Janeiro (Brésil), du 3 au 6 novembre 2009, pour des réunions des Groupes de travail du CCQM sur l'analyse organique et sur la bio-analyse ;
- National Institute for Biological Standards and Control (NIBSC), Londres (Royaume-Uni de Grande Bretagne et d'Irlande du Nord), le 24 novembre 2009, pour faire une présentation sur la quantification traçable au SI des peptides ;
- Agilent, Waldbronn (Allemagne), le 15 janvier 2010, pour une démonstration de l'équipement de chromatographie liquide avec spectrométrie de masse ;

- Thermo, Courtaboeuf (France), le 17 janvier 2010, pour une démonstration de l'équipement de chromatographie liquide avec spectrométrie de masse ;
- Budapest (Hongrie), du 5 au 10 mars 2010, pour représenter 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, ainsi qu'à l'atelier commun à l'AOCS, au BIPM, à l'ICC, à l'UICPA et au NMKL, intitulé « Codex Methods of Analysis: What, When, Why, How to Use? ».

J. Viallon :

- Tel Aviv (Israël), du 18 au 22 octobre 2009, en tant que représentante du BIPM aux réunions plénière et de travail de l'ISO TC 229 (Nanotechnologies) ;
- Rio de Janeiro (Brésil), du 3 au 6 novembre 2009, pour une session plénière et les réunions des groupes de travail du CCQM ;
- PTB, Braunschweig (Allemagne), les 19 et 20 novembre 2009, pour assister à l'atelier européen Co-Nanomet sur la nanométrie ;
- Genève (Suisse), du 30 mars au 1^{er} avril 2010, pour faire un exposé intitulé « Ozone cross sections and primary standards » lors 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 » ;
- Reims (France), le 6 mai 2010, pour visiter les laboratoires du groupe de spectrométrie moléculaire et atmosphérique, et discuter de la construction d'un générateur d'ozone ;
- Maastricht (Pays-Bas), du 18 au 20 mai 2010, en tant que représentante du BIPM à la réunion de l'ISO TC 229 (Nanotechnologies) ;
- Helsinki (Finlande), du 28 au 30 juin 2010, pour faire un exposé intitulé « The BIPM facility for dynamic generation of formaldehyde standards: progress towards an international scale for formaldehyde measurements » lors de la réunion du groupe d'experts du programme de veille de l'atmosphère globale de l'OMM sur les composés organiques volatils.

E. Flores :

- NIST, Gaithersburg (États-Unis d'Amérique), du 7 au 11 décembre 2009, pour visiter les laboratoires du NIST en vue de concevoir un nouvel équipement qui serait fondé sur la chromatographie en phase

gazeuse pour la comparaison internationale d'étalons de méthane dans l'air ;

- San Francisco, Californie (États-Unis d'Amérique), du 14 au 18 décembre 2009, pour assister à la réunion d'automne 2009 de l'American Geophysical Union (Greenhouse gas measurements using active optical remote sensing).

S. Maniguet :

- AACC, Chicago (États-Unis d'Amérique), les 18 et 19 juillet 2009, pour une réunion des groupes de travail du JCTLM et un atelier commun au JCTLM, au CCQM et au NIST.

M. Petersen :

- Reims (France), le 6 mai 2010, pour visiter les laboratoires du groupe de spectrométrie moléculaire et atmosphérique, et discuter de la construction d'un générateur d'ozone.

6.9 Visiteurs du Département de la chimie

- MM. J. Novák et M. Vokun (CHMI), du 31 août au 4 septembre 2009.
- MM. J. Matos et Á. Marques (Agência Portuguesa do Ambiente), du 30 novembre au 4 décembre 2009.
- M. P. Quincy (NPL), le 7 décembre 2009.
- Mme G.S. Heo (KRISS), le 29 mars 2010.
- Mme Jayne de Vos (NMISA), le 8 juin 2010.
- M. R. Wessel (VSL), le 11 juin 2010.

6.10 Chercheurs invités

- M. C. Dazhou (NIM), du 1^{er} octobre au 4 décembre 2009.

7 BALANCE DU WATT (M. Stock)

7.1 Balance du watt (M. Bradley, R. Chayramy, H. Fang, A. Kiss, E. de Mirandés, A. Picard, L. Robertsson, J. Sanjaime, S. Solve, M. Stock, Thanh Hung Duong*, M. Nigoghossian†, M. Symphon‡)

La principale différence entre la balance du watt du BIPM et celles construites par d'autres laboratoires nationaux de métrologie tient au fait que la phase de mouvement (déplacement de la bobine) et la phase de pesée peuvent être effectuées simultanément. On peut toutefois aussi travailler selon la méthode conventionnelle dans laquelle les deux phases sont alternées. La méthode de mesures simultanées rend l'expérience plus insensible aux dérives (telles que celle du champ magnétique) et aux variations de l'alignement pendant le fonctionnement de la balance du watt. 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 nous permettra de tester la faisabilité des mesures simultanées de force et de vitesse.

Au cours de l'année passée, des progrès considérables ont été accomplis en ce qui concerne la mesure du rapport entre la tension et la vitesse. La synchronisation des mesures de tension et de vitesse a été améliorée de façon significative par l'utilisation d'une référence de fréquence à 10 MHz provenant d'une horloge atomique qui sert à déclencher l'acquisition des données, et par l'application de corrections pour prendre en compte les différents temps de réponse des appareils de mesure après le déclenchement. Les propriétés du voltmètre ont été étudiées en détail. La correction des déviations du gain et du temps de moyenne par rapport aux valeurs nominales a permis de réduire l'incertitude de type A d'un facteur de 10. L'exactitude des mesures de vitesse a été améliorée en déplaçant le miroir mobile de la circonférence de la bobine à son centre et en réduisant les mouvements horizontaux et d'inclinaison indésirables de la bobine lors de son déplacement.

Afin de présenter l'état d'avancement de notre expérience lors de la conférence de la CPEM en juin 2010, une campagne de mesures de la

* Étudiant de l'École des Mines de Douai (France), mai-août 2010.

† Étudiant de l'université de Créteil (France), avril-juin 2010.

‡ Étudiant de l'université d'Evry (France), avril-juin 2010.

constante de Planck, h , fondée sur la méthode de mesures simultanées, a été effectuée de fin février à début avril 2010. Ces mesures ont été réalisées dans les conditions actuelles de l'expérience, à savoir dans l'air, sans isolation sismique et avec un alignement imparfait. Au total, plus de 1000 valeurs individuelles de h ont été obtenues. Estimée à partir des onze séries de mesures, effectuées dans les mêmes conditions, l'incertitude relative de type A d'une série de mesures (soit 80 valeurs individuelles de h) est de $1,3 \times 10^{-5}$ et la reproductibilité de 5×10^{-6} en valeur relative. L'incertitude composée relative est estimée à 5×10^{-5} : elle est, à l'heure actuelle, principalement due à l'alignement imparfait de la bobine par rapport à l'aimant, ainsi que de ces deux éléments par rapport à la direction de l'accélération gravitationnelle. La mesure de la vitesse doit également être améliorée, probablement en remplaçant l'interféromètre unidirectionnel par un interféromètre tri-directionnel. La différence relative entre notre valeur moyenne et la valeur de 2006 de la CODATA pour h est de $-5,6 \times 10^{-5}$, ce qui se situe dans les limites de l'incertitude étendue. Nous devons réduire l'incertitude au niveau de 10^{-6} et comparer les résultats de la méthode de mesures simultanées avec celles de l'approche conventionnelle avant de tirer des conclusions sur la faisabilité de la nouvelle technique. Les mesures montrent clairement que le bruit du rapport tension/vitesse est dix fois supérieur au bruit du rapport force/courant, ce qui indique que, pour le moment, l'incertitude de type A est principalement due aux vibrations du sol.

Un nouveau laboratoire disposant de deux bases en béton pour la balance du watt et un gravimètre a été aménagé au début de l'année 2009. Le bruit sismique de la base en béton sur laquelle on installera la balance du watt, exprimé comme la valeur efficace de la vitesse vibratoire, est inférieur d'un facteur de 5 à 10 environ par rapport à celui affectant la table optique où la balance du watt est posée actuellement. Au cours de l'été 2009, un relevé cartographique de la distribution de l'accélération gravitationnelle a été établi dans le nouveau laboratoire : les valeurs gravimétriques relatives ont été mesurées à trois niveaux de hauteur pour quarante points de base. Les résultats ont été ajustés à l'aide d'une fonction hyperparaboloïde, ce qui nous permet d'interpoler les valeurs relatives de g à environ $2 \mu\text{gal}$ près, ce qui correspond à $2 \times 10^{-9} g$. Au cours de la comparaison de l'ICAG-2009, trois gravimètres absolus et neuf gravimètres relatifs ont été utilisés pour effectuer des mesures dans le nouveau laboratoire de la balance du watt, les mesures absolues nous permettant de connaître l'accélération gravitationnelle absolue à quelques μgal près. Par ailleurs, des mesures à long terme ont été effectuées avec notre gravimètre relatif afin d'améliorer

notre compréhension du comportement et de la prévision des marées terrestres, qui influencent g au niveau de 2×10^{-7} . Il semble que la gravimétrie ne posera pas de problème, dans un avenir proche, pour la balance du watt du BIPM. Toutefois, quand nous atteindrons un niveau d'incertitude relative en dessous de 1×10^{-7} , il faudra trouver une nouvelle solution pour effectuer des mesures gravimétriques absolues puisqu'il a été mis fin au travail dans ce domaine au BIPM, par suite à une décision du CIPM en octobre 2009.

Le travail sur le circuit magnétique définitif progresse, l'assemblage du dispositif ayant été entrepris par l'atelier de mécanique du BIPM depuis le début de 2010. L'usinage des premières pièces de l'aimant a commencé en juin 2010. Le pré-usinage de l'ensemble des pièces, à l'exception du pôle extérieur de l'aimant, sera effectué par le BIPM. L'usinage de précision des pièces critiques sera réalisé par une société spécialisée en Allemagne, et l'assemblage du circuit magnétique par le département de machines-outils de l'université technique (RWTH) d'Aix-la-Chapelle (Allemagne). Le processus est complexe et implique différents intervenants, mais nous pensons que l'aimant sera complètement assemblé au début de 2011.

La technique d'alignement du champ magnétique, fondée sur l'utilisation d'un long solénoïde de grande précision qui nous est prêté par le NIST, a été utilisée avec succès avec une bobine présentant des caractéristiques similaires à celle de la balance du watt. Cette technique nous permet d'aligner le plan électrique de la bobine perpendiculairement à la direction de l'accélération gravitationnelle à $50 \mu\text{rad}$ près, ce qui est suffisant pour une détermination de h au niveau de 1×10^{-8} . Cette technique sera appliquée à la bobine de la balance du watt lorsque nous aurons remplacé la bobine actuelle par une bobine rigide en céramique de nouvelle génération.

Nous avons mis au point un nouveau mécanisme de suspension pour la bobine afin de compenser ses mouvements indésirables, horizontaux et d'inclinaison, lorsqu'elle se déplace. Des senseurs piézo-électriques seront utilisés pour le contrôle dynamique de la position et de l'orientation de la bobine. Des essais préliminaires de l'asservissement pour ces déplacements ont été effectués, et l'on a évalué l'instabilité de la position à environ $1 \mu\text{m}$ en horizontalité et $2,3 \mu\text{rad}$ en orientation. L'intégration du système dans la suspension de la balance du watt est prévue pour début 2011, en même temps que celle de la balance du watt dans le futur système à vide.

En septembre 2009, un chercheur associé a commencé à travailler sur l'étude de faisabilité de la version cryogénique de l'expérience. Les premiers

problèmes étudiés concernent le flux piégé et le diamagnétisme de Meissner du fil supraconducteur. Puisque la force résultant du moment diamagnétique placé dans le (faible) gradient de champ magnétique varie comme le diamètre du fil élevé à la puissance trois, il faudrait utiliser les filaments les plus fins disponibles dans le commerce. Afin d'étayer les prédictions théoriques par des observations expérimentales, des essais seront entrepris au NIST, Boulder (États-Unis d'Amérique), en août 2010. L'objectif est de mesurer les forces diamagnétiques et l'éventuelle hystérésis des différents échantillons de fil.

Le travail sur la mise au point d'un étalon de tension de Josephson spécifiquement conçu pour la balance du watt du BIPM se poursuit. Ce système sera fondé sur un réseau supraconducteur-normal-supraconducteur (SNS) développé par le NIST. Afin d'éviter tout problème lié aux boucles de masse, le système fonctionnera sur un grand nombre de batteries. Le chargeur de batteries a été construit et testé, et la source de polarisation de courant sera construite cette année.

Un appel d'offres a été publié en milieu d'année, en 2010 : il concerne la conception et la construction d'un système à vide et l'intégration de la balance du watt dans ce système. Une fois ce système à vide disponible, au début de 2011, la balance du watt sera transférée dans le nouveau laboratoire et sera intégrée à la chambre à vide. Plusieurs nouveaux systèmes électromécaniques, dont un échangeur de masses, un système d'étalonnage de la sensibilité pour les mesures de force, et un dispositif de contrôle dynamique des mouvements horizontaux et d'inclinaison de la bobine, seront intégrés à la suspension de la balance du watt au même moment. Nous bénéficierons alors des avantages du fonctionnement à vide et d'un niveau sismique réduit.

7.2 Publications, conférences, voyages

7.2.1 Publications extérieures

1. Picard A., Bradley M., Fang H., Kiss A., de Mirandés E., Parker B., Solve S., Stock M., *Digest – 2010 Conference on Precision Electromagnetic Measurements*, p. 66, The BIPM watt balance: improvements and developments.

2. de Mirandés E., Fang H., Kiss A., Solve S., Stock M., Picard A., *Digest - 2010 Conférence on Precision Electromagnetic Measurements*, p. 522, Alignment procedure used in the BIPM watt balance.

