

**Rapport du directeur sur l'activité et la gestion
du Bureau international des poids et mesures**
(1^{er} juillet 2004 – 30 juin 2005)

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 2004 – 30 juin 2005)

Note sur l'utilisation du texte anglais (*voir* page 159)

Afin de mieux faire connaître ses travaux, le Comité international des poids et mesures publie une version en anglais de ses rapports.

Le lecteur doit cependant noter que le rapport officiel est toujours celui qui est rédigé en français. C'est le texte français qui fait autorité si une référence est nécessaire ou s'il y a doute sur l'interprétation.

Édité par le BIPM,
Pavillon de Breteuil,
F-92312 Sèvres Cedex
France

Imprimé par : Stedi, Paris
ISSN 1606-3740
ISBN 92-822-2215-2

TABLE DES MATIÈRES

États membres de la Convention du Mètre et Associés à la Conférence générale **13**

Le BIPM et la Convention du Mètre **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 2004 – 30 juin 2005) 21

- 1 Introduction **23**
 - 1.1 Introduction générale et résumé des travaux scientifiques **23**
 - 1.2 Publications, conférences et voyages du directeur **38**
 - 1.2.1 Publications extérieures **38**
 - 1.2.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **39**
 - 1.3 Activités du directeur en liaison avec des organisations extérieures **40**
- 2 Longueurs **40**
 - 2.1 Travaux sur le peigne **40**
 - 2.2 Mesures absolues de fréquence et comparaison clé du BIPM BIPM.L-K11 **41**
 - 2.3 Lasers étalons à 633 nm et à 532 nm **42**
 - 2.4 Cuves à iode **42**
 - 2.5 Lasers à He-Ne asservis sur le méthane à $\lambda \approx 3,39 \mu\text{m}$ en cuve interne et externe **42**
 - 2.5.1 Maintenance des lasers **42**
 - 2.5.2 Mesure de la fréquence absolue du laser de référence BIDM1 **43**
 - 2.6 Métrologie dimensionnelle **43**
 - 2.6.1 Diffractomètre laser interférentiel **43**
 - 2.6.2 Lasers à l'état solide, pompés par diode, asservis sur l'iode, pour la métrologie dimensionnelle et la gravimétrie absolue **43**
 - 2.7 Gravimétrie **44**
 - 2.7.1 Gravimétrie absolue **44**
 - 2.7.2 Étude de l'influence de l'instabilité de fréquence à court terme sur la mesure de l'accélération en chute libre au moyen du gravimètre absolu **44**
 - 2.7.3 Septième comparaison internationale de gravimètres absolus **45**

- 2.8 Publications, conférences et voyages : section des longueurs **45**
 - 2.8.1 Publications extérieures **45**
 - 2.8.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **46**
- 2.9 Activités liées au travail des Comités consultatifs **47**
- 2.10 Visiteurs de la section des longueurs **47**
- 2.11 Chercheurs invités et étudiants **48**
- 3 Masses et grandeurs apparentées **49**
 - 3.1 Étalonnages **49**
 - 3.2 Balance hydrostatique **50**
 - 3.3 Sorption de vapeur d'eau sur des masses étalons **51**
 - 3.4 Balance à suspensions flexibles FB-2 **52**
 - 3.4.1 Étalons du NPL pour la mesure de la poussée de l'air **52**
 - 3.4.2 Comparaisons de deux étalons de masse en acier inoxydable à un prototype de masse en platine iridié de 1 kg **52**
 - 3.4.3 Étude dans l'air et dans le vide des masses en or de 100 g du METAS **53**
 - 3.5 Projet de collaboration internationale sur la constante d'Avogadro **53**
 - 3.6 Pression **54**
 - 3.7 Générateur d'humidité **55**
 - 3.8 Balance de torsion pour la mesure de G **55**
 - 3.9 Publications, conférences et voyages : section des masses **56**
 - 3.9.1 Publications extérieures **56**
 - 3.9.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites, formation) **56**
 - 3.10 Activités liées au travail des Comités consultatifs **57**
 - 3.11 Autres activités **57**
 - 3.12 Visiteurs de la section des masses **58**
- 4 Temps **58**
 - 4.1 Temps atomique international (TAI) et Temps universel coordonné (UTC) **58**
 - 4.2 Algorithmes pour les échelles de temps **59**
 - 4.2.1 Stabilité de l'EAL **59**
 - 4.2.2 Exactitude du TAI **59**
 - 4.2.3 Détermination des incertitudes de $[UTC - UTC(k)]$ **60**
 - 4.2.4 Échelles de temps atomique indépendantes **60**

- 4.3 Liaisons horaires **61**
 - 4.3.1 Mesures utilisant le code du Global Positioning System (GPS) et du Global Navigation Satellite System (GLONASS) **61**
 - 4.3.2 Mesures de phase et de code des récepteurs géodésiques **62**
 - 4.3.3 Comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite **63**
 - 4.3.4 Incertitudes sur les liaisons horaires du TAI **64**
 - 4.3.5 Étalonnage des liaisons horaires du TAI **64**
 - 4.4 Comparaisons clés **64**
 - 4.5 Pulsars **64**
 - 4.6 Références spatio-temporelles **65**
 - 4.7 Autres études **65**
 - 4.8 Publications, conférences et voyages : section du temps **66**
 - 4.8.1 Publications extérieures **66**
 - 4.8.2 Publications du BIPM **67**
 - 4.8.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **67**
 - 4.9 Activités en liaison avec des organisations extérieures **70**
 - 4.10 Activités liées au travail des Comités consultatifs **71**
 - 4.11 Visiteurs de la section du temps **71**
- 5 Électricité **71**
- 5.1 Potentiel électrique : effet Josephson **71**
 - 5.1.1 Mesures de réseaux de jonctions de Josephson **71**
 - 5.1.2 Projet 723 de l'EUROMET : comparaison d'étalons de tension de 1,09 V complémentaire à la comparaison BIPM.EM-K10.a **72**
 - 5.1.3 Mesures de diodes de Zener **72**
 - 5.2 Résistance électrique et impédance **72**
 - 5.2.1 Mesures de résistance en courant continu **72**
 - 5.2.2 Conservation d'un étalon de référence de capacité et étalonnages de condensateurs **73**
 - 5.3 Détermination des caractéristiques de bruit des étalons de tension électroniques **73**
 - 5.4 Analyse des séries temporelles des résultats de mesure **74**
 - 5.5 Thermométrie **74**
 - 5.6 Comparaisons clés continues du BIPM d'étalons électriques **75**
 - 5.7 Étalonnages **76**

- 5.8 Publications, conférences et voyages : section d'électricité **77**
 - 5.8.1 Publications extérieures **77**
 - 5.8.2 Rapports BIPM **77**
 - 5.8.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **78**
- 5.9 Activités en liaison avec des organisations extérieures **79**
- 5.10 Activités liées au travail des Comités consultatifs **79**
- 5.11 Visiteurs de la section d'électricité **79**
- 6 Rayonnements ionisants **80**
 - 6.1 Rayons x et γ **80**
 - 6.1.1 Étalons et équipements pour la dosimétrie **80**
 - 6.1.2 Comparaisons de dosimétrie **81**
 - 6.1.3 Étalonnage d'étalons nationaux pour la dosimétrie **82**
 - 6.2 Radionucléides **83**
 - 6.2.1 Comparaisons clés internationales de mesures d'activité **83**
 - 6.2.2 Comparaison de mesures d'activité d'une solution de ^{241}Am **83**
 - 6.2.3 Comparaison de mesures d'activité d'une solution de ^{65}Zn **84**
 - 6.2.4 Comparaison de mesures d'activité d'une solution de ^{125}I **84**
 - 6.2.5 Comparaison de mesures d'activité d'une solution de ^{32}P **84**
 - 6.2.6 Comparaison de mesures d'activité d'une solution de ^{54}Mn **85**
 - 6.2.7 Comparaison de mesures d'activité d'une solution de ^{90}Y **85**
 - 6.2.8 Système international de référence (SIR) pour la mesure d'activité de radionucléides émetteurs de rayonnement gamma **85**
 - 6.2.9 Spectrométrie gamma **86**
 - 6.3 Publications, conférences et voyages : section des rayonnements ionisants **87**
 - 6.3.1 Publications extérieures **87**
 - 6.3.2 Rapports BIPM **88**
 - 6.3.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **89**
 - 6.4 Activités en liaison avec des organisations extérieures **90**
 - 6.5 Activités liées au travail des Comités consultatifs **90**

- 6.6 Visiteurs de la section des rayonnements ionisants **91**
- 6.7 Chercheurs invités **92**
- 7 Chimie **92**
 - 7.1 Programme sur la métrologie des gaz **92**
 - 7.1.1 Programme de comparaisons de photomètres mesureurs d'ozone **92**
 - 7.1.2 Traitement statistique des résultats des comparaisons **92**
 - 7.1.3 Étude des écarts systématiques et de l'incertitude de mesure des photomètres étalons de référence **93**
 - 7.2 Équipement pour les étalons primaires de dioxyde d'azote **94**
 - 7.3 Équipement pour le titrage en phase gazeuse **94**
 - 7.4 Équipement pour les comparaisons d'étalons de monoxyde d'azote **95**
 - 7.5 Équipement pour la spectrométrie infrarouge par transformée de Fourier **96**
 - 7.6 Composition de l'air **96**
 - 7.7 Programme d'analyse organique **96**
 - 7.8 Installation d'équipements pour le laboratoire d'analyse organique **98**
 - 7.8.1 Coordination de l'étude pilote CCQM-P20 **98**
 - 7.8.2 Collaborations extérieures **99**
 - 7.9 Activités liées au JCTLM **100**
 - 7.10 Activités liées au travail des Comités consultatifs **100**
 - 7.10.1 Ateliers liés au CCQM **101**
 - 7.10.2 Comparaisons du CCQM coordonnées par le BIPM **101**
 - 7.11 Activités en liaison avec des organisations extérieures **101**
 - 7.12 Publications, conférences et voyages : section de chimie **102**
 - 7.12.1 Publications extérieures **102**
 - 7.12.2 Rapports BIPM **102**
 - 7.12.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **102**
 - 7.13 Visiteurs de la section de chimie **105**
 - 7.14 Chercheur invité **105**
- 8 La base de données du BIPM sur les comparaisons clés **106**
 - 8.1 Informations enregistrées dans la base de données **106**
 - 8.2 Analyse des résultats des comparaisons clés publiés dans la KCDB **107**
 - 8.3 La KCDB et le Système Qualité du BIPM **108**
 - 8.4 Visites au site de la KCDB, et la faire connaître **108**

- 8.5 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **109**
- 8.6 Activités en liaison avec des organisations extérieures **109**
- 8.7 Activités liées au travail des Comités consultatifs **110**
- 8.8 Publications **110**
 - 8.8.1 Publications extérieures **110**
 - 8.8.2 Rapports BIPM **111**
- 8.9 Visiteurs pour la KCDB **111**

- 9 Le Comité mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM, JCRB **111**
 - 9.1 Le JCRB étend les pouvoirs des présidents des groupes de travail des comités techniques des organisations régionales de métrologie **111**
 - 9.2 Approbation accélérée des CMCs **112**
 - 9.3 Fin de la période de transition **112**
 - 9.4 Procédures d'examen inter-régional **113**
 - 9.5 Nouveau secrétaire exécutif **113**
 - 9.6 Publications, conférences et voyages : JCRB **113**
 - 9.6.1 Nouveaux documents du JCRB **113**
 - 9.6.2 Révision des documents du JCRB **113**
 - 9.6.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **114**
 - 9.7 Activités liées au travail des Comités consultatifs **114**
 - 9.8 Visiteurs pour le JCRB **114**