7.2.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

M. Stock :

- Daejeon (Rép. de Corée), le 12 juin 2010, pour présenter l'état d'avancement de la balance du watt du BIPM lors de la réunion du Groupe de travail du CCEM sur l'utilisation de mesures électriques pour contrôler la stabilité du prototype international du kilogramme.

A. Picard :

- 19^e Conférence internationale IMEKO, Lisbonne (Portugal), du 7 au 11 septembre 2009, pour assister à la conférence et y faire une présentation sur les progrès de l'expérience de la balance du watt lors de l'atelier sur la redéfinition du kilogramme ;
- Istanbul (Turquie), du 3 au 5 mars 2010, pour faire une présentation intitulée « Status of watt balance determinations of h and the Avogadro project determinations of N_A in view of a future redefinition of the kilogram » lors de la réunion du comité technique de l'EURAMET sur la masse ;
- Daejeon (Rép. de Corée), le 14 juin 2010, pour faire une présentation intitulée « The BIPM watt balance: improvements and developments » lors de la conférence de la CPEM.

E. de Mirandés :

- Daejeon (Rép. de Corée), le 16 juin 2010, pour présenter un poster intitulé « Alignment procedure used in the BIPM watt balance » lors de la conférence de la CPEM.
- Saint-Petersbourg (Fédération de Russie), le 24 juin 2010, pour une présentation intitulée « Evaluation of the local value of the earth gravity field for the BIPM watt balance » lors du symposium de l'AIG sur la gravimétrie terrestre.

M. Bradley :

- NIM (Chine), le 22 juin 2010.

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

- Daejeon (Rép. de Corée), du 14 au 18 juin 2010, pour assister à la CPEM 2010.

7.3 Visiteurs

- Mme L. Locascio (NIST, États-Unis d'Amérique), le 22 juillet 2009, pour une visite de la balance du watt.
- Mme E. Barsacq (ministère des Affaires étrangères et européennes de la République française), le 20 août 2009, pour une visite de la balance du watt.
- M. F. Cosandier (balance du watt du METAS), le 18 septembre 2009, pour une visite de la balance du watt et pour des discussions techniques.
- MM. A. Bresson, M. Cadoret, Y. Bidet (ONERA), le 22 septembre 2009, pour une présentation et une visite de la balance du watt.
- Mme C. Lorduy (ministère du Commerce, de l'industrie et du tourisme, Colombie), le 9 novembre 2009, pour une visite de la balance du watt.
- M. J. Kallmerten (RWTH, Allemagne), les 11 et 12 octobre 2009, pour des discussions techniques sur la fabrication du circuit magnétique de la balance du watt.
- MM. F. Biraben, F. Nez (LKB) et M. Plimmer (LNE), le 24 février 2010, pour une visite de la balance du watt et une présentation par F. Nez sur la nouvelle méthode de détermination du rayon de la charge du proton.
- MM. Zhang Zhonghua, He Qing, Zhang Jian (NIM), le 1er mars 2010, pour une visite de la balance du watt.
- M. O. Francis (Université de Luxembourg), le 18 mars 2010, pour faire un exposé intitulé « How well can we model earth tides affecting ground based observations? », et installer un gravimètre gPhone au BIPM pour les mesures à effectuer dans le cadre de la balance du watt.
- M. C. Sutton (MSL, Nouvelle Zélande), le 1^{er} avril 2010, pour une visite de la balance du watt.

- M. R. Goldfarb (NIST, États-Unis d'Amérique), le 12 mai 2010, pour faire un exposé sur les mesures de magnétisme, discuter du magnétisme et visiter la balance du watt.
- MM. P. Gallagher et W. Anderson (NIST, États-Unis d'Amérique), le 3 juin 2010, pour une visite de la balance du watt.
- Mme L. Faxas (Ambassadeur, République dominicaine), 28 juin 2010, pour une visite de la balance du watt.

8 Le CIPM MRA

8.1 JCRB (L. Mussio)

8.1.1 Guides et documents de principe concernant le CIPM MRA

Les quatre documents suivants ont été présentés par le JCRB lors de la réunion d'octobre 2009 du CIPM afin qu'ils soient soumis à discussion :

- CIPM MRA-D-05 – Inter-laboratory Comparisons in the CIPM MRA.
- CIPM MRA-D-04 – Calibration and Measurement Capabilities in the context of the CIPM MRA.
- CIPM MRA-G-02 – JCRB guidelines for the monitoring and reporting of the operation of quality systems by RMOs.
- CIPM MRA-D-06 – Approval of CIPM MRA policy documents.

La discussion sur ces documents continuera par correspondance, et ce point sera porté à l'ordre du jour des prochaines réunions du JCRB et du CIPM.

8.1.2 Statut des CMCs temporairement retirées de la KCDB

Il a été décidé qu'après cinq années, les CMCs ayant été temporairement retirées de la KCDB ne pouvaient pas être réintroduites sans un réexamen

complet et devraient être supprimées de la KCDB. Une procédure pour mettre en application cette décision sera soumise à discussion lors de la prochaine réunion du JCRB.

8.1.3 Politique en matière de traçabilité dans le CIPM MRA

La politique en matière de traçabilité présentée ci-après a été proposée par le JCRB et approuvée par le CIPM.

- Il existe deux options pour qu'un laboratoire national de métrologie ou un laboratoire désigné publiant des aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages (CMCs) dans la base de données du BIPM sur les comparaisons clés (KCDB) établisse la traçabilité de ses mesures au SI :
 - 1. par l'intermédiaire d'une réalisation primaire de l'unité de mesure concernée : le laboratoire doit alors déclarer la traçabilité de ses mesures à sa propre réalisation du SI ;
 - 2. par l'intermédiaire d'un autre laboratoire national de métrologie ou laboratoire désigné ayant des CMCs pertinentes et d'incertitudes appropriées publiées dans la KCDB, ou en faisant appel aux services de mesures et d'étalonnages proposés par le BIPM : le laboratoire doit alors identifier le fournisseur du service dans la déclaration de la traçabilité de ses mesures.
- Dans certains cas exceptionnels, lorsqu'aucune de ces deux options ne peut être appliquée stricto sensu, il est possible de proposer au CIPM, par l'intermédiaire du Comité consultatif concerné, une autre voie afin d'établir la traçabilité des mesures à des étalons reconnus. La liste de ces cas exceptionnels sera maintenue par le BIPM dans la section du site internet du BIPM consacrée aux documents sur le CIPM MRA (www.bipm.org/en/cipm-mra/documents/). La liste de ces exceptions, pour chaque domaine métrologique, devrait être régulièrement révisée par le Comité consultatif concerné.
- Note 1 : Une réalisation primaire ou une représentation de l'unité de mesure ne peut être considérée comme valide que si elle a été approuvée par le Comité consultatif concerné.
- Note 2 : Le laboratoire national de métrologie ou laboratoire désigné doit pouvoir remettre une évaluation complète du bilan d'incertitude et

du chemin de traçabilité de ses mesures lorsqu'il soumet les CMCs correspondantes aux examens intra- et inter-régionaux.

- Note 3 : Concernant les grandeurs d'influence auxiliaires qui ne font pas partie du chemin principal de traçabilité au SI pour un mesurande spécifique, et dont il est démontré que les composantes d'incertitudes ne contribuent que de façon mineure à l'incertitude totale composée d'une CMC, un laboratoire national de métrologie ou laboratoire désigné est libre d'utiliser les services de mesure fournis par des laboratoires accrédités par un signataire de l'Arrangement de l'ILAC.
- Note 4 : L'option 1. inclut le cas des laboratoires nationaux de métrologie ou laboratoires désignés utilisant des matériaux de référence certifiés ou des matériaux chimiques de référence primaires de grande pureté dont la valeur a été assignée à partir de leurs propres aptitudes de mesure, telles qu'elles ont été décrites et reconnues dans des CMCs publiées.

8.1.4 Système Qualité

Bien que le BIPM ne soit pas signataire du CIPM MRA, suite à la publication de ses aptitudes de mesure sur le site internet du BIPM, il a été décidé que le BIPM inclurait des informations concernant son Système Qualité dans les rapports annuels qu'il soumet au JCRB. Il a également été décidé que le BIPM ferait une présentation de son Système Qualité, tous les deux ans, dans le cadre des présentations faites par les Groupes de travail des organisations régionales de métrologie sur la qualité.

Le JCRB a décidé de recommander au CIPM l'adoption de la politique suivante : la présentation initiale et celles périodiques du Système Qualité d'un laboratoire désigné au groupe d'examen de l'organisation régionale de métrologie concernée doivent être faites directement par la personne du laboratoire désigné responsable du Système Qualité, et non par l'intermédiaire du laboratoire national de métrologie. De la même façon, les rapports annuels sur le Système Qualité doivent être préparés et soumis directement par le laboratoire désigné.

8.1.5 Visites sur site par les pairs

Étant donné que les organisations régionales de métrologie adoptent une position commune selon laquelle les visites sur site par les pairs sont

considérées comme la meilleure pratique pour garantir l'aptitude des participants au CIPM MRA, les organisations régionales de métrologie ont décidé d'avoir une discussion interne sur la nécessité de rendre ces visites sur site par les pairs obligatoires, et d'en présenter les conclusions lors de la prochaine réunion du JCRB.

8.1.6 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) : JCRB

L. Mussio :

- Kazan (République du Tatarstan, Fédération de Russie), les 23 et 24 septembre 2009, pour la 23^e réunion du JCRB ;
- Lima (Pérou), du 26 au 28 octobre 2009, pour l'assemblée générale du SIM et pour une réunion du « Quality System Task Force » du SIM ;
- Vancouver (Canada), du 15 au 19 octobre 2009, pour une réunion du comité de l'ILAC sur les questions d'accréditation et pour l'assemblée générale ILAC-IAF ;
- Montevideo (Uruguay), du 27 février au 1^{er} mars 2010, pour une réunion du comité technique du SIM.

L. Mussio et A. Henson :

- Genève (Suisse), du 30 mars au 1^{er} avril 2010, pour assister à l'atelier commun à l'OMM et au BIPM intitulé « Measurement Challenges for Global Observation Systems for Climate Change Monitoring: Traceability, Stability and Uncertainty ».

A. Henson :

- OIML (France), le 12 avril 2010, pour une réunion du comité de direction ONUDI-AFRIMETS ;
- Vedbaek (Danemark), du 30 juin au 1^{er} juillet 2010, pour une réunion du comité de l'ILAC sur les questions d'accréditation.

P. Espina^{*} :

- Pretoria (Afrique du Sud), du 12 au 19 juillet 2009, pour l'assemblée générale de l'AFRIMETS ;
- Genève (Suisse), du 11 au 13 novembre 2009, pour une réunion de l'ISO CASCO ;
- Vienne (Autriche), les 1^{er} et 2 décembre 2009, pour une réunion avec l'ONUDI ;

^{*} Au BIPM jusque la fin septembre 2009.

- Sarajevo (Bosnie-Herzégovine), du 2 au 6 décembre 2009, pour une réunion de l'EURAMET ;
- Vienne (Autriche), les 10 et 11 décembre 2009, pour une réunion avec l'ONUUDI .

8.1.7 Visiteurs

- Mme Christin Bauer (PTB), pour préparer une brochure sur le CIPM MRA.
- Mme Elsie Meintjies, coordinatrice du projet international de l'AFRIMETS (CSIR), pour le projet commun à l'ONUUDI et à l'AFRIMETS.

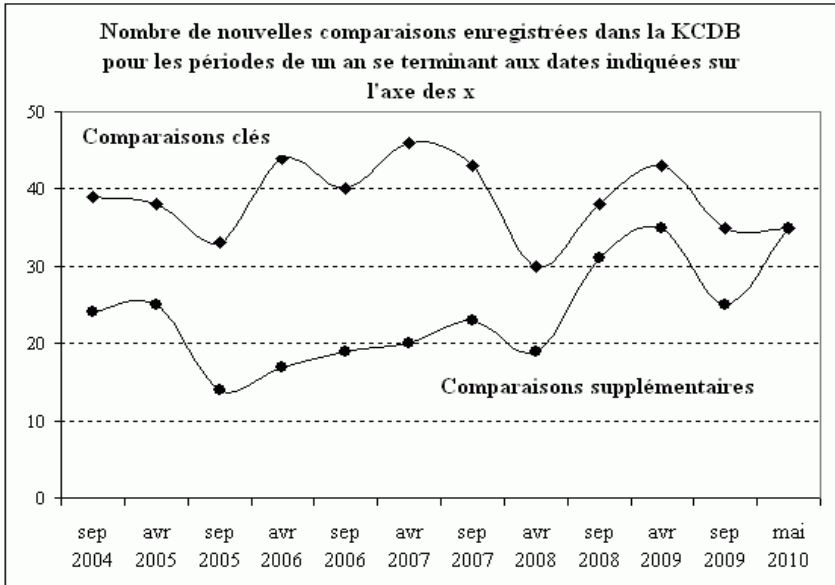
8.2 La base de données du BIPM sur les comparaisons clés, KCDB (C. Thomas)

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

8.2.1.1 Comparaisons clés et supplémentaires

Au 1^{er} juin 2010, la KCDB comptait 694 comparaisons clés (82 conduites par le BIPM, 337 par les Comités consultatifs et 275 par les organisations régionales de métrologie) et 244 comparaisons supplémentaires. Une nouvelle comparaison clé du BIPM a été enregistrée dans la KCDB le 20 octobre 2009 : il s'agit de la comparaison BIPM.RI(1)-K7, qui correspond aux travaux novateurs entrepris par le Département des rayonnements ionisants sur le kerma dans l'air dans les faisceaux mammographiques.

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.



Le taux d'enregistrement de comparaisons supplémentaires ne cesse de croître et a atteint le même niveau que celui des comparaisons clés, avec environ 35 nouvelles comparaisons supplémentaires déclarées au bureau de la KCDB en un an.

Au 1^{er} juin 2010, parmi les 694 comparaisons clés enregistrées, on compte :

- 88 comparaisons clés qui correspondent à des exercices antérieurs à la mise en œuvre du CIPM MRA (elles ont reçu le statut « Approuvées pour l'équivalence provisoire ») ;
- 74 comparaisons clés en continu du BIPM parmi les 82 existantes, dont les résultats ont été publiés dans la KCDB et sont régulièrement complétés par de nouvelles données ; et
- 313 comparaisons clés des Comités consultatifs et des organisations régionales de métrologie dont le rapport final est approuvé et publié sur le site de la KCDB, accompagné des résultats numériques et graphiques correspondants.

À cette date, la KCDB contenait globalement environ 1450 graphiques d'équivalence, parmi lesquels plus de 250 nouveaux graphiques publiés au cours de l'année passée.

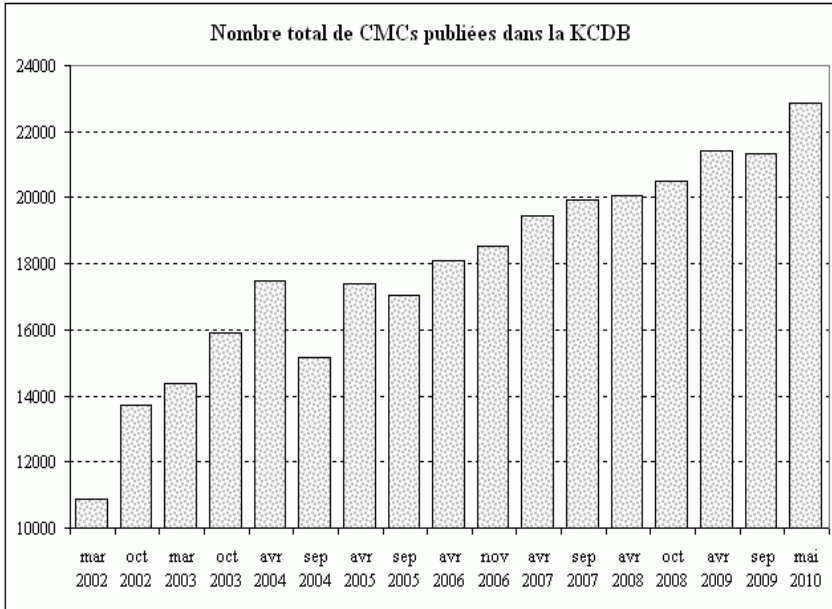
Les résultats de 119 comparaisons clés des organisations régionales de métrologie sont publiés dans la KCDB. Des calculs de liens sont également effectués pour les comparaisons clés bilatérales subséquentes à des comparaisons clés de Comités consultatifs, ce qui permet d'ajouter leurs résultats aux graphiques d'équivalence appropriés. Les rapports finaux (ou les références adéquates) de plus 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 aussi régulièrement mis à jour. Cela concerne principalement les comparaisons clés en continu du BIPM dans le domaine de l'électricité (tension, résistance et capacité), dans le domaine de la chimie (ozone), des mesures d'activité de radionucléides effectuées dans le Système international de référence (SIR), et de la dosimétrie. Ces mises à jour correspondent à de nouvelles comparaisons bilatérales effectuées régulièrement entre le BIPM et divers laboratoires nationaux de métrologie.

Des graphiques mis à jour illustrant la participation des pays dans les comparaisons clés et supplémentaires ont été mis en ligne, le 18 mai 2010, sur la page « La KCDB en chiffres » du site de la KCDB (voir http://kcdb.bipm.org/kcdb_statistics.asp).

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

Au début du mois de juin 2010, près de 23 000 CMCs étaient publiées dans la KCDB, soit 1800 CMCs de plus par rapport à juin 2009. En effet, au cours de l'année passée, un grand nombre de nouveaux ensembles approuvés de CMCs ont été publiés.



La baisse, observée en septembre 2004, du nombre de CMCs publiées était due à l'introduction des tableaux d'incertitudes utilisés pour afficher toutes les valeurs d'incertitude lorsque la déclaration d'une CMC contient plusieurs paramètres différents, ce qui est notamment le cas dans les domaines de l'électricité et du magnétisme.

On note un mouvement continu lié à l'approbation des Systèmes Qualité : retrait temporaire de CMCs (CMCs dites « grisées ») non couvertes par un Système Qualité approuvé, et réinsertion de CMCs une fois le Système Qualité les couvrant approuvé. Au 1^{er} juin 2010, 451 CMCs étaient retirées de façon temporaire de la KCDB. Ce nombre est presque constant depuis la 21^e réunion du JCRB (2008) lorsque des mesures, telles que la suppression définitive d'un certain nombre de CMCs, ont été prises afin de clarifier le problème de longue date des centaines de CMCs retirées temporairement de la KCDB en juillet 2005 (après la 15^e réunion du JCRB).

La répartition des CMCs publiées dans la KCDB, par domaine de métrologie et par pays, est disponible en temps réel sur la page « La KCDB en chiffres » de la KCDB (voir kcdb.bipm.org/kcdb_statistics.asp), tout comme la situation des CMCs temporairement retirées de la KCDB. L'historique des CMCs publiées dans la KCDB (ainsi que celles retirées temporairement ou réinsérées suite à l'approbation de leur Système Qualité) est conservé dans un fichier Excel disponible en temps réel dans la section en accès restreint du site internet du JCRB sur les CMCs. Suite à la demande du JCRB lors de

sa 24^e réunion (2010), la date du retrait temporaire des CMCs est désormais incluse dans ce fichier, ce qui permet d'identifier les CMCs retirées depuis plus de cinq ans pour lesquelles un examen supplémentaire est requis.

Outre la publication de nouveaux ensembles approuvés de CMCs, le retrait 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, et changement des noms et sigles de laboratoires.

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

Comme cela a déjà été mentionné dans le précédent rapport, un nouveau logiciel d'analyse des connexions au site internet de la KCDB a été mis en place en janvier 2009.

En 2009, environ 821 000 pages Web de la KCDB ont été ouvertes par plus de 90 000 visiteurs. Le nombre de visites mensuelles a varié entre 5 600 et 10 100, et le nombre de pages ouvertes chaque mois entre 48 800 et 117 500. Toutefois, ces chiffres n'intègrent pas les visiteurs supplémentaires accédant aux données de la KCDB par l'intermédiaire du moteur de recherche du site internet principal du BIPM.

Les visiteurs consultent l'ensemble des pages de la KCDB (notamment les pages « Quoi de neuf ? », « 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 70 % ;
- 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 25 % restant.

Il est difficile d'identifier nos visiteurs, à l'exception de ceux venant de laboratoires nationaux de métrologie qui constituent une part importante de l'audience, mais les statistiques montrent que le site attire également d'autres communautés, notamment celles des agences de réglementation, des

organismes d'accréditation, ainsi que celles des différentes industries et des sociétés commerciales.

8.2.3 Modification du site de la KCDB (C. Thomas)

Un certain nombre de modifications ont été apportées au site internet de la KCDB en février 2010. Ainsi, l'encadré « À consulter aussi » a été restructuré et une nouvelle page Web intitulée « Vos questions » a été créée : elle répond aux questions les plus fréquemment posées concernant dix thèmes qui ont été identifiés à partir des courriers envoyés par les utilisateurs de la KCDB.

L'encadré « À consulter aussi » s'affiche désormais sur toutes les pages du site internet de la KCDB. Il donne accès, entre autres, à la page « La KCDB en chiffres » et à la section sur le CIPM MRA qui contient des documents de procédures très utiles.

8.2.4 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 12 et 13 de la *KCDB Newsletter* ont été publiés les 15 décembre 2009 et 9 juin 2010, respectivement.

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

C. Thomas :

- Institut de France, Paris (France), le 19 octobre 2009, pour un séminaire sur l'effet Hall quantique organisé par le comité « Science et métrologie » de l'Académie des sciences, et le 18 janvier 2010, pour une réunion de ce comité ;
- LNE, Paris (France), le 27 novembre 2009, pour la réunion de conclusion du comité d'organisation du 14^e Congrès international de métrologie (qui a eu lieu en juin 2009), et le 15 mars 2010, pour une réunion commune au LNE et au comité « Science et métrologie » sur la redéfinition des unités de base du SI.

8.2.6 Activités en liaison avec des organisations extérieures

C. Thomas est secrétaire scientifique du comité permanent « Science et métrologie » de l'Académie des sciences. Elle est également membre du comité d'organisation et scientifique du Congrès international de métrologie 2011, qui se tiendra à Paris du 3 au 6 octobre 2011 (Métrologie'2011).

Elle est par ailleurs chargée d'assurer la liaison entre le BIPM et le CODATA Task Group on Fundamental Constants et l'ISO TC 12 « Grandeurs et unités » ; c'est également la personne à contacter au BIPM en ce qui concerne le JCGM et son Groupe de travail 2 (VIM).

8.2.7 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 sur les aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages dans le domaine des rayonnements ionisants ; et observatrice au Groupe de travail du CCT sur les comparaisons clés (Groupe de travail 7). En tant que coordinatrice de la KCDB, C. Thomas a assisté à un grand nombre des réunions des Comités consultatifs et de leurs Groupes de travail qui ont eu lieu au BIPM au cours de l'année.

C. Thomas est aussi responsable de l'organisation des séminaires au BIPM, et elle a été secrétaire scientifique de l'atelier du BIPM sur les grandeurs physiologiques et unités du SI qui s'est tenu en novembre 2009.

9 ACTIVITÉS DE COORDINATION ET COLLABORATION INTERNATIONALES (A. HENSON)

9.1 Collaboration avec d'autres organisations intergouvernementales et organismes internationaux

9.1.1 Réunion quadripartite

Le BIPM, l'ILAC, l'OIML et l'ISO ont tenu une réunion quadripartite en mars 2010, dont l'objectif était d'échanger des informations et de favoriser le dialogue. Les points essentiels qui sont ressortis de cette réunion ont été les suivants :

- le BIPM, l'OIML et l'ILAC continueront à établir une politique commune en matière de traçabilité. L'ISO étudiera la possibilité d'y prendre part ;
- selon l'avis général, bien que les missions confiées au réseau 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 (DCMAS) soient fondées, il est nécessaire de mettre en place des actions positives, si possible, mais le financement de telles actions pose problème. L'ILAC va aborder ce sujet avec la Banque mondiale.

9.1.2 ILAC

Le BIPM et l'ILAC ont tenu une réunion bipartite en mars 2010, dont il ressort que :

- il est nécessaire de contrôler le retrait de laboratoires de référence de la base de données du JCTLM (le JCTLM a rendu l'accréditation obligatoire et un grand nombre de laboratoires répertoriés ne s'y conforment pas) ;
- l'ILAC discutera avec la Banque mondiale des possibilités pour qu'elle soutienne le travail du DCMAS ;
- l'ILAC continuera à travailler avec la communauté de la médecine légale afin de faire connaître les voies appropriées pour établir la traçabilité, en particulier dans le domaine de l'ADN et de la toxicologie, l'objectif étant que cette communauté travaille plus

étroitement avec le CCQM, et en particulier avec l'ENFSI et les réseaux asiatiques.

Concernant le CIPM MRA et l'Arrangement de l'ILAC :

- un document commun sur la traçabilité sera préparé, il sera destiné aux rédacteurs de spécifications et à ceux qui les utilisent dans le cadre d'achats ou pour des raisons réglementaires ;
- des modèles de formulations seront préparés par le BIPM afin d'aider les laboratoires nationaux de métrologie et les laboratoires désignés souhaitant établir, pour les agences de réglementation, une politique ou un document d'orientation en matière de reconnaissance mutuelle ;
- le BIPM s'est engagé à mettre à jour, dès que possible, les références aux normes internationales contenues dans le CIPM MRA ;
- le dixième anniversaire de l'Arrangement du CIPM et de celui de l'ILAC, ainsi que la Journée mondiale de la métrologie et celle de l'accréditation, ont été organisés ;
- l'ILAC et le BIPM s'apporteront un soutien mutuel à l'occasion des événements suivants :
 - Journée mondiale de la métrologie, le 20 mai 2010, avec pour thème « Ouvrir la voie à l'innovation »,
 - cérémonies de signature de l'assemblée générale de l'ILAC et de l'assemblée générale commune, du 27 au 29 octobre 2010 ;
- l'ILAC recommandera aux organismes d'accréditation, aux agences de réglementation, etc., de consulter le site internet du BIPM pour s'informer sur le BIPM et sur la traçabilité ;
- l'ILAC examinera s'il est possible d'étendre l'Arrangement de l'ILAC aux méthodes de mesure de référence en se fondant sur le Guide 34 de l'ISO (Producteurs de matériaux de référence) ;
- l'ILAC et le BIPM continueront à collaborer afin de mettre au point un guide de l'ILAC sur l'accréditation des laboratoires nationaux de métrologie, et à étudier s'il serait utile de le publier comme un document commun à l'ILAC et au BIPM, des travaux complémentaires étant nécessaires pour décider s'il doit être un document de politique, un document d'orientation ou une déclaration commune ;
- le BIPM contribuera au document de politique de l'ILAC concernant l'estimation de l'incertitude des étalonnages et des mesures ;

- l'ILAC et le BIPM continueront à coopérer lorsque les incertitudes de mesure déclarées par des laboratoires accrédités, des laboratoires nationaux de métrologie ou des laboratoires désignés, semblent déraisonnablement faibles ;
- le BIPM et l'ILAC participeront aux réunions importantes de l'une et l'autre organisation ;
- M. A. Henson, responsable des relations internationales au BIPM, a été désigné responsable de la coordination entre le BIPM et l'ILAC.