- 10 Système Qualité et relations avec l'ISO et l'ILAC **115**
 - 10.1 Système Qualité et relations avec l'ISO et l'ILAC **115**
 - 10.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) : Système Qualité **115**

- 11 Projets spéciaux **116**
 - 11.1 Condensateur calculable **116**
 - 11.2 Balance du watt **118**
 - 11.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) : projets spéciaux **119**
 - 11.4 Visiteurs pour les projets spéciaux **120**

- 12 Publications et informatique **121**
 - 12.1 Rapports du CIPM et de ses Comités consultatifs **121**
 - 12.2 *Metrologia* **121**
 - 12.3 Informatique **123**

- 12.4 Voyages (conférences et visites) : section publications et informatique **125**
- 12.5 Visiteurs et stagiaires de la section publications et informatique **125**
- 13 Réunions et exposés au BIPM **126**
 - 13.1 Réunions **126**
 - 13.2 Séminaires externes **127**
 - 13.3 Exposés internes **127**
- 14 Certificats et Notes d'étude **128**
 - 14.1 Certificats **128**
 - 14.2 Notes d'étude **134**
- 15 Finance, administration et services généraux **135**
 - 15.1 Comptes **135**
 - 15.1.1 Compte I : fonds ordinaires **135**
 - 15.1.2 Compte II : caisse de retraite **137**
 - 15.1.3 Compte III : fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique **137**
 - 15.1.4 Compte IV : caisse de prêts sociaux **138**
 - 15.1.5 Compte V : réserve pour les bâtiments **138**
 - 15.1.6 Compte VI : *Metrologia* **139**
 - 15.1.7 Compte VII : fonds de réserve pour l'assurance maladie **139**
 - 15.1.8 Bilan au 31 décembre 2004 **140**
 - 15.2 Personnel **142**
 - 15.2.1 Engagements **142**
 - 15.2.2 Promotions et changements de grade **142**
 - 15.2.3 Changements de postes et titularisations **142**
 - 15.2.4 Chercheurs associés **143**
 - 15.2.5 Départs **143**
 - 15.3 Bâtiments **143**
 - 15.3.1 Grand Pavillon **143**
 - 15.3.2 Petit Pavillon **143**
 - 15.3.3 Observatoire **143**
 - 15.3.4 Bâtiment des rayonnements ionisants **144**
 - 15.3.5 Nouveau Pavillon **144**
 - 15.3.6 Pavillon du Mail **144**
 - 15.3.7 Extérieurs et parc **144**

15.4 Voyages (conférences et visites) : section finance, administration
et services généraux **144**

16 Secrétariat **144**

17 Atelier de mécanique et entretien du site **145**

Liste des sigles utilisés dans le présent volume 147

**ÉTATS MEMBRES DE LA CONVENTION DU MÈTRE
ET ASSOCIÉS À LA CONFÉRENCE GÉNÉRALE**
au 1^{er} juillet 2005

États membres de la Convention du Mètre

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

Associés à la Conférence générale

Bélarus	Lettonie
Costa Rica	Lituanie
Croatie	Malte
Cuba	Panama
Équateur	Philippines
Estonie	Slovénie
Hong Kong, Chine	Taipei chinois
Jamaïque	Ukraine
Kenya	Viet Nam

LE BIPM ET LA CONVENTION DU MÈTRE

Le Bureau international des poids et mesures (BIPM) a été créé par la Convention du Mètre signée à Paris le 20 mai 1875 par dix-sept États, lors de la dernière séance de la Conférence diplomatique du Mètre. Cette Convention a été modifiée en 1921.

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

Le Bureau international a pour mission d'assurer l'unification mondiale des mesures ; il est donc chargé :

- d'établir les étalons fondamentaux et les échelles pour la mesure des principales grandeurs physiques et de conserver les prototypes internationaux ;
- d'effectuer la comparaison des étalons nationaux et internationaux ;
- d'assurer la coordination des techniques de mesure correspondantes ;
- d'effectuer et de coordonner les mesures des constantes physiques fondamentales qui interviennent dans les activités ci-dessus.

Le Bureau international fonctionne sous la surveillance exclusive du Comité international des poids et mesures (CIPM), placé lui-même sous l'autorité de la Conférence générale des poids et mesures (CGPM) à laquelle il présente son rapport sur les travaux accomplis par le Bureau international.

La Conférence générale rassemble des délégués de tous les États membres de la Convention du Mètre et se réunit actuellement tous les quatre ans dans le but :

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

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

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

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

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

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

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

1. Le Comité consultatif d'électricité et magnétisme (CCEM), nouveau nom donné en 1997 au Comité consultatif d'électricité (CCE) créé en 1927 ;
2. Le Comité consultatif de photométrie et radiométrie (CCPR), nouveau nom donné en 1971 au Comité consultatif de photométrie (CCP) créé en 1933 (de 1930 à 1933 le CCE s'est occupé des questions de photométrie) ;
3. Le Comité consultatif de thermométrie (CCT), créé en 1937 ;
4. Le Comité consultatif des longueurs (CCL), nouveau nom donné en 1997 au Comité consultatif pour la définition du mètre (CCDM) créé en 1952 ;
5. Le Comité consultatif du temps et des fréquences (CCTF), nouveau nom donné en 1997 au Comité consultatif pour la définition de la seconde (CCDS) créé en 1956 ;
6. Le Comité consultatif des rayonnements ionisants (CCRI), nouveau nom donné en 1997 au Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants (CCEMRI) créé en 1958 (en 1969, ce Comité consultatif a institué quatre sections : Section I (Rayons x et γ , électrons), Section II (Mesure des radionucléides), Section III (Mesures neutroniques), Section IV (Étalons d'énergie α) ; cette dernière section a été dissoute en 1975, son domaine d'activité étant confié à la Section II) ;
7. Le Comité consultatif des unités (CCU), créé en 1964 (ce Comité consultatif a remplacé la « Commission du système d'unités » instituée par le Comité international en 1954) ;
8. Le Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées (CCM), créé en 1980 ;
9. Le Comité consultatif pour la quantité de matière : métrologie en chimie (CCQM), créé en 1993 ;
10. Le Comité consultatif de l'acoustique, des ultrasons et des vibrations (CCAUV), créé en 1999.

Les travaux de la Conférence générale et du Comité international sont publiés par les soins du Bureau international dans les collections suivantes :

- *Comptes rendus des séances de la Conférence générale des poids et mesures* ;
- *Procès-verbaux des séances du Comité international des poids et mesures*.

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

Le Bureau international publie aussi des monographies sur des sujets métrologiques particuliers et, sous le titre *Le Système international d'unités (SI)*, une brochure remise à jour périodiquement qui rassemble toutes les décisions et recommandations concernant les unités.

La collection des *Travaux et mémoires du Bureau international des poids et mesures* (22 tomes publiés de 1881 à 1966) a été arrêtée par décision du Comité international, de même que le *Recueil de travaux du Bureau international des poids et mesures* (11 volumes publiés de 1966 à 1988).

Les travaux du Bureau international font l'objet de publications dans des journaux scientifiques ; une liste en est donnée chaque année dans le *Rapport du directeur sur l'activité et la gestion du Bureau international des poids et mesures*.

Depuis 1965 la revue internationale *Metrologia*, éditée sous les auspices du Comité international des poids et mesures, publie des articles sur la métrologie scientifique, sur l'amélioration des méthodes de mesure, les travaux sur les étalons et sur les unités, ainsi que des rapports concernant les activités, les décisions et les recommandations des organes de la Convention du Mètre.

**LISTE DU PERSONNEL DU
BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES**

au 1^{er} juillet 2005

Directeur : M. A.J. Wallard

Longueurs : M. A.J. Wallard

MM. R. Felder, J. Labot, L.-S. Ma¹, L. Robertsson, L.F. Vitushkin,
M. Zucco²

Masse : M. R.S. Davis

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

Temps : Mme E.F. Arias

M. Z. Jiang, Mme H. Konaté, MM. W. Lewandowski, G. Petit, L. Tisserand,
P. Wolf⁶

Électricité : M. T.J. Witt

M. M. Stock³
MM. R. Chayramy, F. Delahaye, R. Goebel, A. Jaouen, D. Reymann,
S. Solve

Rayonnements ionisants : Mme P.J. Allisy-Roberts

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

Chimie : M. R.I. Wielgosz

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

Publications et informatique : M. J. Williams

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

Base de données du BIPM sur les comparaisons clés : Mme C. Thomas⁴

Mme S. Maniguet

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

Secrétariat : Mme F. Joly

Mmes D. Le Coz⁴, G. Négadi, J. Varenne

Finances, administration et services généraux : Mme B. Perent

M. F. Ausset, Mmes D. Etter, M.-J. Martin, D. Saillard⁴

Gardiens : M. et Mme Dominguez⁵, M. et Mme Neves⁵

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

Jardiniers : MM. C. Dias-Nunes, A. Zongo⁵

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

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

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

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

-
- 1 Chercheur associé supérieur.
 - 2 Chercheur associé(e).
 - 3 Responsable des projets spéciaux.
 - 4 Également aux publications.
 - 5 Également à l'entretien du site.
 - 6 En détachement au LNE-SYRTE, Observatoire de Paris.

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

(1^{er} juillet 2004 – 30 juin 2005)

1 INTRODUCTION

1.1 Introduction générale et résumé des travaux scientifiques

L'an dernier, je vous ai fait part d'un certain nombre d'événements marquants pour le Bureau international des poids et mesures (BIPM), notamment la Conférence générale des poids et mesures (CGPM) de 2003, et des progrès réalisés dans la mise en œuvre de l'Arrangement du CIPM (MRA). Au cours de l'année passée, nous avons débuté le programme de travail de quatre ans approuvé par la Conférence générale et nous avons pris des mesures pour mettre au point des programmes à long terme pour le BIPM. De plus, la période de transition de l'Arrangement du CIPM est arrivée à son terme et nous avons étendu nos activités au domaine de la chimie ; nous avons aussi consolidé et étendu notre collaboration avec un certain nombre d'organisations internationales.

Le BIPM est actuellement en bonne forme sur le plan financier et scientifique, mais nous faisons face à des restrictions financières actuelles et à venir. Autant que possible, et dans les limites budgétaires et autres qui nous sont imposées par le programme de travail pour la période 2005 à 2008, nous augmentons, et devons continuer à accroître, les ressources allouées aux nouveaux domaines de recherche, scientifiques et autres. Un grand nombre de ces besoins n'étaient pas évidents au moment où la Conférence générale a approuvé notre programme de travail en 2003, et nous informons régulièrement le CIPM sur la manière dont nous adaptons le programme de travail afin de répondre aux priorités les plus urgentes. Nous semblons, toutefois, victimes du succès remporté par les nombreuses initiatives que nous avons prises dans le domaine de la métrologie en chimie. Nous avons donc besoin de faire attention à ne pas aller au-delà de nos possibilités et à ne pas laisser croire, de manière irréaliste, à notre capacité à trouver des solutions à tous les besoins et à toutes les exigences de ces communautés. Bien qu'il y ait eu une réduction substantielle des ressources allouées à la physique au BIPM ces dernières années, nous devons continuer à assurer un équilibre entre les activités les plus nouvelles et les besoins bien établis et permanents des États membres et des Associés. Ce n'est pas une tâche facile. Nous sommes cependant reconnaissants qu'un certain nombre de laboratoires nationaux de métrologie soient prêts à mettre des membres de leur personnel à disposition ou en détachement au BIPM, conformément à la Résolution 12 adoptée par la dernière Conférence générale. Ce sera, j'en suis certain, un sujet qui continuera à stimuler l'esprit des membres du personnel du BIPM ainsi que des membres du CIPM.