9.1.3 ISO

La réunion tripartite traditionnelle entre le BIPM, l'ILAC et l'OIML a été étendue cette année à l'ISO. La réunion quadripartite entre le BIPM, l'ILAC, l'OIML et l'ISO a eu lieu en mars 2010 (voir section 9.1.1).

9.1.4 OIML

La situation concernant les relations entre le BIPM et l'OIML reste inchangée.

Le bureau du CIPM et les représentants du Conseil de la Présidence du CIML se sont rencontrés en mars 2009 et ont examiné les conclusions auxquelles ils étaient parvenus lors de leurs réunions de mars 2008, à savoir qu'aucun élément nouveau concernant les aspects financiers d'un rapprochement ne semble indiquer que des économies pourraient être réalisées si le BIML se délocalisait sur le site du BIPM ou si certains organes des deux organisations fusionnaient.

Il a néanmoins été convenu que le BIPM et le BIML devaient continuer à renforcer leur coopération, car cela est bénéfique aux deux organisations, que ce soit en termes d'image ou de sensibilisation à la métrologie.

En 2009, cette coopération a continué à être très positive. Le BIPM a été représenté à la réunion du CIML à Mombasa (Kenya), et l'OIML a participé à la production des documents de la Journée mondiale de la métrologie. Les contacts établis avec d'éventuels nouveaux États Membres du BIPM et de l'OIML ont été étroitement suivis par le BIPM et le BIML, et le BIML a été invité à faire une présentation lors du symposium organisé par le BIPM pour le dixième anniversaire du CIPM MRA.

9.1.5 OMM

La préparation et l'organisation de l'atelier commun au BIPM et à l'OMM ont commencé en 2009 et ont continué jusqu'au début de 2010.

L'atelier commun au BIPM et à l'OMM intitulé « Measurement Challenges for Global Observation Systems for Climate Change Monitoring: Traceability, Stability and Uncertainty » s'est tenu du 30 mars au 1^{er} avril 2010, au siège de l'OMM à Genève (Suisse), sous la présidence conjointe de MM. Andrew Wallard (BIPM) et Wenjian Zhang (OMM).

À l'occasion de cet atelier, l'Organisation météorologique mondiale (OMM) a signé le CIPM MRA, et a désigné trois laboratoires :

- pour l'ozone de surface : Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research (EMPA) ;
- pour les concentrations en CO₂, CH₄, N₂O, SF₆ et CO : NOAA Earth System Research Laboratory (NOAA/ESRL) ;
- pour le rayonnement solaire : Physikalisch-Meteorologisches Observatorium Davos et World Radiation Center (PMOD/WRC), Davos Dorf.

Au total, 131 participants ont assisté à l'atelier commun au BIPM et à l'OMM.

9.1.6 ONUDI

Le BIPM et l'OIML ont tenu un séminaire commun pour le personnel de l'ONUDI en charge du renforcement des capacités. Ce séminaire s'est tenu au siège de l'ONUDI, à Vienne, lors de la Journée mondiale de la métrologie (20 mai 2010).

Le BIPM et l'OIML continuent à soutenir l'initiative conjointe à l'ONUDI et à l'AFRIMETS visant au développement de l'AFRIMETS. M. A. Henson, responsable des relations internationales au BIPM, a été désigné comme représentant du BIPM au comité de direction de ce projet, et a donc assisté à la réunion qui a eu lieu en avril 2010 à Paris. L'organisation d'une école de métrologie de l'AFRIMETS, sponsorisée par l'ONUDI et prévue pour février 2011 à Nairobi (Kenya), a commencé.

9.2 Comités communs

9.2.1 JCGM

Les représentants des huit organisations membres du Comité commun pour les guides en métrologie (JCGM) se sont réunis le 2 décembre 2009 pour leur session plénière annuelle. Deux Résolutions importantes ont été adoptées : l'une concerne la nomination par les organisations membres des experts constituant les Groupes de travail du JCGM, l'autre porte sur la rédaction de la Charte du JCGM concernant la production et la publication des documents du JCGM. Des rapports sur les activités du Groupe de travail sur l'expression de l'incertitude de mesure (JCGM-WG1 - GUM), du Groupe de travail sur la révision du Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie (JCGM-WG2 - VIM), et du groupe *ad hoc* du JCGM sur les logiciels de mesure, ont été présentés.

Le GUM (*Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure*, référence JCGM 100:2008) est désormais disponible en anglais et en français sur le site internet du BIPM. Le JCGM-WG1 a terminé son travail sur *l'Introduction au GUM et aux documents apparentés*. Ce document qui comprend de nombreux liens hypertexte vers les autres documents du JCGM, a pour référence JCGM 104:2009 ; il est publié sur le site internet public du BIPM (www.bipm.org/en/publications/guides/).

La 3^e édition du VIM (*Vocabulaire international de métrologie – Concepts fondamentaux et généraux et termes associés*), ou « VIM3 », est depuis 2008 en accès libre sur le site internet du BIPM sous la référence JCGM 200:2008 (www.bipm.org/en/publications/guides/). Le JCGM-WG2 a toutefois reconnu que les versions du VIM3 publiées par l'ISO/CEI et l'OIML étaient légèrement différentes du document principal commun au JCGM et au BIPM et que les trois textes contenaient un certain nombre d'erreurs qu'il était nécessaire de corriger de façon officielle. Au cours de l'année couverte par le présent rapport, le JCGM-WG2 a par conséquent rédigé des *corrigenda*, qui seront joints à chacune des trois versions du VIM3, afin de disposer d'un fichier maître corrigé et unique qui pourra être utilisé pour toute nouvelle version du vocabulaire. Le *corrigendum* établi en français et en anglais pour le document commun au JCGM et au BIPM a été mis en ligne sur le site internet du BIPM en juin 2010.

9.2.2 JCTLM

Voir section 6.3.

9.3 Promotion de la Convention du Mètre

9.3.1 Journée mondiale de la métrologie - 20 mai 2010

Un poster intitulé « Ouvrir la voie à l'innovation », préparé par le BIPM en collaboration avec l'OIML et la PTB, et soutenu par les organisations régionales de métrologie et le NCSLI, a été largement distribué. Il était disponible en anglais, français, espagnol et portugais, et a pu être traduit dans d'autres langues, les fichiers de publication étant fournis pour être adaptés localement. Parmi les autres activités et documents de promotion ont figuré :

- le site internet de la Journée mondiale de la métrologie (<http://www.worldmetrologyday.org/>) ;
- le message du directeur du BIPM adressé à la communauté de la métrologie ;
- un communiqué de presse ;
- une présentation faite par le sous-directeur du BIPM, M. Kühne, lors du séminaire COOMET sur la Journée mondiale de la métrologie à Moscou (Fédération de Russie) ;
- une présentation faite par le responsable des relations internationales du BIPM au personnel de l'ONUDI en charge du renforcement des capacités à Vienne (Autriche).

9.3.2 Adhésions

Nouveaux États Membres :

- La République du Kenya, précédemment Associée à la CGPM, est devenue État Membre le 1^{er} janvier 2010.

Nouveaux Associés à la CGPM :

- La République du Ghana est devenue Associée à la CGPM le 17 septembre 2009.

- La République populaire du Bangladesh est devenue Associée à la CGPM le 29 mars 2010.

Nouveaux signataires du CIPM MRA :

- L'Organisation météorologique mondiale (OMM) a signé le CIPM MRA le 1^{er} avril 2010.
- Le Ghana Standards Board (GSB) de la République du Ghana a signé le CIPM MRA le 24 février 2010.
- L'Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI) du Pérou a signé le CIPM MRA le 17 novembre 2009.
- L'Instituto Nacional de Tecnologia y Normalizacion (INTN) du Paraguay a signé le CIPM MRA le 26 octobre 2009.

Des discussions ont également été menées avec d'autres États concernant la possibilité qu'ils deviennent Associés à la CGPM.

9.4 Ateliers

9.4.1 Ateliers sur les grandeurs physiologiques et les unités du SI (M. Kühne, C. Thomas)

16-17 novembre 2009

Président : M. Michael Kühne, BIPM

Secrétaire scientifique : Mme Claudine Thomas, BIPM

L'atelier du BIPM sur les grandeurs physiologiques et les unités du SI a réuni environ 70 personnes de 22 pays différents. La plupart des participants venaient de laboratoires nationaux de métrologie, et étaient aussi membres de comités techniques ou de groupes de travail d'organisations, institutions ou unions internationales telles que l'ISO, la CEI, la CIE, l'ICRU, l'UICPA et l'UIPPA. Plusieurs membres du personnel scientifique du BIPM ont également assisté à cet atelier.

L'atelier avait pour thème la santé et la sécurité humaines, et douze experts en métrologie ont fait des présentations couvrant six domaines préalablement sélectionnés par le Comité d'organisation scientifique de cet atelier :

- les rayonnements optiques (infrarouge, lumière visible, ultraviolet) ;
- les ondes radio et les micro-ondes;
- les rayonnements ionisants :
- le son et les ultrasons ;
- les champs magnétiques ; et
- les grandeurs biologiques.

Le thème de l'atelier « Grandeurs physiologiques et unités du SI » couvre de nombreux sujets très différents de la physique, de la chimie et de la biologie qui sont, ou pourraient être, des objets d'étude pour les laboratoires nationaux de métrologie et autres laboratoires. De tels sujets requièrent des normes écrites, une terminologie spécifique, ou d'autres types de documents qui pourraient être produits par les organismes concernés, tels que l'ISO ou la CIE. Il serait nécessaire, lorsque cela est possible, d'établir un lien direct entre le Comité consultatif du CIPM ou le Comité commun concerné (par exemple, le JCTLM) et le Comité technique correspondant de l'organisme de normalisation (souvent membre du Comité consultatif), en fonction de chaque domaine. Un fort consensus s'est dégagé sur le fait que les Groupes de travail des Comités consultatifs en charge de la planification stratégique devaient prendre en considération tout nouveau défi lié aux grandeurs physiologiques dans leur domaine d'activités, et proposer à leur Comité consultatif les mesures à prendre pour aller de l'avant.

Les présentations faites lors de l'atelier ont montré que les grandeurs physiologiques suivent un schéma général dans lequel le défi consiste à établir un « spectre d'action » bien défini (ou « fonction de pondération », « facteur de pondération », « modèle », etc.). Lorsque cela est établi, la grandeur qui en résulte est généralement exprimée en unités du SI.

- Chaque communauté définit ses propres spectres d'action ou ses modèles : cela implique la communauté de la métrologie concernée, souvent au niveau du Comité consultatif, et les organismes internationaux qui ont des activités de normalisation dans le domaine spécifique (par exemple, l'élaboration conjointe au CCPR et à la CIE d'un nouveau modèle impliquant une fonction de pondération paramétrique globale pour les visions scotopique, mésopique et photopique).
- En général, l'incertitude n'est pas établie de façon appropriée.
- On sait que les processus psychophysiques, mentaux et comportementaux affectent de façon significative la réponse humaine à

divers stimulus, ce qui rend le spectre d'action très variable dans certains cas.

- L'application de modèles a ses limites, par exemple en ce qui concerne les effets très faibles ou les effets de saturation ; il serait probablement utile de mettre au point des modèles informatiques dans certains cas.
- Il pourrait être utile d'établir un lien avec le JCGM-WG1 concernant la modélisation des « spectres d'action », et éventuellement d'intégrer des informations pertinentes sur ce sujet au supplément du GUM sur la modélisation qui doit être rédigé.
- Bien que des réglementations et législations officielles existent pour la plupart des domaines, elles peuvent ne pas être uniformes dans le monde entier. Les agences de réglementation devraient ainsi aider les laboratoires nationaux de métrologie et autres organismes à définir de quelle façon ils pourraient être le plus utiles. Dans un nombre croissant de domaines, les réglementations traditionnelles fondées sur la physiologie intègrent désormais des facteurs humains tels que la capacité cognitive, ce qui met en évidence l'importance des processus psychophysiques, mentaux et comportementaux.

Deux cas ont été identifiés pour lesquels des actions directes peuvent être entreprises :

- des contacts doivent être établis avec le CCEM et l'International Committee for Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), qui fournit des informations sur la protection contre les rayonnements non ionisants dont tiennent souvent compte les agences de réglementation. Les effets induits par les champs magnétiques sur le corps humain n'ont pas été pris en considération dans le cadre du travail du CCEM : il pourrait être demandé au Groupe de travail du CCEM sur la planification stratégique de prendre des mesures à ce sujet ;
- il serait souhaitable que les Groupes de travail du CCEM et du CCPR sur la planification stratégique examinent le cas des rayonnements à des fréquences de l'ordre du terahertz, ce qui pourrait être mis en œuvre par la création d'un groupe commun au CCEM et au CCPR.

Vous trouverez plus de détails sur cet atelier, ainsi que son rapport complet, à l'adresse www.bipm.org/en/events/physiological_quantities/.

9.4.2 La métrologie à l'échelle nanométrique

18-19 février 2010

L'atelier du BIPM sur la métrologie à l'échelle nanométrique a permis de rassembler des scientifiques venant des laboratoires nationaux de métrologie et de l'industrie, et des experts des agences de réglementation et des organismes de normalisation. Cet atelier qui s'est tenu sur deux jours, et auquel ont assisté plus d'une centaine de participants, a abordé la très large question de la nanotechnologie par le biais d'exposés et de tables rondes portant sur huit thèmes spécifiques :

- les analyses toxicologiques ;
- la nanobiologie ;
- les aérosols ;
- la microscopie ;
- l'analyse de surface ;
- les films et revêtements fins ;
- la métrologie mécanique ; et
- les mesures et applications électriques et magnétiques.

Les débats ont été très animés et les présentations ont toutes été excellentes, ce qui a permis aux participants de réfléchir à la question clé de la réunion, à savoir « Quelles activités sont nécessaires pour mettre en place une infrastructure internationale efficace pour la métrologie à l'échelle nanométrique ? ».