Dans ce contexte, nous devons aussi commencer à préparer des projets de rapports et de documents prévisionnels pour le CIPM afin de rédiger le prochain programme de travail et les propositions de budget associées pour la 23^e Conférence générale en 2007. Le secrétaire du CIPM, M. Robert Kaarls, mettra à jour le rapport qu'il avait préparé pour la précédente Conférence générale, et il ne fait aucun doute que nous devons faire face à des exigences hautement prioritaires qui dépasseront nos ressources actuelles. Pour nous aider à faire face à ce processus, et afin de poursuivre notre programme de changements et d'adaptations, nous travaillons actuellement sur des plans à long terme pour tenir compte de la nature évolutive des travaux scientifiques et autres du BIPM. Notre objectif est de discuter de ces projets avec les Comités consultatifs afin d'obtenir leur avis et leurs commentaires, et de les présenter ensuite aux réunions du CIPM.

Convention du Mètre : Au cours de l'année passée, nous avons eu le plaisir d'accueillir deux nouveaux États et entités économiques associés à la Conférence générale, la Croatie et l'Estonie ; les Associés sont maintenant au nombre de dix-huit. Le nombre des États membres de la Convention du Mètre est toujours de cinquante et un.

L'Arrangement du CIPM et le JCRB : Quarante-cinq États membres, dix-sept Associés et deux organisations internationales ont signé l'Arrangement du CIPM, ce qui porte le nombre des laboratoires et organismes désignés y participant à environ 150. Il y a actuellement plus de 17 000 aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages (CMC) et 612 comparaisons publiées dans la base de données du BIPM sur les comparaisons clés (KCDB). Nous avons essayé de simplifier la procédure d'examen inter-régional et de concentrer l'attention des présidents des comités techniques afin d'accélérer l'examen des CMCs. En particulier, une procédure accélérée a été mise au point qui devrait encourager les laboratoires nationaux de métrologie à mettre systématiquement à jour leurs CMCs lorsqu'ils améliorent leurs moyens techniques.

Le statut des laboratoires désignés a été source de préoccupation pour la communauté concernée par l'Arrangement du CIPM. Un document de directive sur ce thème a été approuvé par le CIPM ; il est disponible sur le site Web du BIPM. Il est demandé aux directeurs des organisations nationales de coordination de s'assurer que les laboratoires désignés suivent ces directives, afin que leurs responsabilités soient clairement formulées, et que nous n'ayons pas à rejeter les CMCs de laboratoires qui n'ont pas été désignés.

Le Comité mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM (JCRB) s'est réuni en octobre 2004 au BIPM, et il a été hébergé par COOMET en mai 2005 au BelGIM, à Minsk (Biélarus). Lors de la première

de ces deux réunions, il a aussi tenu un atelier sur les procédures d'évaluation des Systèmes Qualité utilisées par les organisations régionales de métrologie. Cet atelier a beaucoup contribué à aider les uns et les autres à comprendre comment chaque organisation régionale de métrologie a examiné les Systèmes Qualité de ses laboratoires membres ; il a aussi approuvé le Système Qualité du BIPM, présenté au cours de cet atelier.

Le JCRB s'est principalement intéressé aux arrangements concernant la fin de la période de transition de l'Arrangement du CIPM et, en particulier, à la nécessité que le Système Qualité des signataires de l'Arrangement du CIPM soit mis en place avant la première réunion du JCRB en 2005 et qu'il fasse l'objet d'un examen exhaustif. Ceci a poussé les organisations régionales de métrologie et les laboratoires nationaux de métrologie à accomplir cette procédure avant la date butoir, afin d'être sûrs que leurs CMCs restent dans la KCDB. Les rapports des organisations régionales de métrologie, lors de la réunion de mai 2005, ont montré qu'un certain nombre de laboratoires nationaux avaient déjà demandé la suppression temporaire de certaines CMCs de la KCDB, et d'autres CMCs, peu nombreuses, qui n'étaient pas couvertes par un système de management de la qualité revu et approuvé, ont dû être enlevées de la base. Dès que le système de management de la qualité répondra aux critères de l'Arrangement du CIPM, ces CMCs seront réintégrées.

Un nouveau document de clarification sur l'Arrangement du CIPM est disponible ; il met à jour les documents précédents concernant la nature et l'interprétation du MRA. De plus, le Guide 34 de l'ISO sera considéré comme la norme sur la qualité appropriée pour les CMCs liées à la production de matériaux de référence ; la période de transition pour sa mise en œuvre s'achèvera au moment du premier JCRB de 2006.

Réunion des directeurs des laboratoires nationaux de métrologie (septembre 2004) : La réunion annuelle des directeurs a traité principalement de questions relatives à l'Arrangement du CIPM, et des présentations fort utiles ont été faites au sujet de l'expérience acquise par les laboratoires nationaux de métrologie, de l'importance de l'Arrangement du CIPM pour les agences de réglementation et au sujet de la manière dont les organes de la Convention du Mètre travaillent avec l'ILAC et l'ISO, au nom des laboratoires nationaux de métrologie. La réunion s'est terminée par une présentation du secrétaire général de l'ISO, Alan Bryden. Une autre réunion des directeurs se tiendra fin septembre 2005.

Comité commun pour la traçabilité en médecine de laboratoire (JCTLM) : Nous sommes très satisfaits des progrès réalisés dans le domaine de la médecine de laboratoire, sous les auspices du JCTLM. Le programme d'élaboration d'un cadre largement reconnu et accepté au niveau

international pour la reconnaissance des matériaux de référence « de rang hiérarchique supérieur », qui est demandé dans la Directive sur le diagnostic *in vitro*, est bien avancé. Des listes d'étalons « de rang hiérarchique supérieur » seront publiées dans la base de données du JCTLM au BIPM à la fin de l'année 2005 ou au début de 2006. Environ 300 matériaux de référence et environ 75 méthodes de référence ont été sélectionnées pour être soumis à examen. Nous finalisons aussi les critères pour inscrire sur ces listes les laboratoires reconnus comme ayant les compétences nécessaires dans les domaines du diagnostic et de la médecine de laboratoire.

En dehors de la collaboration avec nos partenaires officiels du JCTLM, la Fédération internationale de chimie clinique et médecine de laboratoire (IFCC) et l'International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC), nous travaillons aussi avec l'Organisation mondiale de la santé (OMS), en particulier dans le domaine des unités biologiques et de la traçabilité.

Comité commun pour les guides en métrologie (JCGM) : Avec les autres membres qui collaborent au Groupe de travail 1 du JCGM, le BIPM travaille à la rédaction de deux suppléments au *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure* (le GUM). Le premier supplément concerne la propagation de distributions au moyen d'une méthode de Monte Carlo et le second traite de la généralisation du GUM, lorsqu'il y a plusieurs grandeurs mesurées simultanément. Les deux suppléments seront finalisés, nous l'espérons, en 2006.

Le Groupe de travail 2 du JCGM a fait circuler un projet de nouvelle version du *Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie* (le VIM) et il s'occupe maintenant des nombreux commentaires qu'il a reçus.

Brochure sur le SI : Le Comité international a donné son accord global sur le projet de nouvelle brochure sur le SI lors de sa session d'octobre 2004. Le CCU a ensuite finalisé ce projet et a approuvé la réalisation d'un résumé qui sera disponible à la fin de cette année et sera largement diffusé aux laboratoires nationaux de métrologie et autres.

Le Comité international : Le Comité international a tenu sa réunion habituelle en octobre 2004 et a accueilli M. Ernst Göbel en tant que président du Comité, ainsi que deux nouveaux membres, M. Luc Énard (LNE, France) et M. Kim Carneiro (DFM, Danemark). M. Hrach Semerjian (NIST, États-Unis) assistait au Comité pour la première fois.

La réunion a porté principalement sur les relations avec l'ILAC et l'Organisation internationale de métrologie légale (OIML), et sur un certain nombre de questions importantes concernant l'organisation à long terme des activités scientifiques et techniques du BIPM. Le Comité a aussi examiné une

proposition de la communauté travaillant sur les matériaux d'entreprendre des activités, sous les auspices de la Convention du Mètre, concernant la traçabilité et l'incertitude dans le domaine de la métrologie des matériaux. Un groupe de travail dirigé par M. Seton Bennett du NPL étudie cette proposition et présentera un rapport au Comité international en octobre 2005. Les réunions du groupe dirigé par M. Bennett examineront comment une approche plus rigoureuse de la traçabilité au SI pourrait être bénéfique à la communauté des matériaux et le groupe proposera des programmes de travail dans un certain nombre de domaines. Le Comité international décidera s'il convient ou pas d'entreprendre des activités dans le domaine de la métrologie des matériaux et comment organiser cette activité du point de vue administratif.

Le Comité international a aussi éclairci et actualisé sa politique concernant les services qui pourraient être rendus aux laboratoires nationaux de métrologie des Associés à la Conférence générale et leur participation aux comparaisons, aux études pilotes et aux groupes de travail des Comités consultatifs.

Collaboration avec l'ILAC et l'OIML : Le BIPM et l'ILAC mettent actuellement au point une déclaration commune sur le rôle des laboratoires nationaux de métrologie et des organismes d'accréditation au niveau national. Ils ont présenté un projet à la première réunion des organisations régionales de métrologie et des organismes d'accréditation au niveau régional en mars 2005. Le BIPM travaillera aussi avec l'ILAC et l'OIML sur une déclaration concernant l'utilisation des divers arrangements de reconnaissance mutuelle ou, dans le cas de l'OIML, de l'arrangement d'acceptation mutuelle. Cette déclaration, qui répond à une requête de la 22^e Conférence générale, demandera instamment aux gouvernements et aux autres parties intéressées d'utiliser les arrangements de reconnaissance mutuelle approuvés pour assurer le fondement technique des accords ou traités commerciaux et autres.

La collaboration entre le BIPM et la communauté de l'accréditation continue à se développer ; l'ILAC apporte son soutien au BIPM pour qu'il soit responsable au niveau international du système mondial de mesure – qui pour l'essentiel est constitué :

- d'étalons nationaux équivalents, dont on peut démontrer la traçabilité au SI au moyen de leur réalisation et de leur conservation au niveau du laboratoire national de métrologie, et qui sont validés par l'Arrangement du CIPM ; et
- de systèmes de mesure assurant la traçabilité des mesures à ces étalons nationaux, quel que soit le niveau d'exactitude nécessaire à l'utilisateur.

Cette traçabilité est en général réalisée au moyen d'un réseau de laboratoires d'étalonnage et d'essais compétents du point de vue technique et accrédités selon la norme ISO/CEI 17025 ou selon une autre norme appropriée rédigée par un organisme d'accréditation au niveau national, signataire de l'Arrangement de l'ILAC.

La réunion de mars 2005 a lancé un certain nombre d'actions, en grande partie au niveau régional, afin de traiter des questions qui aideront à assurer la mise en œuvre cohérente et intégrée de l'Arrangement du CIPM et de celui de l'ILAC, et à encourager une collaboration plus étroite entre ces deux organisations. Les détails en sont donnés sur le site Web du BIPM.

Des représentants du BIPM, de l'ILAC et de l'OIML se réuniront à nouveau en 2006 pour examiner les progrès réalisés. Entre temps, le BIPM et l'ILAC continueront à travailler à la rédaction d'une déclaration commune. Elle sera fondée sur le rôle et les responsabilités des organismes de métrologie et d'accréditation, qui ont déjà été soulignés, et sur les conclusions d'autres discussions au niveau régional à propos d'un certain nombre de points soulevés pendant la réunion. L'objectif est de parvenir à un accord sur un document avant la réunion des directeurs qui se tiendra en septembre 2005 au BIPM et avant l'assemblée générale de l'ILAC en octobre 2005. Ensuite, la déclaration commune sera promue énergiquement auprès des deux communautés, ainsi qu'auprès des organisations de normalisation, des agences de réglementation et des gouvernements.

Collaboration avec d'autres organisations internationales : Le BIPM est maintenant observateur du CODEX Alimentarius, et assure ainsi une liaison avec l'industrie alimentaire. Un certain nombre de comparaisons et d'études pilotes du CCQM traitent déjà de ce sujet et nous nous attendons à ce que leur nombre augmente à l'avenir, quand nous serons plus au fait des priorités dans ce secteur.

Nous travaillons avec l'Organisation météorologique mondiale (OMM) depuis un certain temps, et nous sommes heureux de voir qu'ils envisagent de signer l'Arrangement du CIPM et de placer leurs laboratoires de veille de l'atmosphère globale sous l'égide de l'Arrangement du CIPM, ainsi que leurs CMCs dans les domaines appropriés.

Au nom des États membres, nous travaillons plus étroitement avec l'Organisation internationale de normalisation (ISO), en particulier ses comités CASCO et REMCO.

Notre travail avec l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) se poursuit, en particulier pour ce qui concerne leur réseau d'étalons secondaires de dosimétrie. C'est une collaboration de grande valeur, qui

améliore l'efficacité de la dissémination de la traçabilité fondée sur l'étalonnage par le BIPM des étalons de l'AIEA.

Plus récemment, nous avons décidé de collaborer avec l'Agence mondiale antidopage, sur le thème de la cohérence internationale des mesures de dopage dans le domaine sportif.

Système Qualité du BIPM : Au sein du BIPM, nous avons opéré avec succès la mise en œuvre de notre Système Qualité auto-déclaré ou revu par les pairs. Progressivement, d'autres aspects du travail du BIPM seront mis en conformité avec la norme ISO/CEI 17025 ou avec la norme ISO 9001. Bien que le BIPM ne publie pas de « CMCs » dans la KCDB, le site Web du BIPM donne les détails des incertitudes normalement associées aux services d'étalonnage du BIPM.

Activités scientifiques au BIPM : La section de photométrie et radiométrie du BIPM a finalement fermé ses portes à l'été 2004 après environ 70 ans d'activités au BIPM. Les anciens membres de la section travaillent maintenant avec leurs collègues de la section d'électricité afin de débiter de nouveaux projets sur la balance du watt et sur le condensateur calculable, en collaboration avec nos collègues australiens et canadiens.

Les sections scientifiques ont remporté d'importants succès. Dans la section des rayonnements ionisants, un grand nombre de rapports de comparaisons ont été publiés, malgré un programme chargé de comparaisons et malgré la mise à niveau de l'électronique du Système international de référence (SIR), le remplacement du tube à rayons x aux moyennes énergies et les améliorations apportées au montage de la source de cobalt. La section des masses a effectué des mesures de la sphère de silicium dans le cadre du projet Avogadro international, et un certain nombre d'importantes publications sur la balance FB2 et sur la masse volumique de l'air. Des membres des sections des masses et de chimie ont publié un des articles les plus fréquemment cités du BIPM, sur la composition de l'air. La section des longueurs a publié un des articles les plus importants de l'année sur les performances des peignes de fréquence dans la revue *Science*, et la section du temps a révisé et automatisé la production et la dissémination du Temps atomique international (TAI) et du Temps universel coordonné (UTC). La section du temps s'est aussi attaquée au sujet difficile de l'incertitude de l'UTC et a poursuivi avec succès la série de comparaisons de récepteurs du GPS. Les détails des autres progrès réalisés et des autres réalisations sont comme d'habitude résumés ci-dessous, et décrits plus en détail dans les rapports des sections.

Longueurs : Dans le domaine des mesures absolues de fréquence de lasers, cette année a été consacrée principalement à une phase de consolidation, après le lancement de la comparaison clé fondée sur le peigne à impulsions

femtosecondes BIPM.L-K11, qui a remplacé celle fondée sur les mesures hétérodynes. Des progrès ont été réalisés dans la validation des performances des peignes au niveau de 1×10^{-19} . La technique du peigne est maintenant utilisée couramment pour l'étalonnage des lasers des laboratoires nationaux de métrologie et, bien sûr, dans la comparaison BIPM.L-K11. Nous améliorons sans cesse les performances de nos comparaisons et de nos étalonnages, en simplifiant les dispositifs expérimentaux et en réalisant des systèmes de mesures électroniques efficaces et fiables.

Nous travaillons à mettre au point un système à peigne fiable plus compact, qui pourrait être utilisé hors du BIPM dans les comparaisons et les mesures au niveau régional.

L'utilisation de nos peignes pour les mesures absolues directes des fréquences des lasers étalonnés au BIPM nous dispense d'estimer, comme par le passé, les incertitudes dues aux impuretés des cuves à iode. En effet, ces décalages sont mesurés par le peigne. En conséquence, le mètre est réalisé avec une meilleure exactitude au moyen de ces systèmes.

Les autres activités sur les lasers sont destinées à maintenir nos compétences et concernent aussi les mesures au moyen du peigne de la fréquence de lasers asservis sur le méthane. Les difficultés inhérentes à la mise en œuvre de systèmes laser complexes dans l'infrarouge continuent à poser des problèmes, et l'avenir de ce projet sera examiné d'un œil critique à la fin de cette année.

Dans le domaine de la métrologie dimensionnelle, les systèmes lasers compacts pompés par diode présentent d'excellentes performances. Nous envisageons de les utiliser comme sources pour les mesures d'interférométrie dans les expériences du condensateur calculable et de la balance du watt, ainsi que dans la mise en place d'un gravimètre absolu plus fiable, de conception nouvelle.

Au cours de l'année passée, nous avons consacré plus d'efforts à la gravimétrie qu'à l'ordinaire, améliorant les systèmes de référence locaux et les systèmes de mesure afin de préparer la prochaine comparaison internationale de gravimètres. Le gravimètre absolu appartenant au BIPM assurera le contrôle du champ de gravité pendant la comparaison et aussi plusieurs mesures de liaison du réseau gravimétrique du BIPM. Ceci devrait aussi permettre une vérification supplémentaire des performances des systèmes commerciaux participants, de conception similaire au nôtre.

Enfin, la décision de créer un comité commun au Comité consultatif des longueurs (CCL) et au Comité consultatif du temps et des fréquences (CCTF) pour examiner les représentations secondaires de la seconde s'est avérée être une sage décision, à la lumière des récents progrès dans le domaine des lasers

étalons de fréquence optique. L'opportunité de valider les déclarations sur les performances de ces nouvelles sources au moyen des procédures d'évaluation élaborées par le comité commun a intensifié l'intérêt de cette communauté et c'est un pas de plus vers la possibilité d'une réalisation « optique » de la seconde. Pour le moment, cependant, il est nécessaire d'améliorer considérablement les performances des techniques de comparaison à distance afin de tirer profit des performances des horloges optiques pour les échelles de temps internationales.

Masses : Des certificats d'étalonnage ont été émis pour sept prototypes de 1 kg. Six de ces prototypes ont été manufacturés récemment, comme décrit dans le rapport du directeur de 2004. De plus, huit étalons de 1 kg en acier inoxydable ont été étalonnés à la demande de laboratoires nationaux de métrologie. Trois d'entre eux étaient nouveaux et il a été nécessaire de déterminer leur volume. À ce moment-là, un problème sérieux, mais subtil, a été identifié dans le laboratoire d'étalonnage, occasionnant une perturbation majeure de notre service. Bien qu'aucun résultat d'étalonnage n'ait été compromis, notre travail habituel a été suspendu pour plusieurs mois afin de pouvoir étudier et résoudre le problème. Des moyens ont été mis en œuvre pour rétablir la confiance dans nos mesures, une fois le problème résolu. Une partie du travail qui a été remis à plus tard pendant cet épisode concerne l'étalonnage périodique des étalons de travail du BIPM par comparaison au prototype de 1 kg n° 25, que nous réservons à un usage exceptionnel. Ce réétalonnage touche maintenant à sa fin.

Le Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées (CCM) s'est réuni en avril 2005. Le travail de la section des masses du BIPM a contribué aux activités du CCM à plusieurs titres : un article sur la teneur en argon dans l'atmosphère est paru dans *Metrologia* ; il a déjà été téléchargé plus de 500 fois. Ce travail est fondé sur de nouvelles mesures, réalisées au KRISS, ainsi que sur un nouvel examen critique de toutes les données disponibles, effectuées par les sections des masses et de chimie du BIPM. Un autre article de *Metrologia*, écrit en collaboration avec la PTB, décrit les déterminations directes de la masse volumique de l'air ambiant ; il a déjà été téléchargé plus de 200 fois. Le CCM a décidé que ces articles constituent le fondement technique d'une révision à venir de la formule pour la détermination de l'air humide CIPM-81/91. Ce travail a déjà été utile pour effectuer la détermination des masses de sphères de 1 kg en monocristal de silicium, dans le cadre de notre participation au programme international de coordination Avogadro et au Groupe de travail du CCM sur la constante d'Avogadro (IAC/CCM-WGAC). Un travail supplémentaire a été effectué sur les variations de masse, en fonction de la pression, entre l'atmosphère et le vide, dues à la physisorption et à la désorption. Les techniques mises au

point dans ce domaine dans le cadre du projet IAC/CCM-WGAC sont aussi applicables à l'expérience de balance du watt.

Des progrès considérables ont été réalisés pour rétablir le service d'étalonnage interne de mesures des pressions voisines de la pression atmosphérique, suite à la panne du manobaromètre à mercure du BIPM et de son remplacement par une balance de pression de haute qualité.

Temps : Depuis janvier 2005, les incertitudes des valeurs de $[UTC - UTC(k)]$ sont publiées dans la *Circulaire T*. Cette date est aussi celle de la première publication dans la KCDB des résultats de la comparaison clé CCTF-K2001.UTC. Ceux-ci sont mis à jour chaque mois après la publication de la *Circulaire T*. La stabilité à moyen terme du TAI, exprimée sous forme de l'écart-type d'Allan relatif, est estimée à environ $0,4 \times 10^{-15}$ pour des durées moyennes de un mois. L'exactitude du TAI est fondée sur huit étalons primaires de fréquence qui comprennent, à présent, quatre fontaines de césium (IEN CSF1, LNE-SYRTE FO2, NIST-F1, et NPL CSF). Suite à la recommandation du CCTF, une correction relative de fréquence de l'ordre de $0,7 \times 10^{-15}$ est appliquée chaque mois pour piloter la fréquence du TAI. Depuis juillet 2004, l'échelle unitaire de temps du TAI correspond, selon nos estimations, à la seconde du SI à 2×10^{-15} près.