Le rapport complet de cet atelier comprend notamment un résumé des discussions concernant cette question clé, les éléments moteurs pour travailler sur ce sujet, les problèmes techniques et les obstacles au progrès, ce qu'il en est de la traçabilité au SI et des besoins dans ce domaine, ainsi que l'utilisation prévue des matériaux de référence et des normes, et les besoins en la matière. De façon succincte, on peut avancer que les principaux éléments moteurs d'une implication au niveau international sont l'environnement, la santé et la sécurité, l'objectif étant de promouvoir et de définir un cadre réglementaire approprié, et de mettre l'accent sur les avantages industriels, et donc économiques, à y gagner. Bien que la curiosité à explorer de nouveaux domaines ait été l'un des thèmes essentiels, l'un des principaux obstacles au progrès est le long délai nécessaire pour passer de la recherche à l'innovation. Le niveau de maturité varie selon les domaines de

la métrologie et de la normalisation mais les participants de l'atelier ont reconnu qu'il y avait une prise de conscience de plus en plus forte de l'importance des résultats et que le niveau d'attentes était élevé.

Les applications actuelles et potentielles de la nanotechnologie sont vastes, et il faut encore beaucoup travailler afin de faire avancer les connaissances scientifiques et s'assurer de l'adoption responsable et en toute sécurité de ces nouvelles technologies. L'élément le plus enrichissant de l'atelier a peut-être été la possibilité de rencontrer et d'échanger avec des personnes ne faisant pas partie des communautés avec lesquelles nous avons l'habitude de travailler : ce sentiment a été partagé avec autant d'enthousiasme par les participants venant du monde de la métrologie, par les représentants de l'industrie, et par les personnes travaillant dans le domaine des normes internationales et de l'élaboration des politiques. Cet atelier a permis d'évoquer un très large éventail de techniques et d'équipements de mesure et de souligner le besoin d'agir au-delà des frontières habituelles séparant les organisations ou les disciplines afin de répondre aux besoins urgents. Un atelier de suivi est prévu d'ici quelques années mais il a été conclu que le fait de faire une proposition dans ce domaine pour le programme de travail du BIPM pour les années 2013 à 2016 était prématuré.

Vous trouverez plus de détails sur cet atelier, ainsi que son rapport, à l'adresse www.bipm.org/en/events/nanoscale/.

9.4.3 Atelier commun à l'OMM et au BIPM intitulé « Measurement Challenges for Global Observation Systems for Climate Change Monitoring: Traceability, Stability and Uncertainty »

30 mars-1^{er} avril 2010

L'atelier commun à l'OMM et au BIPM intitulé « Measurement challenges for global observation systems for climate change monitoring: Traceability, Stability and Uncertainty » s'est tenu au siège de l'OMM à Genève (Suisse).

Notre collaboration avec l'Organisation météorologique mondiale continue à s'intensifier et nous avons organisé conjointement un symposium sur le vaste sujet de la métrologie et du changement climatique, et sur la question de savoir comment améliorer les techniques de contrôle par satellite, au sol ou autres, par l'adoption des meilleures pratiques météorologiques. Des sessions parallèles de discussion, présidées par des experts de haut niveau, ont contribué à ce que nos collègues de la communauté météorologique

s'engagent à tirer davantage parti des compétences des laboratoires nationaux de métrologie.

Cet atelier a constitué pour le BIPM un pas en avant important car même si de nombreux contacts de travail avaient déjà été établis dans diverses disciplines entre les métrologistes et certains acteurs des réseaux d'observation, comme le réseau du programme de veille de l'atmosphère globale ou celui des systèmes d'observation de la terre, l'atelier a permis de mener à terme des négociations engagées de longue date, Michel Jarraud, directeur général de l'OMM, ayant signé le CIPM MRA.

Les principales conclusions de cet atelier ont été les suivantes :

- les résultats des mesures effectuées dans le cadre de la surveillance du climat et du bilan énergétique de la Terre obtenues par télédétection satellitaire, ainsi que par des méthodes de mesure et données d'observation au niveau du sol, doivent si possible être traçables au SI afin d'obtenir des séries de données continues, homogènes et de qualité sur le long terme ;
- la communauté de la météorologie doit continuer à définir ses besoins en matière de mesures et à les transmettre de façon officielle aux laboratoires nationaux de métrologie ;
- l'OMM, le BIPM, les laboratoires nationaux de métrologie et la communauté universitaire doivent travailler ensemble afin de pouvoir satisfaire les demandes formelles pour des étalons de mesure dont l'exactitude réponde aux besoins des scientifiques et modélistes spécialistes du climat et, le cas échéant, des organismes législatifs et réglementaires ; et
- les étalonnages des instruments utilisés par la communauté de la météorologie doivent être effectués à toutes les étapes des missions spatiales ou des projets sur terre, et les laboratoires nationaux de métrologie doivent être impliqués dans la préparation de ces étalonnages et dans leur réalisation.

L'OMM et le BIPM ont établi une stratégie commune afin d'identifier les besoins en matière de mesures exactes et s'assurer que les recommandations formulées lors de l'atelier sont bien suivies, mises en œuvre et contrôlées.

Nos deux organisations intergouvernementales se sont ainsi engagées à collaborer afin de s'attaquer aux problèmes de mesures en ce qui concerne l'un des défis les plus importants auquel le monde est actuellement confronté. Un rapport, actuellement en cours de finalisation, sera très

largement diffusé et sera notamment transmis aux gouvernements, aux organisations intergouvernementales, aux directeurs des laboratoires nationaux de métrologie, au Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, ainsi qu'à la Convention cadre des Nations unies sur le changement climatique (CCNUCC).

Vous trouverez plus de détails sur cet atelier à l'adresse www.bipm.org/en/events/wmo-bipm_workshop/

9.4.4 Dixième anniversaire du CIPM MRA

8-9 octobre 2009

Un symposium important a été organisé en même temps que la réunion annuelle des directeurs des laboratoires nationaux de métrologie, à Paris en octobre 2009, pour célébrer le dixième anniversaire du CIPM MRA. Pendant une journée et demie, différents orateurs ont présenté des exposés montrant comment un certain nombre de laboratoires nationaux de métrologie, d'organisations intergouvernementales, d'organismes internationaux et de sociétés industrielles tiraient parti du CIPM MRA.

Le symposium a mis en relief les bénéfices qu'apportent le CIPM MRA à ses participants, ainsi que l'impact qu'il a eu sur le système mondial de mesures, et a exploré ce qu'on pouvait en attendre à l'avenir.

Le CIPM MRA est le fruit de nombreuses années de discussions et de négociations. La signature du CIPM MRA dispense de la nécessité pour les pays de conclure des accords bilatéraux puisque le CIPM MRA pourvoit à la reconnaissance mondiale de l'équivalence des mesures. L'un des éléments clés apportés par le CIPM MRA a été l'introduction des comparaisons clés, qui sont devenues le moyen principal pour étayer l'équivalence des étalons nationaux et la reconnaissance des certificats de mesure et d'étalonnage des laboratoires nationaux de métrologie. Le CIPM MRA a également introduit le concept d'aptitude en matière de mesures et d'étalonnages (CMC) qui constitue la norme pour décrire les services offerts par les laboratoires signataires. Les résultats des comparaisons clés et la liste des CMCs sont publiés dans la base de données du BIPM sur les comparaisons clés (KCDB), qui est devenue un outil essentiel pour la réduction des obstacles techniques au commerce.

Les présentations faites par les représentants d'organisations internationales (OMC, ONUDI, OMM, ISO et OIML) ont toutes illustré comment le CIPM MRA avait assis leur position internationale. Sans des mesures et des étalons reconnus au niveau international, équivalents et traçables, le commerce international, la science et l'innovation n'auraient pas évolué comme cela a été le cas au cours de ces dix dernières années.

Le symposium a conclu que le CIPM MRA avait été essentiel pour poser les fondations de l'équivalence mondiale des mesures, grâce aux efforts considérables et aux résultats du BIPM, des laboratoires nationaux de métrologie et des laboratoires désignés. Bien que ces dix années d'existence du CIPM MRA prouvent la qualité du travail effectué, de nouveaux défis apparaissent pour pouvoir garantir que le CIPM MRA restera gérable. Pour ce qui est de l'avenir, le CIPM MRA et la KCDB joueront un rôle important concernant la façon de définir et d'établir l'équivalence des mesures et la traçabilité, et d'introduire ces concepts dans des secteurs émergents et pleins de défis tels que l'environnement, la santé et la nanotechnologie.

Vous trouverez plus de détails sur cet atelier à l'adresse www.bipm.org/en/events/10-year_symposium/.

10 COMMUNICATION ET INFORMATION (F. JOLY)

10.1 Généralités

Une nouvelle structure a été créée au BIPM cette année, il s'agit de la section Communication et Information qui regroupe les équipes du secrétariat, des publications et du service informatique.

Le personnel de la section a évolué en raison de départs et de recrutements (voir la liste donnée à la section 13.2 du présent rapport). Officiellement, un poste reste vacant au sein de la section, l'objectif étant d'engager une seconde personne pour le service informatique.

10.2 Rapports du CIPM et de ses Comités consultatifs

(N. De Sousa Dias*, D. Le Coz†, J.R. Miles, C. Planche‡, R. Sitton# et C. Thomas)

Depuis juillet 2009 ont été publiés :

- Procès-verbaux du Comité international des poids et mesures, 97^e session (2008), 2010, **76**, 214 p.
- Rapport du directeur sur l'activité et la gestion du Bureau international des poids et mesures (2009), 2010, **10**, 320 p.
- Conférence générale des poids et mesures, 23^e réunion (2007), 2010, 540 p.
- Notification des parts contributives dues par les gouvernements des hautes parties contractantes pour l'entretien du Bureau international des poids et mesures et des souscriptions des États et Entités Économiques associés à la Conférence générale en 2010, 2009, 4 p.
- Rapport annuel aux gouvernements des hautes parties contractantes sur la situation administrative et financière du Bureau international des poids et mesures en 2009, 2010, 52 p.
- Rapport annuel du BIPM sur les activités du temps (2009), 2010, 110 p.
- Comité consultatif d'électricité et magnétisme, 26^e session (2009), 2010, 62 p.
- Comité consultatif pour la quantité de matière : métrologie en chimie, 15^e session (2009), 2009, 56 p.
- Comité consultatif des rayonnements ionisants, 21^e session (2009), 2009, 85 p.
- Comité consultatif du temps et des fréquences, 18^e session (2009), 2010, 50 p.
- Comité consultatif des unités, 19^e session (2009), 2009, 23 p.

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

* En poste à partir du 15 avril 2010.

† En poste jusqu'au 30 septembre 2009.

‡ En poste à partir du 14 septembre 2009.

En poste à partir du 29 mars 2010.

Rapport annuel du BIPM sur les activités du temps sera, de la même façon, uniquement publié en version électronique.

Pendant l'année couverte par ce rapport ont également été publiés sur le site internet du BIPM : la version française du document *Évaluation des données de mesure – Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure* (GUM 1995 avec des corrections mineures), référence JCGM 100:2008 ; un Corrigendum (2010) au document JCGM 200:2008 (VIM) produit par le JCGM-WG2 ; et le volume 5 de *Monographie BIPM-5* (Table of radionuclides).

En 2009-2010, la section a eu la responsabilité de produire de la documentation pour le symposium célébrant le dixième anniversaire du CIPM MRA, ainsi que pour l'atelier commun à l'OMM et au BIPM sur la métrologie et le changement climatique.

Enfin, la section est en charge de publier le *Rapport abrégé* du directeur du BIPM sur certains faits majeurs et sujets d'intérêt, l'objectif du directeur du BIPM étant d'attirer l'attention des gouvernements des États Membres sur certaines questions politiques et financières. Le second rapport de ce type, couvrant le second semestre de 2009, a été publié début 2010.

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

10.3 ***Metrologia*** (J.R. Miles)

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

Le facteur d'impact (FI) de *Metrologia* est de 1,634 en 2009, soit légèrement en dessous du facteur d'impact de 2008 (1,780). 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. *Metrologia* a le facteur d'impact le plus élevé de tous les journaux du même type, ce qui est essentiel pour maintenir et accroître le nombre d'abonnements et pour assurer la grande qualité des articles soumis. Le facteur d'impact de *Metrologia* au cours des dernières années est présenté ci-après :

Année	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
FI	0,983	1,314	1,479	1,657	1,667	1,780	1,634

On a constaté une nette augmentation du nombre d'articles soumis pour publication dans *Metrologia*, avec un total de 246 articles proposés au cours de la période couverte par le présent rapport.

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 nombre d'abonnements au journal.

Les auteurs soumettent leurs articles via le système en ligne de l'IOPP, qui est également utilisé pour communiquer avec les membres du comité de lecture. Les délais de publication restent compétitifs et l'ensemble des articles, outre leur publication dans la version imprimée de *Metrologia*, sont également disponibles en ligne (stacks.iop.org/met) et peuvent être consultés gratuitement pendant le mois suivant leur publication.

Le *Technical Supplement* de *Metrologia* se porte bien, avec 87 résumés publiés pendant la période couverte par ce rapport. Le *Technical Supplement* est un moyen pratique de publier les rapports complets (habituellement longs) des comparaisons clés et supplémentaires publiés dans la KCDB, ainsi que des études pilotes publiées sur le site internet du BIPM. Ces rapports examinés par des pairs acquièrent ainsi une référence dans un journal reconnu que l'on peut citer. Cela facilite leur publication officielle sans que leurs auteurs doivent les rédiger à nouveau. Par ailleurs, le *Technical Supplement* est gratuit pour les abonnés comme pour les non abonnés, ce qui garantit le libre accès aux rapports.