Une part importante de l'activité de la section du temps est consacrée à l'étude des comparaisons de temps et de fréquence au moyen de systèmes satellitaires de navigation globale. La technique des observations simultanées des satellites du GPS au moyen de récepteurs à une ou deux fréquences et celle des liaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite sont couramment utilisées pour le calcul du TAI. L'incorporation des mesures obtenues avec des récepteurs géodésiques à deux fréquences et des observations des comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite effectuées plusieurs fois par jour a réduit l'incertitude de certaines liaisons horaires au niveau, voire en dessous, de la nanoseconde. Des programmes d'étalonnage des récepteurs du GPS ont été organisés et effectués par la section du temps ; à l'heure actuelle, plus de 50 % des récepteurs qui fournissent des données pour le calcul du TAI ont été étalonnés.

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

dédié maintenu au BIPM. D'autres activités de recherche concernent les pulsars, les projets d'utilisation d'horloges dans l'espace et l'interférométrie atomique.

Dans le cadre des activités du Conventions Product Centre de l'IERS, un scientifique a été mis à la disposition du BIPM, M. Jim Ray (US National Geodetic Survey), jusqu'au 31 août 2004.

Électricité : La formation des nouveaux membres de la section (qui ont été transférés de la section de photométrie et radiométrie) aux domaines de la métrologie des tensions et de l'impédance était hautement prioritaire cette année. Un des nouveaux membres est déjà capable d'effectuer des mesures au moyen des étalons de tension de Josephson et est qualifié, selon notre Système Qualité, pour les utiliser afin d'étalonner les autres étalons de tension. Un second membre du personnel apprend à faire fonctionner les étalons du BIPM à effet Hall quantique et est déjà qualifié pour étalonner les étalons de capacité. Suite à la réponse enthousiaste au questionnaire de l'an dernier sur d'éventuelles prochaines comparaisons sur site d'étalons de Josephson, auquel 33 des 35 spécialistes interrogés ont répondu favorablement, nous avons effectué de nouvelles comparaisons avec le NPL et le NRC et nous avons programmé quatre autres comparaisons en 2005. En même temps, nous avons progressé sur deux projets : la mise en œuvre d'équipements entièrement automatisés pour l'étalonnage d'étalons de tension de 1,018 V et d'un étalon de Josephson compact, facile à transporter. Notre participation à la comparaison clé régionale EUROMET.EM.BIPM-K10.a a permis d'en relier les résultats à ceux de l'étalon de Josephson du BIPM qui a servi de valeur de référence de la comparaison clé internationale. Dans le domaine de la métrologie des résistances, nous avons nettement amélioré la sensibilité du pont de notre comparateur cryogénique de courant en remplaçant l'ancien SQUID à radiofréquence par un SQUID en courant continu. Dans le domaine de la métrologie des capacités, nous avons mené à bien de délicates modifications de quatre de nos condensateurs en silice fondue afin de réduire les capacités de fuites à des niveaux négligeables et nous avons fini la construction de l'équipement destiné à mesurer avec exactitude la capacité de l'étalon de 1 pF par comparaison au futur condensateur calculable du BIPM. Les activités sur la caractérisation du bruit des mesures de tension en courant continu à polarité inversée sont terminées et ont fait l'objet d'une publication. Outre le fait de démontrer que l'inversion de polarité d'une source de tension ayant un niveau élevé de bruit en $1/f$ ne supprime pas ce type de bruit, nous avons démontré que le modèle de bruit des étalons de tension à diode de Zener comprend du bruit blanc de niveau étonnamment élevé en plus du bruit en $1/f$. Notre projet commun avec le NIST sur la caractérisation du bruit des mesures précises en courant

continu a été mené à bien et les résultats ont été publiés. Ce travail triple le nombre des étalons à diodes de Zener dont les caractéristiques de bruit sont maintenant bien connues. En complément à ce travail, nous avons étudié le bruit quantique dû à la résolution des voltmètres numériques. D'après notre analyse des mesures de tension, les écarts d'Allan diminuent souvent en dessous des valeurs prédites par les modèles simples habituels de quantification du bruit. Plus généralement, à propos de l'analyse des séries temporelles, nous travaillons avec la section de chimie sur les applications de la variance d'Allan et des méthodes utilisant les fonctions d'auto-corrélation à la caractérisation du bruit des mesures de concentration molaire. Nous travaillons aussi sur la caractérisation et la conception expérimentale de plusieurs procédures de routine utilisées au BIPM pour les mesures de la constante gravitationnelle newtonienne. Certains membres de la section d'électricité continuent certaines activités en thermométrie à temps partiel. Le BIPM, laboratoire pilote de la comparaison clé CCT-K7 de cellules à point triple de l'eau, a identifié une différence significative du point de vue statistique entre les résultats des participants qui ont appliqué des corrections pour la composition isotopique de l'eau de leurs cellules et ceux qui ne l'ont pas fait. Ceci a conduit le CCT à recommander l'ajout à la définition du kelvin d'une déclaration sur la composition isotopique de l'eau des cellules à point triple de l'eau. Afin d'alléger la charge de travail associée aux étalonnages de thermomètres pour les autres sections du BIPM, il a été décidé de restreindre les étalonnages du BIPM aux thermomètres à résistance de platine utilisés à des températures proches de la température ambiante et pour lesquels il est nécessaire d'avoir une exactitude élevée ; les autres étalonnages de thermomètres sont maintenant effectués à l'extérieur.

Condensateur calculable : L'atelier du BIPM poursuit la fabrication de composants pour les deux condensateurs calculables mis au point dans le cadre du projet réalisé en collaboration avec le NMIA. Pour ce travail, un ressort complexe à déplacement parallèle a été fabriqué, en utilisant des techniques d'électroérosion. Le dispositif servant à mesurer la rectitude des barres constituant les électrodes, dont certaines parties avaient été fabriquées durant la période couverte par le précédent rapport, a été assemblé et automatisé au NMIA et est maintenant couramment utilisé. Le NRC a signé récemment un contrat avec le NMIA pour obtenir les composants critiques du condensateur ; certains d'entre eux seront fournis par le BIPM. Des progrès significatifs ont été réalisés sur le pont de capacité pour l'étalonnage des étalons de capacité de 1 pF par rapport au condensateur calculable. Tous les éléments ont été construits et il a été montré que les rapports du diviseur peuvent être étalonnés au niveau de 1×10^{-9} . Un prototype du laser à utiliser pour l'interférométrie a été modifié pour répondre aux exigences de cette

application. Nous nous préparons actuellement à tester expérimentalement l'interféromètre Perot-Fabry dont la conception a été proposée par nos collègues du NMIA.

Balance du watt : Pendant l'année passée, nous avons poursuivi le développement de notre balance du watt conçue pour permettre une utilisation simultanée en mode pesée et en mode mobile ; nous avons commencé à assembler les premiers éléments à la température ambiante. Nous avons poursuivi l'idée d'un circuit magnétique hautement symétrique et fermé, en consultation avec une société extérieure. Les calculs par la méthode des éléments finis de la distribution du flux magnétique, effectués au BIPM, ont été confirmés. La géométrie que nous avons initialement proposée a été optimisée pour obtenir une uniformité bien meilleure du champ magnétique dans l'entrefer. Nous n'avons identifié aucune difficulté fondamentale avec la forme choisie du circuit magnétique. Parallèlement à ce travail, qui devrait déboucher sur la disponibilité d'un aimant de haute qualité au BIPM en 2006, nous avons commencé à construire un aimant simplifié, avec l'aide de l'atelier du BIPM, afin de tester dès que possible certains des autres éléments. L'utilisation d'un moteur électrostatique pour déplacer la bobine dans le champ magnétique a été étudié par simulation numérique. Une suspension de balance équipée de ce moteur a été fabriquée. La suspension comprend plusieurs rubans flexibles afin d'éviter les frottements. Une source de courant stable précédemment utilisée pour l'étalonnage d'étalons de tension à diode de Zener a été modifiée ; elle fournit maintenant un courant de 1 mA avec une stabilité d'environ 1×10^{-7} . Ceci est suffisant pour alimenter la bobine mobile dans le cas des essais à température ambiante.

Rayonnements ionisants : Nous avons terminé les déterminations expérimentales et les calculs de Monte Carlo des facteurs de correction pour les faisceaux de ^{60}Co et un article sur la nouvelle détermination du kerma dans l'air au BIPM sera soumis pour publication dans une revue à comité de lecture. Cette nouvelle détermination a été discutée pendant un atelier sur les incertitudes en dosimétrie, organisé par le BIPM en mai 2005, auquel ont participé vingt-cinq experts extérieurs venant de dix-huit laboratoires nationaux de métrologie. Le CCRI a accepté en principe les modifications qui en résultent ; il est probable qu'elles soient appliquées dès 2007. Les comparaisons de spectrométrie Compton fondées sur les rayons x, qui comprennent des expériences et des calculs de Monte Carlo, progressent de manière satisfaisante, mais il reste des anomalies à résoudre aux plus basses énergies avant de confirmer les spectres de mammographie pour les comparaisons de dosimétrie. La mesure exacte de la capacité thermique spécifique a été automatisée et est appliquée à des échantillons d'essai de saphir et de graphite, puis le calorimètre étalon prototype en graphite pour la

dose absorbée sera conçu et construit. Suite à l'analyse des résultats des comparaisons des étalons de dose absorbée, les résultats de onze laboratoires nationaux de métrologie sont publiés dans la KCDB. Trois nouvelles comparaisons de dosimétrie ont été effectuées et dix-sept étalons nationaux secondaires ont été étalonnés. Un audit interne du Système Qualité pour les étalonnages a été réalisé avec succès.

Dix-huit laboratoires ont participé à l'atelier sur les comparaisons clés de mesures d'activité qui s'est tenu en novembre 2004. Les sept comparaisons les plus récentes ont été discutées et les recommandations sur les mesures d'activité qui en ont résulté ont été présentées au CCRI en mai 2005. Deux autres comparaisons clés ont été menées à terme récemment. Le projet A de rapport de la comparaison de ^{125}I est en circulation et les résultats de la comparaison de ^{32}P devraient nous parvenir prochainement. Les équipements pour les mesures de radionucléides du BIPM, en particulier l'électronique, ont été mis à niveau et les équipements de pesée ont été améliorés pour faire face à l'augmentation de la charge de travail. Le CCRI a décidé de grouper les radionucléides par catégorie afin de réduire le nombre de comparaisons clés de la Section II du CCRI de trois à une par an en moyenne pour les dix prochaines années. Ceci, et la participation des laboratoires nationaux de métrologie aux comparaisons en continu du BIPM dans le cadre du Système international de référence (SIR), permet de couvrir tous les radionucléides concernés par les CMCs. En plus de plusieurs ampoules couvrant les comparaisons de la Section II du CCRI, neuf laboratoires ont soumis douze radionucléides différents au SIR cette année. Au cours des douze derniers mois, douze rapports de comparaisons du SIR ont été publiés. Nous avons maintenant publié tous les résultats antérieurs à 2004 ; les résultats de 2004 ont été analysés et les projets A ou B de rapports sont en circulation. Les niveaux d'activité des impuretés de cinq radionucléides soumis pour diverses comparaisons ont été mesurés au moyen du spectromètre gamma Ge(Li) du BIPM. La collaboration avec le NPL sur les courbes d'efficacité du SIR a permis de mettre au point un modèle mathématique avec des incertitudes réduites pour l'estimation de la réponse aux impuretés radioactives et par conséquent pour les valeurs de référence des comparaisons clés.

Chimie : La section de chimie met en œuvre des programmes de laboratoire et coordonne des comparaisons internationales dans les domaines de l'analyse des gaz (étalons de mesure de la qualité de l'air) et de l'analyse organique (appareils d'étalonnage primaire pour la médecine de laboratoire). La section assure le secrétariat du JCTLM et coordonne la base de données du JCTLM sur les matériaux de référence certifiés de rang hiérarchique supérieur et les procédures de mesure de référence.

Le BIPM coordonne la comparaison d'étalons de référence mesureurs d'ozone (CCQM-P28) ; les mesures de cette comparaison ont été achevées en mars 2005. Cette comparaison a permis de déterminer les degrés d'équivalence de 23 étalons de référence par rapport aux étalons conservés au BIPM ; elle sera suivie d'une comparaison clé en continu (BIPM.QM-K1). La collaboration avec le BAM sur le traitement statistique des données de la comparaison d'ozone s'est poursuivie et a conduit à la mise au point du programme OzonE. L'étude des écarts systématiques et des incertitudes de mesure des photomètres de référence étalons est terminée, et un nouveau bilan d'incertitude des instruments sera publié en collaboration avec le NIST. Une étude de faisabilité a démontré l'avantage d'introduire une source de lumière laser dans le photomètre de référence étalon et un programme visant à mettre au point un éventuel photomètre primaire mesureur d'ozone fondé sur une source de lumière laser a débuté. Un dispositif pour le titrage en phase gazeuse destiné aux mesures de concentration d'ozone a été modifié ; ses performances et son incertitude de mesure ont été améliorées. Le système a été utilisé dans l'étude CCQM-P28, produisant un résultat cohérent avec celui d'un autre équipement, indépendamment, pour le titrage en phase gazeuse, mais montrant un écart par rapport aux mesures effectuées avec le photomètre mesureur d'ozone. La source de cet écart sera étudiée dans un programme futur.

L'équipement pour l'étalon primaire de mesure des gaz du BIPM, servant à la préparation dynamique des étalons de dioxyde d'azote dans le domaine compris entre $0,5 \mu\text{mol/mol}$ et $10 \mu\text{mol/mol}$ a été automatisé et asservi par ordinateur. Un module d'échantillonnage des mélanges de gaz est en construction ; il permettra de comparer des mélanges de gaz de référence contenant du NO_2 préparés statiquement par la méthode gravimétrique (dans des cylindres) aux mélanges de référence générés de manière dynamique par notre équipement.

Une étude de faisabilité concernant les comparaisons de haute exactitude d'étalons de monoxyde d'azote est terminée ; elle a été présentée au Groupe de travail du CCQM sur l'analyse des gaz. Une comparaison coordonnée par le BIPM (CCQM-P73) d'étalons de monoxyde d'azote de douze laboratoires nationaux de métrologie devrait débiter d'ici la fin de l'année.

Le BIPM coordonne la série des comparaisons CCQM-P20 d'analyse de pureté de substance organique. Deux comparaisons sont déjà approuvées par le CCQM : CCQM-P20.e pour la théophylline et CCQM-P20.f pour la digoxine. Les substances à étudier ont été considérées comme prioritaires compte tenu des programmes en cours du CCQM et du JCTLM et des exigences actuelles dans le domaine de la médecine de laboratoire. Des recherches sont aussi entreprises sur l'extension de cette série de

comparaisons aux hormones stéroïdes importantes du point de vue clinique comme la progestérone, le β -estradiol et la testostérone. Deux scientifiques et un technicien ont été recrutés dans la section, et des équipements de laboratoire ont été installés pour étayer les activités en cours dans ce domaine, y compris des possibilités d'analyse par chromatographie liquide avec spectrométrie de masse, par chromatographie gazeuse avec spectrométrie de masse, par chromatographie gazeuse avec détection par ionisation de flamme, et par analyse calorimétrique différentielle, ainsi que par titrage de Karl Fischer et par analyse thermogravimétrique.

Des collaborations pour mettre au point des méthodes de détermination de la pureté pour le contrôle des substances à usage thérapeutique et des hormones stéroïdes ont été établies avec le LGC et le NMIJ, respectivement. Des échantillons de théophylline et de digoxine ont été préparés par le LGC ; ils seront transférés au BIPM. Le NMIJ a produit des échantillons de 200 g de testostérone, de progestérone et de β -estradiol. Les analyses initiales de chacun de ces matériaux ont été effectuées au NMIJ ; elles se poursuivront au BIPM.

La section de chimie assure le secrétariat du JCTLM. La deuxième réunion du comité exécutif du JCTLM s'est tenue au BIPM en décembre 2004 ; elle a été suivie des réunions du Groupe de travail 1 du JCTLM (Review Team Leaders), des membres du JCTLM et des décideurs, et d'un atelier sur les systèmes de mesure de référence pour les matériaux biologiques. Un manuel qualité donnant les procédures utilisées pour l'examen des matériaux et pour les méthodes de publication dans la base de données du JCTLM a été rédigé, ainsi qu'une deuxième liste de « matériaux de rang hiérarchique supérieur et de procédures de mesures ». Les listes seront transformées en une base de données interrogeable sur le Web : le cahier des charges est terminé et l'élaboration de la base commencera au début de l'année 2006.

1.2 Publications, conférences et voyages du directeur

1.2.1 Publications extérieures

1. Wallard A.J., News from the BIPM – 2004, *Metrologia*, 2005, **42**, 59-66.
2. Wallard A., BIPM Report, *NCSLI Newsletter*, 2005, **45**(2), 19-20.
3. Wallard A.J., Editorial: *La Convention du Mètre : 130 ans seulement / The Metre Convention – 130 years young*, *La Lettre Diplomatique*, 2004, **67**, 1-6.

1.2.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

A.J. Wallard s'est rendu à :

- Londres (Royaume-Uni), les 1^{er} et 2 juillet 2004, pour le discours de clôture de la CPEM ;
- Salt Lake City (États-Unis), du 10 au 15 juillet 2004, pour le NCSLI Board of Management et pour des présentations à la Conférence NCSLI ;
- Londres (Royaume-Uni), le 22 juillet 2004, pour une réunion du conseil de l'IOP ;
- Genève (Suisse), les 28 et 29 juillet 2004, pour les réunions du comité technique 21 de l'ISO, du Groupe de travail 5 et de l'ISO CASCO ;
- Londres (Royaume-Uni), les 14 et 15 septembre 2004, pour une réunion sur la métrologie des matériaux au NPL et pour l'IOP Membership and Qualifications Board ;
- Paris (France), le 22 septembre 2004, pour un discours à l'occasion de la célébration du 50^e anniversaire du BNM (qui est devenu le LNE) ;
- Beijing (Chine), du 17 au 22 octobre 2004, pour l'assemblée générale de l'APMP ;
- Isla Margarita (Venezuela), du 2 au 7 novembre 2004, pour l'assemblée générale du SIM ;
- Los Angeles (États-Unis), du 21 au 25 janvier 2005, pour le NCSLI Board of Management ;
- Londres (Royaume-Uni), les 14 et 15 février 2005, pour assister au Royal Society Scientific Discussion meeting on « The fundamental constants of physics, precision measurements and the base units of the SI » ;
- Londres (Royaume-Uni), les 1^{er} et 2 mars et le 21 avril 2005, pour présider l'Institute of Physics Membership and Qualifications Board ;
- Londres (Royaume-Uni), les 19 et 20 avril 2005, pour une présentation à la conférence internationale du CCM « International Metrology and Trade » au NPL ;
- Minsk (Biélorus), les 11 et 12 mai 2005, pour la 14^e réunion du JCRB et pour une présentation au symposium sur la métrologie au Biélorus ;
- Sofia (Bulgarie), du 24 au 26 mai 2005, pour une réunion de l'EUROMET ;
- Braunschweig (Allemagne), du 29 au 31 mai 2005, pour une réunion du bureau du CIPM.

1.3 Activités du directeur en liaison avec des organisations extérieures

Le directeur est membre du conseil scientifique de l'IMGC et de l'IEN, Turin ; il a pris la suite de M. Quinn comme membre de l'Interdivisional Committee on Terminology, Nomenclature and Symbols de l'Union internationale de chimie pure et appliquée ; il est membre de la Commission C2 « Symbols, units, nomenclature, atomic masses and fundamental constants » de l'Union internationale de physique pure et appliquée. Il est membre du conseil de l'université du Pays de Galles à Aberystwyth et professeur associé de l'Institute of Mathematics and Physical Sciences ; vice-président chargé du Membership and Qualifications de l'Institute of Physics (IOP, Royaume-Uni), membre du conseil de l'IOP, président du « Membership and Qualifications Board » et membre du « Professional Standards Committee » ; membre du conseil de la National Conference of Standards Laboratories International (NCSLI) ; membre de l'Académie des sciences de Turin. Il remplace M. Quinn comme président du comité scientifique de NEWRAD, du JCRB et du JCGM.

2 LONGUEURS (A.J. WALLARD)

2.1 Travaux sur le peigne (L.-S. Ma, L. Robertsson et M. Zucco)

Le deuxième peigne de fréquences a été amélioré et finalisé. Ce système avait été précédemment vérifié et comparé à notre premier peigne ; il est maintenant utilisé pour des mesures absolues de fréquence, par exemple, sur l'un des lasers de référence à 633 nm du BIPM.

Des mesures ayant pour but de vérifier les limites ultimes de cette technique ont débuté en collaboration avec le NIST et l'East China Normal University (ECNU) et ont été publiées l'an passé dans *Science*. Ces essais ont été poursuivis en collaboration avec le NIST.

Un dispositif d'auto-référencement pour le contrôle du décalage de fréquence de l'enveloppe de la porteuse a été mis au point en collaboration avec l'ECNU. Dans ce dispositif, la partie infrarouge du spectre du peigne est doublée en fréquence dans un cristal non-linéaire à structure périodique. Un tel cristal permet une synchronisation parfaite entre le vert et les pulsations de la fréquence doublée par cohérence de phase dans le cristal. De plus,

l'absence de décalage spatial dans cette procédure de doublage de la fréquence assure l'alignement entre les deux faisceaux. Ce dispositif peut être utilisé pour fabriquer des systèmes à peigne encore plus compacts.

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

Les mesures absolues de fréquence sont essentiellement organisées dans le cadre de la nouvelle comparaison clé, BIPM.L-K11 (K11) qui a été initiée par le CCL lors de sa 11^e session en 2003. La comparaison clé K11 sert aujourd'hui de pivot à la mise en pratique de la définition du mètre. La méthode prescrite dans la mise en pratique, associée à la précédente comparaison clé BIPM.L-K10, assure la traçabilité à la valeur recommandée, dans les limites d'une incertitude de 10 kHz. Pour la comparaison K11, l'incertitude de chaque laser est estimée individuellement et il n'est pas nécessaire d'inclure une estimation des décalages dus aux impuretés de la cuve à iode. Par conséquent, les réalisations nationales individuelles du mètre mesurées dans K11 ont une incertitude réduite typiquement d'un facteur 5.