Les numéros spéciaux de *Metrologia*, consacrés à des sujets d'intérêt, sont toujours élaborés avec l'aide d'un rédacteur invité spécialiste, en collaboration avec le rédacteur du BIPM. Deux numéros spéciaux de *Metrologia* ont été publiés au cours de la période couverte par le présent rapport : le numéro **46(4)** sur NEWRAD 2008 et le numéro **47(2)** sur la métrologie des matériaux. Plusieurs articles de synthèse ont également été publiés. Les membres du CIPM, tout comme le rédacteur de *Metrologia*, encouragent la soumission d'articles de synthèse d'intérêt et la production d'autres numéros spéciaux.

Le rédacteur regrette qu'en raison d'un manque de personnel au bureau de la rédaction du BIPM, il n'a pas été possible de tenir une réunion du comité de rédaction de *Metrologia* l'an passé. Toutefois, au cours de la prochaine période de douze mois, l'objectif est de redynamiser le comité de rédaction et de l'élargir afin de répondre aux besoins actuels de la communauté de la métrologie.

Enfin, les lecteurs de la version imprimée auront noté que la couverture des numéros 47(1) et 47(2) présentait une teinte différente, due à leur production par impression numérique (plutôt que lithographique). Le résultat – obtenu en respectant la norme officielle de l'imprimerie pour s'approcher de la couleur Pantone traditionnelle de *Metrologia* – étant sensiblement différent de celui habituel, l'IOPP conserve la technique de la lithographie pour l'impression de la couverture jusqu'à ce qu'une couleur plus satisfaisante soit obtenue par impression numérique.

10.4 Site internet du BIPM (N. De Sousa Dias*, L. Le Mée, J.R. Miles, C. Planche‡, R. Sitton# et C. Thomas)

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 consultatifs et leurs groupes de travail, ainsi que les Comités communs); certaines sections fournissent des données particulièrement importantes pour les industries, les organismes d'accréditation et les agences de réglementation; d'autres 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.

En raison d'un manque de personnel depuis novembre 2008, les mises à jour ont été limitées, pour l'essentiel de la période couverte par le présent rapport, à la maintenance strictement nécessaire et aucune nouvelle fonctionnalité n'a pu être ajoutée au site. Mme Miles tient à remercier Mlle A. Bêche, assistante intérimaire à temps partiel, pour son aide.

* En poste à partir du 15 avril 2010.

‡ En poste à partir du 14 septembre 2009.

En poste à partir du 29 mars 2010.

Parmi les améliorations apportées au site internet pendant la période couverte par le présent rapport, un nouveau logiciel a été mis en place pour le forum de discussion en accès restreint (www.bipm.org/jforum/). Ce forum de discussion sert principalement aux différents groupes de travail du CCT, qui le jugent pratique pour faire circuler les documents que différentes personnes doivent examiner, et pour maintenir un historique des discussions et des décisions prises. Le nouveau logiciel devrait permettre d'avoir un service plus fiable d'alertes par e-mails envoyés aux utilisateurs.

Suite au projet de collaboration du BIPM visant à promouvoir les avantages de la métrologie pour la société, le site internet dédié à la Journée mondiale de la métrologie (www.worldmetrologyday.org) a été mis à jour avec le message de 2010 du directeur du BIPM sur le thème « Mesures pour la science et la technologie - Ouvrir la voie à l'innovation ». Ce travail a été réalisé par L. Mussio 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) à l'occasion de la Journée mondiale de la métrologie 2010.

10.5 Technologies de l'information (L. Le Mée)

Au cours de la période couverte par le présent rapport, le service informatique a mis à jour le logiciel principal de sécurité du BIPM et a remplacé les deux solutions de sécurisation de la messagerie électronique par des modèles plus récents.

Un système de contrôle de flux installé sur le réseau local du BIPM et un analyseur de connexions installé sur les pare-feux permettent au service informatique, par un système d'alertes automatiques déclenchées selon divers facteurs, d'identifier la source des problèmes rencontrés et de détecter tout comportement anormal des applications.

Notre première plate-forme virtualisée a été mise en place pour les sites internet et FTP de www.worldmetrologyday.org. La virtualisation nous permet de consolider (mutualiser) les ressources Web du BIPM et donc de faire des économies sur l'achat de plates-formes physiques.

Suite à une étude sur les diverses options en accès libre, le service informatique a modifié le logiciel pour le forum de discussion du BIPM qui est utilisé par un certain nombre de groupes de travail. La nouvelle application fait partie intégrante de l'architecture logicielle des serveurs Web du BIPM. Des efforts particuliers ont été consacrés à l'amélioration de la

fiabilité des bases de données associées, par l'intégration de mécanismes de réplication synchronisée.

Le service informatique a également mis au point de nouvelles applications sur le site intranet, en tirant parti des dernières avancées de la technologie Web 2.0. Ces applications facilitent l'interaction entre l'utilisateur et le service fourni par le serveur Web.

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 dizaine d'imprimantes réseau.

10.6 Secrétariat (F. Joly, N. De Sousa Dias*, C. Fellag-Ariouet, F. de Hargues, C. Planche[†])

Outre l'aide apportée au directeur, au directeur désigné et aux membres du personnel, le secrétariat du BIPM est responsable d'une multitude de tâches liées au grand nombre de réunions qui se tiennent au BIPM ; il s'occupe, par ailleurs, de répondre aux demandes de visiteurs ou à celles téléphoniques.

La charge de travail du secrétariat reste lourde en raison du nombre élevé de réunions organisées au BIPM (voir section 11). Ces réunions, qui peuvent se tenir en dehors des locaux du BIPM, sont pour l'essentiel celles des Comités consultatifs et de leurs groupes de travail, ainsi que celles du CIPM et du bureau du CIPM, des Comités communs et des divers ateliers. Le secrétariat s'assure, en collaboration avec le Département des finances et de l'administration, du bon fonctionnement de ces réunions et de l'envoi des documents ainsi que des publications du BIPM y afférents. Certaines de ces réunions accueillent un grand nombre de participants et nécessitent de mettre en place des sessions parallèles à différents endroits du BIPM, voire même en dehors du BIPM. La réunion du CCQM constitue en particulier un véritable défi pour le BIPM du point de vue logistique, car certaines sessions se déroulent le week-end et des sessions parallèles de groupes de travail sont organisées au BIPM et à l'extérieur. Cette année, le secrétariat a également organisé le symposium pour célébrer le dixième anniversaire du CIPM MRA, qui s'est déroulé en dehors du BIPM, ainsi que des sessions parallèles lors de l'atelier du BIPM sur la métrologie à l'échelle nanométrique.

* En poste à partir du 15 avril 2010.

† En poste à partir du 14 septembre 2009.

Les documents de communication les plus importants avec les États Membres, les Associés, les directeurs des laboratoires nationaux de métrologie, les Comités consultatifs et leurs groupes de travail, sont mis en ligne sur le site internet du BIPM.

Parmi les autres responsabilités qui lui incombent, le secrétariat du BIPM est chargé de maintenir une base de données contenant les informations relatives au nombre, toujours croissant, de nos contacts internationaux.

10.7 Bibliothèque (D. Le Coz[†], C. Planche[‡])

La bibliothèque est un élément essentiel pour que le BIPM poursuive efficacement son travail scientifique.

Tout est mis en œuvre pour que les frais soient les plus faibles possibles : ainsi, le budget de la bibliothèque n'a pas augmenté en 2009 malgré l'augmentation des prix des abonnements. Étant donné l'utilisation croissante des ressources électroniques au détriment des publications imprimées, un certain nombre d'abonnements ont été modifiés afin que le BIPM ne reçoive que les versions électroniques des journaux concernés.

10.8 Voyages (conférences et visites) : section Communication et Information

J.R. Miles :

- Institute of Physics Publishing (IOPP, Bristol, Royaume-Uni de Grande Bretagne et d'Irlande du Nord), le 1^{er} mars 2010, pour la réunion annuelle des partenaires de *Metrologia*.

[†] En poste jusqu'au 30 septembre 2009.

[‡] En poste à partir du 14 septembre 2009.

11 RÉUNIONS ET EXPOSÉS AU BIPM

11.1 Réunions

Les réunions suivantes ont eu lieu au BIPM :

- JCGM-WG2 (VIM), du 2 au 4 septembre 2009, du 30 novembre au 1^{er} décembre 2009, et du 19 au 21 mai 2010.
- Réunion des comités techniques sur la photométrie et la radiométrie de l'EURAMET et de l'APMP, le 14 septembre 2009.
- CCPR et ses groupes de travail, du 14 au 18 septembre 2009.
- Réunion des directeurs des laboratoires nationaux de métrologie, le 7 octobre 2009.
- Symposium pour célébrer le dixième anniversaire du CIPM MRA, les 8 et 9 octobre 2009 (à l'OIE à Paris).
- Réunion de coordination entre la CIE et le BIPM, le 9 octobre 2009.
- 98^e réunion du CIPM, du 13 au 16 octobre 2009, suite à une réunion du bureau du CIPM le 12 octobre 2009. Le bureau s'est également réuni les 8 et 9 mars, ainsi que le 1^{er} et le 4 juin 2010.
- Atelier du BIPM sur les grandeurs physiologiques et les unités du SI, les 16 et 17 novembre 2009.
- JCGM, le 2 décembre 2009.
- Comité exécutif du JCTLM, les 3 et 4 décembre 2009.
- Atelier du BIPM sur la métrologie à l'échelle nanométrique, les 18 et 19 février 2010.
- Réunion quadripartite BIPM-ILAC-ISO-OIML, le 10 mars 2010, suivie de réunions bilatérales BIPM-OIML le 11 mars, et BIPM-ILAC le 12 mars.
- JCRB, les 16 et 17 mars 2010.
- 12^e réunion du CCM, le 26 mars 2010, suite à la réunion des présidents des groupes de travail du CCM et du Groupe de travail sur les comparaisons clés le 22 mars 2010, aux réunions des sous-groupes de travail 1 et 2 du Groupe de travail du CCM sur les étalons de masse le 23 mars, et à la réunion du Groupe de travail du CCM sur les étalons de masse le 24 mars ; atelier du CCM sur le projet de redéfinition du kilogramme, le 25 mars.

- Réunion du projet de collaboration internationale sur la constante d'Avogadro (IAC), les 29 et 30 mars 2010.
- Atelier commun à l'OMM et au BIPM intitulé « Measurement challenges for global observation systems for climate change monitoring: Traceability, Stability and Uncertainty », du 30 mars au 1^{er} avril 2010 (au siège de l'OMM à Genève).
- 16^e réunion du CCQM et de ses groupes de travail, du 9 au 16 avril 2010.
- Groupe de travail de la Section II du CCRI sur les comparaisons clés le 27 avril 2010, Groupe de travail de la Section II du CCRI sur les incertitudes le 28 avril, et Groupe de travail des organisations régionales de métrologie sur les aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages dans le domaine des rayonnements ionisants le 29 avril.
- 25^e réunion du CCT, les 6 et 7 mai 2010, suite à l'atelier du CCT intitulé « Design and Implementation of Key Comparisons » et à une réunion de stratégie le 4 mai, à des réunions des Groupes de travail 2, 4, 6 et 9 du CCT le 5 mai, et à des réunions des Groupes de travail 5 et 8 le 6 mai.
- Groupe de travail de la Section I du CCRI sur les comparaisons clés le 17 mai 2010, Groupe de travail de la Section I du CCRI sur la dosimétrie des accélérateurs le 18 mai, et réunion spéciale du CCRI sur la stratégie le 19 mai.
- JCGM-WG1 (GUM), du 25 au 28 mai 2010.
- Réunion des directeurs des laboratoires nationaux de métrologie, les 2 et 3 juin 2010.

11.2 Présentations au BIPM

- A. Bresson (ONERA) : « Atom interferometry for on-board gravimetry », le 22 septembre 2009.
- A. Proia (CNES/BIPM) : « Contribution à l'étalonnage en absolu d'une chaîne de réception GNSS », le 10 février 2010.
- F. Nez (Laboratoire Kastler Brossel, CNRS, UPMC, ENS, Paris) : « Laser spectroscopy of muonic hydrogen: new determination of the proton charge radius », le 24 février 2010.
- O. Francis (Université du Luxembourg) : « Earth tides: theory and practice », le 18 mars 2010.

- E. de Mirandes (BIPM) : « La balance du watt du BIPM : les alignements », le 20 avril 2010.
- A.J. Wallard (BIPM) : « The international organization of metrology and the BIPM », le 10 mai 2010.
- R. Goldfarb (NIST, Boulder) : « Magnetism and magnetic measurements », le 12 mai 2010.
- E.F. Arias (BIPM) : « Come in! We are calculating *Circular T* », le 7 juin 2010.
- G. Petit (BIPM) : « Time and frequency transfer for dummies », le 7 juin 2010.
- P. Launey (Directeur Qualité du LNE) : « Présentation du Système Qualité du LNE », le 23 juin 2010.

12 CERTIFICATS ET NOTES D'ÉTUDE

Du 1^{er} juillet 2009 au 30 juin 2010, 78 certificats et 6 notes d'étude ont été délivrés.