Pendant l'année passée, deux campagnes d'étalonnage ont été effectuées en novembre 2004 et en mai 2005 ; dix lasers appartenant au DFM (Danemark), à l'EIM (Grèce), à l'INM (Roumanie), au LNE (France), au NIM (Chine), au NMi (Pays-Bas), au SMU (Slovaquie) et au SP (Suède) ont été étudiés. De plus une comparaison régionale, APMP.L-K11, a eu lieu à Beijing ; les mesures de huit lasers ayant participé à cette comparaison peuvent maintenant être reliées aux résultats de la comparaison clé BIPM.L-K11 par mesure absolue de fréquence. En tout, ceci correspond à dix-huit lasers dont la fréquence a été mesurée, sur une période de douze mois.

Outre le fait de fournir une incertitude de mesure plus faible, K11 permet de valider plus souvent les étalons primaires nationaux de longueur d'onde. La facilité et la manière directe de relier les comparaisons régionales à la comparaison clé BIPM.L-K11 offrent un moyen de répéter les étalonnages de lasers que l'on suspecte de problèmes techniques. Ceci renforce la confiance dans les réalisations nationales du mètre. De plus, la redondance dans le réseau de mesures permet une vérification de la cohérence des fréquences laser et des estimations d'incertitude, ce qui peut ensuite aider à affiner le bilan d'incertitude de ces étalons.

2.3 Lasers étalons à 633 nm et à 532 nm (L.-S. Ma, L. Robertsson et M. Zucco)

Depuis l'introduction des mesures absolues de fréquence au BIPM, le travail direct sur les lasers étalons est réduit à la maintenance. Toutefois, les étalons à 633 nm et à 532 nm restent nécessaires, en complément des mesures de la comparaison BIPM.L-K11 et pour la vérification de la qualité des cuves à iode fabriquées au BIPM.

Pour certaines applications, les cuves à iode plus longues présentent des avantages. Une cuve de 1,80 m de longueur a été fabriquée pendant l'année et elle a été vérifiée en utilisant le laser de référence à Nd:YAG, C. Pour cette longue cuve, on a estimé la stabilité de la fréquence laser à environ 3×10^{-14} pour une durée moyenne d'une seconde d'après les mesures du signal sur bruit et la largeur de la raie de transition.

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

Nous recevons une demande continue et soutenue pour fournir des cuves à iode aux laboratoires nationaux de métrologie et à d'autres laboratoires ; elles sont utilisées dans des lasers asservis et pour la spectroscopie. Cette année, nous avons vendu en tout 24 cuves à iode. Les problèmes techniques pour l'assemblage, la soudure et le remplissage de la cuve longue de 1,80 m ont finalement été résolus et cette cuve est maintenant utilisée dans l'étalon à Nd:YAG. Certains laboratoires nationaux de métrologie ont montré leur intérêt pour l'utilisation de cette cuve longue dans leurs étalons à Nd:YAG. Certaines améliorations apportées aux systèmes à vide sont terminées ; d'autres sont à l'étude et devraient être achevées l'année prochaine.

2.5 Lasers à He-Ne asservis sur le méthane à $\lambda \approx 3,39 \mu\text{m}$ en cuve interne et externe (R. Felder ; D. Rotrou)

2.5.1 Maintenance des lasers

La construction et l'étude de tubes laser à hélium-néon et de cuves à méthane est fondamentale pour la maintenance de nos systèmes. Cependant, certaines étapes du processus doivent être réalisées par une société extérieure : c'est le cas pour la mise en place des fenêtres par adhérence moléculaire. À cet effet, plusieurs verreries ont été livrées à une société l'an dernier, mais en raison de difficultés dans la procédure de découpe et de polissage des embouts, nous n'avons toujours pas reçu ces verreries de tubes laser afin de les remplir.

Un dispositif spécial pour le remplissage des tubes laser a été mis au point. En contrôlant la fréquence de battement entre un laser asservi sur le méthane

et le tube laser que l'on remplit, on devrait être capable de minimiser le décalage de la fréquence parasite émise par un laser à deux modes, décalage dû à l'effet de lentille dans le milieu amplificateur.

2.5.2 Mesure de la fréquence absolue du laser de référence BIDM1

Le but de ce projet est de nous permettre d'étalonner les étalons de fréquence à 3,39 μm des laboratoires nationaux de métrologie par rapport à notre peigne.

Le dispositif comprend deux lasers à deux modes indépendants et un laser conventionnel, VB, utilisé dans des expériences précédentes, ainsi qu'un laser hétérodyne puissant pour injection dans la fibre optique qui connecte ce dispositif au peigne du BIPM. Huit lasers doivent être maintenus en bon état de marche. Cependant, en raison des difficultés de fabrication mentionnées précédemment, le laser hétérodyne et le laser de référence à deux modes conçus pour faire fonctionner de manière indépendante le second laser télescopique à deux modes (Tel-100) sont toujours en construction.

2.6 Métrologie dimensionnelle (L.F. Vitushkin et O.A. Orlov*)

2.6.1 Diffractomètre laser interférentiel

Un nouveau laser argon-ion a été installé dans le diffractomètre interférentiel à laser.

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

Un laser compact modifié Nd:YVO₄/KTP à 532 nm à l'état solide, asservi sur l'iode au moyen du troisième harmonique, est en cours d'étude au BIPM. La stabilité de fréquence est caractérisée par des valeurs de l'écart-type d'Allan de 2×10^{-12} , 1×10^{-13} et 3×10^{-14} pour des durées moyennes de 0,1 s, 10 s et 100 s, respectivement. Les essais du laser Yb:KKG/KTP/I₂ à 515 nm se poursuivent au BIPM. Le rayonnement à un seul mode et à une seule fréquence a été obtenu à 515 nm et la structure hyperfine des raies du spectre de l'iode à proximité de 515 nm a été observée.

Des lasers ainsi conçus seront utilisés pour les projets sur le condensateur calculable et la balance du watt.

* VNIIM.

2.7 Gravimétrie (L.F. Vitushkin, V. Nalivaev* et O. Orlov*)

2.7.1 Gravimétrie absolue

Des mesures périodiques de l'accélération en chute libre g au site A du BIPM ont été effectuées environ toutes les deux semaines au moyen du gravimètre absolu FG5-108. La valeur moyenne de g obtenue lors des mesures faites entre mai 2004 et mai 2005 coïncide, dans les limites de l'incertitude de mesure, à la valeur moyenne de g obtenue lors des mesures faites entre 1997 et 2001, ce qui démontre la stabilité de l'environnement de référence au BIPM.

De plus, plusieurs améliorations ont été apportées aux systèmes du BIPM :

- la conception d'un nouveau mécanisme de chute pour un gravimètre absolu balistique progresse en collaboration avec l'Institut de métrologie D.I. Mendéleev (VNIIM) ;
- les premiers essais du nouveau système de mesure du temps de chute du corps en chute libre ont été réalisés ; et
- le système optique de l'interféromètre du gravimètre FG5-108 a été modifié en utilisant le laser compact Nd:YVO₄/KTP/I₂ à 532 nm en même temps que le laser à hélium-néon asservi sur l'iode à 633 nm. Le circuit électronique de photodétection à sortie TTL et analogique de l'interféromètre du gravimètre FG5-108 à 532 nm a été mis au point et étudié.

2.7.2 Étude de l'influence de l'instabilité de fréquence à court terme sur la mesure de l'accélération en chute libre au moyen du gravimètre absolu (L.F. Vitushkin et M. Zucco, G. D'Agostino** et O. Orlov*)

La stabilité à court terme du laser à He-Ne/I₂ à 633 nm et celle du laser compact à Nd:YVO₄/KTP/I₂ à 532 nm ont été mesurées pour des durées moyennes de 1 ms à 1 s. Nous avons observé que la fréquence du laser à 532 nm est beaucoup plus stable à court terme que celle du laser à He-Ne à 633 nm.

Une simulation mathématique de l'influence de l'instabilité de fréquence sur les mesures de g obtenues avec le gravimètre absolu a été effectuée au moyen du logiciel mis au point à l'IMGC pour le gravimètre à trajet symétrique et modifié pour les gravimètres à chute libre. La méthode des moindres carrés a permis d'estimer les résidus par rapport au chemin moyen parcouru par le corps en chute libre en faisant varier la longueur d'onde du rayonnement

* VNIIM.

** IMGC.

laser pendant la chute. Les variations de longueur d'onde ont été simulées pour correspondre aux caractéristiques du bruit de fréquence du laser. Des simulations préliminaires donnent des résidus qui correspondent à ceux observés dans les mesures faites au moyen du gravimètre FG5-108 avec le laser à He-Ne asservi sur l'iode à 633 nm.

2.7.3 Septième comparaison internationale de gravimètres absolus (responsable : L.F. Vitushkin, coordinateur des mesures relatives : Z. Jiang)

Nous préparons actuellement la 7^e comparaison internationale de gravimètres absolus (ICAG-2005) au BIPM. Pour la première fois, le protocole technique de ICAG-2005 a été préparé en collaboration avec le groupe de discussion sur le protocole technique du Groupe de travail du CCM sur la gravimétrie.

Deux nouveaux sites, C1 et C2, pour les mesures relatives et absolues de g , ont été construits dans le jardin du BIPM. La différence de 9 mGal des valeurs de g à ces sites nous permettra d'étalonner les gravimètres relatifs.

Un nouveau logiciel, 'Gsoft', pour ajuster les résultats combinés des mesures absolues et relatives lors de ICAG-2005 a été mis au point par Z. Jiang. Ce logiciel offre un moyen flexible pour réaliser les diverses stratégies de mesure et pour la comparaison des données des différents gravimètres.

2.8 Publications, conférences et voyages : section des longueurs

2.8.1 Publications extérieures

1. Felder R., Practical realization of the definition of the metre, including recommended radiations of other optical frequency standards (2003), *Metrologia*, 2005, **42**, 323-325.
2. Jiang Y., Bi Z., Robertsson L., Ma L.-S., A collinear self-referencing set-up for control of the carrier-envelope offset frequency in Ti: sapphire femtosecond laser frequency combs, *Metrologia*, 2005, **42**, 304-307.
3. Ma L.-S., Bi Z., Bartels A., Robertsson L., Zucco M., Windeler R., Wilpers G., Oates C., Hollberg L., Diddams S., International comparisons of femtosecond laser frequency combs, *IEEE Trans. Instr. Meas.*, 2005, **54**, 746-749.
4. Ma L.-S., Bi Z., Bartels A., Robertsson L., Zucco M., Windeler R., Wilpers G., Oates C., Hollberg L., Diddams S., Femtosecond Laser Optical Frequency Synthesizers with Uncertainty at the 10^{-19} Level,

- Proc. 14th Int. Conf. Ultrafast Phenomena* (Niigata, Japon, 25-30 juillet 2004), Springer, 2005, 837-839.
5. Mücke O.D., Kuzucu O., Wong F.N.C., Ippen E.P., Kärtner F.X., Foreman S.M., Jones D.J., Ma L.-S., Hall J. L., Ye J., Experimental implementation of optical clockwork without carrier-envelope phase control, *Opt. Lett.*, 2004, **29**, 2806-2808.
 6. Notcutt M., Hall J.L., Ma L.-S., Ludlow A., Ye J., Simple and compact Hz-level linewidth laser system via improved mounting configuration of a reference cavity, CLEO (22-27 mai 2005, Baltimore, États-Unis) (CD-Rom).
 7. Vitushkin L.F., Orlov O., A compact frequency-stabilized Nd:YVO₄/KTP/I₂ laser at 532 nm for laser interferometry and wavelength standards, *SPIE Proc.*, 2005, **5865**, 281-286.
 8. Vitushkin L.F., Current status and perspectives in development of instrumentation and metrology in absolute gravimetry, *Abstracts of the Conference "Fundamental and applied time-coordinates measurements. KVO-2005"* (11-15 avril 2005, Saint-Pétersbourg, Féd. de Russie), Institute for Applied Astronomy, 2005, 131-132.