12.1 Certificats

2009

46.	Ozone analyser Environnement SA O3-42M, No. 32	SP, Suède
47.	Electronic voltage standard, No. 9170 714*	DMDM, Serbie
48.	1 kg mass standard, "3S2"	VSL, Pays- Bas
49.	1 kg mass standard, "4S2"	Id.
50.	1 kg mass prototype, No. 21*	Mexique
51.	1 kg mass prototype, No. 67*	République tchèque

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

52.	Volume magnetic susceptibility of sample, IT-Alac	INRIM, Italie
53.	Volume magnetic susceptibility of sample, IT-Ti	Id.
54.	Étalon de tension à diode de Zener, n° 5940003*	INM, Roumanie
55.	Zener diode voltage standard, No. 8140009	NIS, Égypte
56.	Zener diode voltage standard, No. 8140006*	Id.
57.	1 kg mass prototype, No. 60*	Chine
58.	1 kg mass prototype, No. 64*	Id.
59.	1 kg mass prototype, No. 94	Japon
60.	1 kg mass standard, 1K1	NML- SIRIM, Malaisie
61.	1 kg mass standard, 1kr2*	Id.
62.	Ionization chamber Exradin A3, No. 229 in gamma-ray beams*	NRPA, Norvège
63.	Ionization chamber NE 2575, No. 116 in gamma-ray beams	Id.
64.	1 Ω resistance standard, No. 1681958*	NIS, Égypte
65.	1 Ω resistance standard, No. 1684330*	Id.
66.	1 Ω resistance standard, No. 1679692*	Id.
67.	10 Ω resistance standard, No. 307106	Id.
68.	1 Ω resistance standard, No. 1910 466*	NML- SIRIM, Malaisie
69.	100 Ω resistance standard, No. A2011101SR102	NMC, A*STAR Singapour
70.	1 Ω resistance standard, No. 076165	BIM, Bulgarie
71.	1 Ω resistance standard, No. 1100574	Id.
72.	1 Ω resistance standard, No. 1100576	Id.

73.	100 Ω resistance standard, No. 146308	Id.
74.	100 Ω resistance standard, No. 11769/11	Id.
75.	100 Ω resistance standard, No. 11769/12	Id.
76.	10 000 Ω resistance standard, No. J1-0824603	Id.
77.	10 000 Ω resistance standard, No. J1-0824604	Id.
78.	10 000 Ω resistance standard, No. J1-0824605	Id.
79.	100 pF capacitance standard, No. 01110*	NML- SIRIM, Malaisie
80.	10 pF capacitance standard, No. 01111*	Id.
81.	10 pF capacitance standard, No. 01112*	Id.
82.	1 pF capacitance standard, No. 01245	NMC, A*STAR Singapour
83.	10 pF capacitance standard, No. 01244	Id.
84.	100 pF capacitance standard, No. 01240	Id.
85.	Volume magnetic susceptibility of sample, P17 1kg D	MIKES, Finlande
86.	1 Ω resistance standard, type 4210B, No. 1711458*	INMETRO, Brésil
87.	1 Ω resistance standard, type 4210, No. 1883427*	Id.
88.	10 000 Ω resistance standard, ESI type SR 104, No. 043007*	Id.
89.	100 pF capacitance standard, No. 01256	PTB, Allemagne
90.	10 pF capacitance standard, model AH11A, No. 01257	Id.
91.	10 pF capacitance standard, model AH11A, No. 01258	Id.

2010

1. 10 000 Ω resistance standard, ESI type SR 104, No. 43021* SMD, Belgique
2. 100 Ω resistance standard, Tegam type SR 102, No. A2010199SR102 Id.
3. Ionization chamber NE 2571, No. 2719 in x-ray beams* NMISA, Afrique du Sud
4. Ionization chamber NE 2571, No. 2719 in a ^{60}Co gamma-ray beam* Id.
5. Ionization chamber PTW 30012, No. 0064 in x-ray beams* Id.
6. Ionization chamber PTW 30012, No. 0064 in a ^{60}Co gamma-ray beam* Id.
7. Ionization chamber NE 2530, No. 649 in gamma-ray beams* Id.
8. Ionization chamber NE 2561, No. 097 in a ^{60}Co gamma-ray beam* STUK, Finlande
9. Ionization chamber NE 2561, No. 097 in medium-energy x-rays* Id.
10. Ionization chamber PTW 23344, No. 620 in low-energy x-rays* Id.
11. Ionization chamber Radcal RC6M, No. 9066 in low-energy x-rays NIM, Chine
12. Ionization chamber Radcal RC6M, No. 9066 in mammography x-rays Id.
13. Ionization chamber NE 2571, No. 708 in a ^{60}Co gamma-ray beam Id.
14. Ionization chamber PTW 30010, No. 2369 in a ^{60}Co gamma-ray beam Id.
15. Ionization chamber PTW 30012, No. 163 in a ^{60}Co gamma-ray beam Id.
16. 10 000 Ω resistance standard, TEGAM type SR 104, No. J1-0919617 KRISS, Rép. de Corée
17. 100 Ω resistance standard, Guildline type 7334, No. 69156 Id.

18. 1 Ω resistance standard, Leeds and Northrup type 4210, No. 1 915 096	NIMT, Thaïlande
19. 100 Ω resistance standard, TEGAM type SR102, No. A2010106SR102	Id.
20. 10 000 Ω resistance standard, Leeds and Northrup type 4214B, No. 1 917 542*	Id.
21. 1 kg mass prototype, No. 52*	Allemagne
22. 1 kg mass prototype, No. 83*	Singapour
23. 1 kg mass standard in stainless steel, No. 83700*	NMC, A*STAR Singapour
24. 1 kg mass standard in stainless steel, S*	MSL, Nouvelle Zélande
25. 1 kg mass standard in stainless steel, TLT	Id.
26. 1 kg mass standard in stainless steel, KZ1	KazInMetr, Kazakhstan
27. 1 kg mass standard in stainless steel, KZ2	Id.
28. 1 kg mass standard in stainless steel, KZ3	Id.
29. 100 pF capacitance standard, Andeen-Hagerling model AH11A, No. 01323*	CMI, République tchèque
30. 1 pF capacitance standard, Andeen-Hagerling model AH11A, No. 01358*	NIMT, Thaïlande
31. 10 pF capacitance standard, Andeen-Hagerling model AH11A, No. 01359*	Id.
32. 100 pF capacitance standard, Andeen-Hagerling model AH11A, No. 01360*	Id.

12.2 Notes d'étude

2009

5. 1,018 V tension continue électronique, n° 5940003	INM, Roumanie
6. 1.018 V electronic voltage standard, No. 8140003	NIS, Égypte

- | | | |
|----|---------------------------------------------------|----------------------------|
| 7. | 1 pF capacitance standard, No. 01113 | NML-
SIRIM,
Malaisie |
| 8. | 10 pF capacitance standard, model AH11A, No.01176 | PTB,
Allemagne |

2010

- | | | |
|----|---------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| 1. | 100 Ω resistance standard, TEGAM type SR102, No. J1-0919615 | KRISS,
Rép. de
Corée |
| 2. | 10 000 Ω resistance standard, Guildline type 7334, No. 69159 | Id. |

13 DÉPARTEMENT DES FINANCES, DE L'ADMINISTRATION ET DES SERVICES GÉNÉRAUX (B. PERENT)

Le Département des finances, de l'administration et des services généraux est responsable du bon fonctionnement de la gestion administrative et financière du BIPM, ainsi que d'un large éventail de services de soutien. Ces services concernent, en particulier : les finances, les ressources humaines, les questions juridiques ainsi que d'autres services ; les activités de coopération avec les autorités françaises, les États Membres et les Associés, ainsi que d'autres États, organisations intergouvernementales et organismes internationaux, au sujet de questions financières, juridiques et administratives ; la négociation et la gestion quotidienne de tous les contrats et accords conclus par le BIPM.

Pendant l'année passée, le Département s'est occupé de plus de 140 opérations de douane relatives à l'importation et à l'exportation d'étalons devant être étalonnés ou devant participer à des comparaisons ; il a également organisé onze recrutements et lancé un certain nombre d'appels d'offre pour l'achat d'équipements scientifiques et de services.

Le Département des finances, de l'administration et des services généraux a terminé la rédaction des projets d'amendements concernant les Statut et Règlement de la Caisse de retraite et de prévoyance du BIPM. Ces

amendements ont été soumis à l'approbation du CIPM lors de sa 98^e session et ont été approuvés le 16 octobre 2009. Ils ont été présentés aux membres du personnel du BIPM en novembre 2009 et sont entrés en vigueur le 1^{er} janvier 2010.

Le Département a également terminé la rédaction des projets d'amendements concernant le Règlement financier du BIPM. Ces amendements ont été soumis à l'approbation du CIPM lors de sa 98^e session et ont été approuvés le 16 octobre 2009. Ils sont entrés en vigueur le 1^{er} janvier 2010.

Le Département a également travaillé sur de nouveaux principes et règles comptables.

Par ailleurs, par suite aux Résolutions 5 et 6 adoptées par la CGPM à sa 23^e réunion, le Département a soumis deux rapports au CIPM lors de sa 98^e session. Après la présentation du premier rapport concernant les États Associés, le CIPM a adopté des critères lui permettant d'examiner s'il est approprié qu'un Associé devienne État Membre, et a discuté des éventuels amendements à apporter au statut d'Associé. Le Département a ainsi préparé un projet de résolution qui sera intégré à la Convocation à la 24^e réunion de la CGPM. Après la présentation du second rapport concernant les Entités économiques et le statut d'Associé à la CGPM, le CIPM a adopté les critères lui permettant d'examiner les demandes d'Entités économiques à devenir Associées à la CGPM. En conséquence, le Département a préparé un projet de résolution proposant les critères d'approbation d'une Entité économique comme Associée ; ce projet de résolution sera intégré à la Convocation à la 24^e réunion de la CGPM.

Le Département des finances, de l'administration et des services généraux a travaillé sur les textes de la Convocation à la 24^e réunion de la CGPM et du Programme de travail, et a préparé le budget correspondant.

Le Département a été en contact avec les autorités de chaque État Membre ayant des contributions arriérées datant de plus de trois ans, l'objectif étant de discuter des conditions de règlement de ces arriérés, conformément aux dispositions de la Convention du Mètre et de son Règlement annexé, et à la Résolution 8 adoptée par la CGPM à sa 23^e réunion.

13.1 Comptes

Les comptes détaillés de l'exercice 2009 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, dans les tableaux « Compte I : Fonds ordinaires », « Compte II : Caisse de retraite », « Compte III : Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique », « Compte IV : Caisse des prêts sociaux » et « Compte VII : Fonds de réserve pour l'assurance maladie ».

Trois autres tableaux intitulés « Détail des recettes budgétaires », « Détail des dépenses budgétaires » et « Bilan au 31 décembre 2009 » présentent en détail les recettes et les dépenses du budget de 2009, ainsi que le bilan au 31 décembre 2009.

Conformément à la Résolution 13 votée par la CGPM à sa 21^e réunion, l'unité monétaire utilisée dans ces tableaux financiers est l'euro depuis 2001.

13.2 Personnel

13.2.1 Engagements

- Mme Charline Mesquida, née le 18 octobre 1981 à Mont Saint Aignan (France), de nationalité française, a été engagée en qualité de *technicien* au Département de la chimie pour une période déterminée de sept mois à dater du 20 juillet 2009.
- M. Bruno Amaro Coelho, né le 1^{er} août 1978 à Vimioso (Portugal), de nationalité portugaise, précédemment responsable Qualité, Santé et Sécurité dans une société privée au Portugal, a été engagé en qualité de *responsable Qualité, Santé et Sécurité* à dater du 4 septembre 2009.
- Mme Céline Planche, née le 8 juillet 1978 à Nancy (France), de nationalité française, précédemment traductrice dans une société de traduction française, a été engagée en qualité de *bibliothécaire – rédacteur* au secrétariat à dater du 14 septembre 2009.
- Mme Aurélie Messias, née le 8 janvier 1983 à La Tronche (France), de nationalité française, précédemment fonctionnaire dans une collectivité territoriale française, a été engagée en qualité de *secrétaire* à la section Communication et Information à dater du 4 janvier 2010.
- M. Robert Sitton, né le 3 avril 1966 à Cambridge (Royaume-Uni de Grande Bretagne et d'Irlande du Nord), de nationalité britannique, précédemment responsable de publication dans une société d'édition britannique, a été engagé en qualité de *chargé de publications* à la section Communication et Information à dater du 29 mars 2010.

- M. Andrew Henson, né le 28 février 1957 à West Kirby (Royaume-Uni de Grande Bretagne et d'Irlande du Nord), de nationalité britannique, précédemment responsable du bureau des relations internationales du NPL (Royaume-Uni de Grande Bretagne et d'Irlande du Nord), a été engagé en qualité de *responsable des relations internationales* à dater du 1^{er} avril 2010.
- Mme Nina De Sousa Dias, née le 2 juin 1980 à Perpignan (France), de nationalité française, précédemment assistante dans une société privée française, a été engagée en qualité de *secrétaire* à la section Communication et Information à dater du 15 avril 2010.

13.2.2 Changements de titres

Les changements de titre ci-dessous ont été décidés par le CIPM au cours de sa 98^e session en 2009 et sont entrés en vigueur le 8 décembre 2009 :

- Mme Brigitte Perent, *administrateur principal*, précédemment responsable de la section Finances, administration et services généraux, devient directeur administratif et financier.
- M. Richard Davis, *physicien chercheur principal*, précédemment chef de la section des masses, devient directeur du Département des masses.
- Mme Penelope Allisy-Roberts, *physicien chercheur principal*, précédemment chef de la section des rayonnements ionisants, devient directeur du Département des rayonnements ionisants.
- Mme Felicitas Arias, *physicien chercheur principal*, précédemment chef de la section du temps, des fréquences et de la gravimétrie, devient directeur du Département du temps, des fréquences et de la gravimétrie.
- M. Michael Stock, *physicien chercheur principal*, précédemment chef de la section d'électricité, devient directeur du Département de l'électricité.
- M. Robert Wielgosz, *chimiste chercheur principal*, précédemment chef de la section de chimie, devient directeur du Département de la chimie.
- M. Alain Picard, *physicien chercheur principal*, précédemment adjoint au chef de la section des masses, devient directeur adjoint du Département des masses.

13.2.3 Changements de postes et transfert

Afin d'améliorer l'efficacité de la structure organisationnelle du BIPM, une nouvelle section dénommée « Communication et Information » a été créée afin d'intégrer les services du secrétariat, des publications et des technologies de l'information dans une unique section.

- Mme Françoise Joly, *secrétaire de direction*, précédemment responsable du secrétariat, devient responsable de la section Communication et Information à dater du 1^{er} janvier 2010.
- Mme Céline Fellag Ariouet, *secrétaire principale* au secrétariat, est transférée à la section Communication et Information à dater du 1^{er} janvier 2010.
- Mme Frédérique de Hargues, *secrétaire* au secrétariat, est transférée à la section Communication et Information à dater du 1^{er} janvier 2010.
- Mme Céline Planche, *bibliothécaire – rédacteur* au secrétariat, est transférée à la section Communication et Information à dater du 1^{er} janvier 2010.
- M. Laurent Le Mée, *informaticien principal* à la section Publications et technologies de l'information, est transféré à la section Communication et Information à dater du 1^{er} janvier 2010.
- Mme Janet Miles, *responsable des publications*, est transférée à la section Communication et Information à dater du 1^{er} janvier 2010.

13.2.4 Chercheurs associés

- M. Michael Bradley, né le 24 janvier 1971 à Victoria (Canada), de nationalité canadienne, précédemment professeur associé au département de physique et de génie physique de l'université de Saskatchewan (Canada), a été engagé en qualité de chercheur associé au Département de l'électricité à dater du 3 septembre 2009.
- Mme Estefania de Mirandés, chercheur associé au Département de l'électricité depuis le 7 janvier 2008, a été prolongée dans ses fonctions jusqu'au 18 décembre 2011.

13.2.5 Départs

- M. Jacques Labot, *technicien principal* à la section du temps, des fréquences et de la gravimétrie, a pris sa retraite le 31 juillet 2009 après 20 années de service.
- M. Raymond Felder, *physicien principal* à la section du temps, des fréquences et de la gravimétrie, a pris sa retraite le 31 août 2009 après 32 années de service.
- Mme Danièle Le Coz, *secrétaire de rédaction – bibliothécaire* au secrétariat, a pris sa retraite le 30 septembre 2009 après 26 années de service.
- M. Leonid Vitushkin, *physicien chercheur principal* à la section du temps, des fréquences et de la gravimétrie, a pris sa retraite le 30 novembre 2009 après 16 années de service.

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

- Mme Aurélie Messias, *secrétaire* à la section Communication et Information depuis le 4 janvier 2010, a quitté le BIPM le 25 février 2010.

13.3 Bâtiments

13.3.1 Pavillon de Breteuil

- Rénovation d'un bureau au premier étage.
- Travaux de plomberie sur les installations sanitaires du sous-sol.

13.3.2 Observatoire

- Rénovation de la salle 7 afin de créer un lieu de stockage des déchets chimiques.
- Travaux d'électricité dans la salle 116.
- Finalisation du réaménagement de la salle 2.
- Rénovation de la salle 104, y compris la construction d'une chape en béton.
- Remplacement du parquet situé dans le couloir.
- Entretien de la toiture.

13.3.3 Bâtiment des rayonnements ionisants

- Étude de faisabilité technique et financière concernant la construction d'un bâtiment de protection où serait installé un accélérateur linéaire au BIPM.

13.3.4 Bâtiment des lasers

- Peinture de l'appartement de l'agent de sécurité.
- Conversion de l'atelier d'électronique en un espace d'accueil avec des installations sanitaires.

13.3.5 Nouveau Pavillon

- Remplacement du plafond de la bibliothèque.

13.3.6 Ensemble des bâtiments

- Audit énergétique.

13.3.7 Extérieurs et parc

- Travail sur la clôture de la colline située derrière l'Observatoire.
- Installation d'un éclairage supplémentaire sur le chemin pour piétons.
- Remplacement partiel du système de conditionnement d'air de la serre.
- Remplacement du portail d'entrée.

13.4 Voyages : Département des finances, de l'administration et des services généraux

B. Perent et S. Arlen :

- Luxembourg, les 20 et 21 mai 2010, pour assister au 8^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 la Banque européenne d'investissement (BEI).

14 ATELIER DE MÉCANIQUE (J. SANJAIME)

Le personnel de l'atelier de mécanique du BIPM a pour responsabilité d'apporter son aide au travail expérimental des départements scientifiques du BIPM, y compris auprès des scientifiques extérieurs en visite au BIPM pour des comparaisons ou des étalonnages. Il assure aussi la maintenance du site, et la prévision et l'organisation des travaux qui y sont liés. Il est important de souligner les efforts continus qui ont été consacrés à la construction et à l'amélioration de la balance du watt du BIPM, et aux équipements nécessaires au Département des rayonnements ionisants. Le savoir-faire de l'atelier de mécanique est essentiel au Département des masses : l'atelier dispose notamment d'équipements uniques permettant de fabriquer des artefacts de masse et des appareils à vide.

La charge de travail liée à la maintenance du site n'a cessé d'augmenter au cours de l'année passée, tout comme le travail associé à la mise en œuvre d'un certain nombre de rénovations majeures et d'améliorations des laboratoires.

LISTE DES SIGLES UTILISÉS DANS LE PRÉSENT VOLUME

AACC	American Association for Clinical Chemistry, Washington DC (États-Unis d'Amérique)
AFRIMETS	Système inter-africain de métrologie/Inter-Africa Metrology System
AIEA	Agence internationale de l'énergie atomique
AIG	Association internationale de géodésie
AIST	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, voir NMIJ AIST
AMA	Agence mondiale antidopage
AOCS	American Oil Chemists's Society (États-Unis d'Amérique)
AOS	Observatoire d'astronomie et de géodynamique de Borowiec/Observatorium Astrogeodynamicznego Borowiec, Borowiec (Pologne)
APMP	Asia/Pacific Metrology Programme
ARPANSA	Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency, Sydney and Melbourne (Australie)
A*STAR	Agency for Science, Technology and Research (Singapour)
ASE	Agence spatiale européenne
BEV	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Vienne (Autriche)
BIM	Institut bulgare de métrologie (Bulgarie)
BIML	Bureau international de métrologie légale
BIPM	Bureau international des poids et mesures
CCAUV	Comité consultatif de l'acoustique, des ultrasons et des vibrations
CCE	Commission des conditions d'emploi
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
CCU	Comité consultatif des unités
CEI	Commission électrotechnique internationale
CENAM	Centro Nacional de Metrología, Querétaro (Mexique)
CGPM	Conférence générale des poids et mesures
CGSIC	Civil Global Positioning System Service Interface Committee
CHMI	Institut tchèque d'hydrométéorologie/ Český hydrometeorologický ústav (Rép. tchèque)
CIE	Commission internationale de l'éclairage
CIEMAT	Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Madrid (Espagne)
CIPM	Comité international des poids et mesures
CIPM MRA	Arrangement de reconnaissance mutuelle du CIPM/ CIPM Mutual Recognition Arrangement
CMC	Aptitude en matière de mesures et d'étalonnages/Calibration and Measurement Capability
CMI	Institut tchèque de métrologie/Český Metrologický Institut, Brno (Rép. tchèque)
CMI-IIR	Inspection du CMI chargée des rayonnements ionisants/Český Metrologický Institut, Inspektorát Pro Ionizující Zářeni (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)
CNUCC	Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques
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	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
CSIR	Council of Scientific and Industrial Research, New Delhi (Inde)
CRDS	Spectroscopie par absorption laser dans un résonateur optique en anneau/ Cavity Ring-Down Spectroscopy/Spectrometer
DFM	Danish Fundamental Metrology, Lyngby (Danemark)
DMDM	Directorate of Measures and Precious Metals (Serbie)
EAL	Échelle atomique libre
EFTF	European Frequency and Time Forum
EIM	Institut hellénique de métrologie, Thessalonique (Grèce)
EMPA	Laboratoire fédéral suisse pour la science et la technologie des matériaux (Suisse)
ENFSI	European Network of Forensic Science Institute, La Haye (Pays-Bas)
ESA	Agence spatiale européenne/European Space Agency
EURAMET	(ex EUROMET) European Association of National Metrology Institutes
FCS	Frequency Control Symposium
FI	Facteur d'impact
FTIR	Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier/ Fourier Transform Infrared Spectroscopy
GGOS	Global Geodetic Observing System
GLONASS	Global Navigation Satellite System
GNSS	Global Navigation Satellite System(s)
GPS	Global Positioning System
GSB	Ghana Standards Board, Accra (Ghana)

GUM	Bureau central des mesures/Główny Urząd Miar, Varsovie (Pologne)
GUM	Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure/Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement
HPGe	Spectromètre au germanium hyper-pur/High-Purity Germanium Spectrometer
IAC	Coordination internationale sur la constante d'Avogadro/International Avogadro Coordination
ICAG	Comparaison internationale de gravimètres absolus/International Comparison of Absolute Gravimeters
ICG	International Committee for GNSS
ICNIRP	International Committee for Non-Ionizing Radiation Protection
ICRM	International Committee for Radionuclide Metrology
ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurements
ICTNS	Interdivisional Committee on Terminology, Nomenclature and Symbols de l'UICPA
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, Piscataway, New Jersey (États-Unis d'Amérique)
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)
IGS	International GNSS Service
ILAC	International Laboratory Accreditation Cooperation
ILL	Institut Laue-Langevin, Grenoble (France)
IMEKO	International Measurement Confederation
INDECOPI	Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual, Lima (Pérou)

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)
INTN	Instituto Nacional de Tecnología, Normalización y Metrología, Asunción (Paraguay)
IOPP	Institute of Physics Publishing, Bristol (Royaume-Uni de Grande Bretagne et d'Irlande du Nord)
IRA	Institut universitaire de radiophysique appliquée (Suisse)
IRMM	Institut des matériaux et mesures de référence/Institute for Reference Materials and Measurements, Commission européenne, Geel (Belgique)
ISHM	International Symposium on Humidity and Moisture
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	ex 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
KazInMetr	Institut de métrologie du Kazakhstan (Kakakhstan)
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 titanyl phosphate
LGC	LGC (ex Laboratory of the Government Chemist), Teddington (Royaume-Uni de Grande Bretagne et d'Irlande du Nord)
LKB	Laboratoire Kastler Brossel, Paris (France)
LNE	Laboratoire national de métrologie et d'essais, Paris (France)
LNE-INM	Institut national de métrologie - LNE, Paris (France)
LNE-LNHB	LNE Laboratoire national Henri Becquerel, Gif-sur-Yvette (France)
LNE-SYRTE	LNE Systèmes de référence temps espace, Paris (France)
MAS	Métrologie, accréditation et normalisation
METAS	Office fédéral de métrologie, Bern-Wabern (Suisse)
METCHEM	Comité technique de l'EURAMET sur la métrologie en chimie
MIKES	Centre de métrologie et d'accréditation/Mittatekniikan Keskus, Helsinki (Finlande)
MKEH	Hungarian Trade Licensing Office, Budapest (Hongrie)
MSL-IRL	Measurement Standards Laboratory of New Zealand, Industrial Research Limited, Lower Hutt (Nouvelle-Zélande)
NCSLI	NCSL International, Boulder, Co. (États-Unis d'Amérique)
NIBSC	National Institute for Biological Standards and Control, Potters Bar (Royaume-Uni de Grande Bretagne et d'Irlande du Nord)
NICT	National Institute of Information and Communications Technology, Tokyo (Japon)
NIM	National Institute of Metrology, Beijing (Chine)
NIMT	National Institute of Metrology, Pathumthani (Thaïlande)
NIS	National Institute for Standards, Le Caire (Égypte)
NIST	National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Md. (États-Unis d'Amérique)

NMC, A*STAR	National Metrology Centre, Agency for Science, Technology and Research (Singapour)
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 et Le Cap (Afrique du Sud)
NMO	National Measurement Office, Teddington (Royaume-Uni de Grande Bretagne et d'Irlande du Nord)
NML-SIRIM	National Metrology Laboratory, SIRIM Berhad (Malaisie)
NMS	National Measurement System (Royaume-Uni de Grande Bretagne et d'Irlande du Nord)
NOAA/ESRL	National Oceanic and Atmospheric Administration, Earth System Research Laboratory, Boulder (États-Unis d'Amérique)
NPL	National Physical Laboratory, Teddington (Royaume-Uni de Grande Bretagne et d'Irlande du Nord)
NRC	Conseil national de recherches du Canada, Ottawa (Canada)
NSAI	National Standards Authority of Ireland, Dublin (Irlande)
NTSC	National Time Service Center, The Chinese Academy of Sciences (Chine)
OIML	Organisation internationale de métrologie légale
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)
ONRJ	Observatório Nacional, Rio de Janeiro (Brésil)
ONUDI	Organisation des Nations Unies pour le développement industriel
OP	Observatoire de Paris, Paris (France)
ORB	Observatoire royal de Belgique, Bruxelles (Belgique)

PMOD/WRC	Physikalisch-Meteorologisches Observatorium Davos, World Radiation Center, Davos (Suisse)
PPP	Logiciel de positionnement précis/Precise Point Positioning
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig et Berlin (Allemagne)
PTTI	Precise Time and Time Interval
RISØ	Laboratoire national pour l'énergie durable, Université technique du Danemark (DTU), Roskilde (Danemark)
RWTH	Technical University of Aachen/Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule, Aix-la-Chapelle (Allemagne)
SI	Système international d'unités
SIM	Système inter-américain de métrologie/Sistema Interamericano de Metrología
SIR	Système international de référence pour les mesures d'activité d'émetteurs de rayonnement gamma
SMD	Service Métrologie Scientifique, Bruxelles (Belgique)
SMU	Institut slovaque de métrologie/Slovenský Metrologický Ústav, 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)
SRI	Statut, Règlement et Instructions applications aux membres du personnel du BIPM
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
UFFC	IEEE Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control Society, <i>voir</i> IEEE
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 d'Amérique)
UTC	Temps universel coordonné
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. Mendeleyev, Rostekhnregulirovaniye de Russie, Saint-Pétersbourg (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)
UV	ultraviolet