Le rapport de la 11^e session du Comité consultatif des longueurs est publié sur le site Web du BIPM. La liste des radiations recommandées de la mise en pratique de la définition du mètre a été spécialement réécrite afin de faciliter les mises à jour futures et a été placée sur le site Web du BIPM.

2.8.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

L.-S. Ma s'est rendu :

- au JILA, Boulder (États-Unis), conférence invitée : « Sub-hertz laser frequency stabilization », John Hall Symposium, 13-15 août 2004 ;
- à l'ECNU, Shanghai (Chine), mars 2005.

L.-S. Ma, L. Robertsson et M. Zucco se sont rendus à l'ESA (Pays-Bas), du 8 au 10 juin 2005, pour un atelier.

L. Robertsson s'est rendu au Cairngorms National Park (Écosse), du 19 au 24 juin 2005, pour l'International Conference on Laser Spectroscopy.

L.F. Vitushkin s'est rendu à :

- Moscou (Féd. de Russie), les 15 et 16 mars et le 7 avril 2005, pour des présentations sur la recherche et le développement des interféromètres laser pour la nanométrie, la gravimétrie absolue, et pour la mesure de la constante de gravitation ;

- Saint-Pétersbourg (Féd. de Russie), du 12 au 15 avril 2005, pour participer à la conférence « Fundamental and applied time-coordinates measurements. KVO-2005 ».

L.F. Vitushkin et Z. Jiang se sont rendus à l'IMGC, Turin (Italie), le 29 novembre 2004, pour participer à la réunion du comité d'organisation de l'ICAG-2005.

Z. Jiang s'est rendu à :

- Munich (Allemagne), les 14 et 15 septembre 2004, pour la réunion technique sur la campagne de mesures relatives d'ICAG-2005 à l'université du Bundeswehr ;
- Beijing (Chine), les 26 et 27 octobre 2004, pour des présentations au département de gravimétrie de l'Institut national de météorologie de Chine.

2.9 Activités liées au travail des Comités consultatifs

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

L.F. Vitushkin est président du Groupe de travail du CCM sur la gravimétrie et du groupe d'étude sur les comparaisons de gravimètres absolus de la Commission 2 « champ gravitationnel » de l'Association internationale de géodésie.

2.10 Visiteurs de la section des longueurs

- M. J.-L. Peng (CMS-ITRI), le 6 juillet 2004.
- M. H. Inaba (NMIJ/AIST), le 7 juillet 2004.
- MM. N. Nishimiya, K. Katoh et M. Suzuki (Tokyo Polytechnic University, Kanagawa, Japon), le 12 juillet 2004.
- M. L. Lorini (IEN), le 3 septembre 2004.
- M. L. Issaev (Rostekhnregulirovaniye de Russie, Moscou, Féd. de Russie), le 6 octobre 2004.
- MM. J.-P. Wallerand et T. Badr (LNE-INM), le 10 septembre 2004.
- M. G. Mana (IMGC), le 28 septembre 2004.
- M. Tai Hyun Yoon (KRISS), le 7 octobre 2004.
- M. S. van den Berg (NMi), le 15 novembre 2004.
- MM. R. Johansson et H. Skoogh (SP), le 22 novembre 2004.
- M. P. Plombin (Éts. Dumas, Noizay, France), le 24 janvier 2005.

- M. V. Melnikov (Président de la Russian Gravitation Society), le 2 février 2005, pour discuter des problèmes de mesure de la constante de gravitation.
- M. Y. Tomoda (Japan Academy, Tokyo, Japon), le 24 mars 2005, pour discuter des perspectives de progrès de la gravimétrie absolue.
- M. D. Rovera (LNE-SYRTE), le 21 avril 2005, pour des discussions sur les développements du peigne et les mesures de bruit.
- M. J. Posthumus (Toptica, Graefeling, Allemagne), le 12 mai 2005.
- MM. A. Duta, D. Boiciuc et D. Georgescur (INM), le 17 mai 2005.
- M. C. Bandis (EIM), le 23 mai 2005.
- MM. Yang Xuhai et Lu Xiaochun (NTSC et Académie des sciences chinoise), le 26 mai 2005.
- M. R. Fox (NIST), le 20 juin 2005.
- Mme M. Leseignoux et M. C. Deverdun (OSYRIS), M. J.-P. Moeglin (ISL), et M. A. Bartels (GigaOptics), les 22 et 23 juin 2005.
- MM. O. Acef, G. Crepin, S. Bize, M. Petersen, O. Tcherbakoff (LNE-SYRTE), le 23 juin 2005.
- M. R. Haleck (CEA), le 23 juin 2005.
- Mme T. Fortier (Los Alamos Res. Centre/NIST), le 27 juin 2005.

2.11 Chercheurs invités et étudiants

- M. G. D'Agostino (IMGC), du 15 septembre au 17 décembre 2004, pour participer aux recherches sur l'instabilité à court terme de la fréquence des lasers asservis sur l'iode à 532 nm et à 633 nm et son influence sur la mesure absolue de l'accélération en chute libre.
- M. O. Orlov (VNIIM), du 30 septembre au 17 décembre 2004, pour des recherches sur le laser à Nd:YVO₄/KTP/I₂ à 532 nm et sur le laser à Yb:KGW/KTP/I₂ à 515 nm.
- M. F. Dupont (BRGM), les 16 et 17 novembre 2004, pour des mesures avec le gravimètre relatif au site B.
- MM. Liu Xiuying, Liu Zhongyou et Qian Jin (NIM), du 25 novembre au 5 décembre 2004.
- M. P. Medvedev (Geophysical Centre of Russian Academy of Sciences, Moscou, Féd. de Russie), du 14 au 22 décembre 2004, pour des essais du logiciel « absGRAV » pour le gravimètre absolu.

- MM. J.-P. Wallerand et T. Badr (LNE-INM), le 7 février 2005, pour des mesures à 661 nm.
- MM. S. Bonvalot et G. Gabalda (IRD) ; MM. J. Verdun, T. Gattacceca et S. Deroussi (IGN) ; M. D. Van Westrum (Micro-g Solutions, États-Unis) ; MM. M. Diament et J. Ammann (IPGP), le 25 février et le 1^{er} mars 2005, pour des mesures aux sites du BIPM au moyen du gravimètre absolu A10-14.
- Mlle Yimei Liu (École nationale supérieure de physique de Strasbourg), du 7 mars au 19 septembre 2005.
- MM. J. Henningsen et J. Hald (DFM), R. Fira et P. Dorsic (SMU), du 23 au 28 mai 2005.
- MM. B. Kopacz et B. Pages (Compagnie générale de géophysique, France), le 24 mai 2005, pour des mesures avec le gravimètre relatif aux sites B, C1 et C2.

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

3.1 **Étalonnages**

(R.S. Davis et C. Goyon-Taillade ; P. Barat et J. Coarasa*)

Pendant l'année passée, nous avons émis des certificats pour les prototypes de 1 kg (en platine iridié) suivants : n° 80 (Thaïlande), n° 86 (Suède), n° 87 (Australie), n° 89 (Suisse) et n° 90 (Mexique). C'est la première fois que les prototypes n^{os} 86 à 90, de fabrication récente, sont étalonnés. De plus, les prototypes n^{os} 88 et 91 ont été attribués au BIPM et nous avons commencé à les utiliser comme étalons de travail.

Des certificats pour des étalons de 1 kg en acier inoxydable ont été émis pour : le METAS (deux), Mettler-Toledo GmbH (un, la demande a été transmise par le METAS), le NCM (un), le NIMT (trois) et le SPRING Singapour (un).

Un certificat de mesure de la susceptibilité magnétique d'un échantillon de métal a été émis pour le CEM. Nous rappelons que les propriétés magnétiques des étalons de 1 kg en acier inoxydable sont systématiquement

* À la retraite depuis le 1^{er} janvier 2005.

déterminées par le BIPM et sont présentées en annexe aux certificats d'étalonnage de masse. Toutefois, nous émettons aussi des certificats pour la mesure des propriétés magnétiques d'étalons destinés à être utilisés avec le susceptomètre du BIPM ou avec d'autres dispositifs similaires.

D'autres étalonnages, y compris ceux qui viennent étayer la future comparaison CCM.M-K4 dont nous sommes le laboratoire pilote, ont été remis à une date ultérieure en raison d'un problème concernant la détermination de la masse volumique de l'air dans le laboratoire d'étalonnage. Comme nous l'avions mentionné dans le rapport de l'an dernier, ce problème n'était pas résolu en juin 2004. Depuis, il est devenu clair que ce problème a pour origine des erreurs de lecture des appareils de mesure du point de rosée, et que ceux-ci ont probablement eu pour origine une fuite de liquide non décelée dans le système de conditionnement d'air du laboratoire. La section de chimie du BIPM a pu vérifier que des échantillons d'air dans le laboratoire d'étalonnage contenaient une teneur étonnamment élevée d'un produit chimique similaire à l'éthylèneglycol. Toutefois, les discussions avec les experts en mesures d'humidité nous ont convaincu que la pression de vapeur de l'éthylèneglycol pur est trop faible pour avoir occasionné ce problème. En tout cas, après avoir réparé le système de conditionnement d'air, la mesure de la température du point de rosée dans le laboratoire d'étalonnage est revenue peu à peu à la normale.

Pour vérifier que l'on pouvait à nouveau effectuer des étalonnages avec confiance, nous avons entrepris l'étude décrite dans la section 3.4.2 de ce rapport.

Ces problèmes ont retardé le réétalonnage des étalons de travail du BIPM par rapport aux prototypes n^{os} 25 et 73, que nous réservons à des usages spéciaux. Cette étude est maintenant en cours et devrait être terminée avant les vacances d'été.

3.2 Balance hydrostatique

(R.S. Davis et C. Goyon-Taillade)

Cet appareil est utilisé pour déterminer la masse volumique des étalons de masse.

Nous avons déterminé la masse volumique de trois étalons en acier inoxydable appartenant au NIMT (Thaïlande). Nous avons aussi déterminé la masse volumique de quatre étalons de masse en acier inoxydable et d'une pile de quatre disques en acier inoxydable pour la section des masses. Nous pensons que la demande de mesures de la masse volumique de disques

empilables augmentera dans le futur, à cause de leur utilisation dans les études gravimétriques des effets de surface.

Nous avons constaté une fuite dans la jauge de pression, utilisée pour calculer la masse volumique de l'air ambiant, et nous l'avons remplacée. Bien que la fuite n'ait pas posé de problèmes pour la mesure de la pression de l'air ambiant, il était devenu impossible d'étalonner la jauge en la connectant à un système fermé. À présent, nous utilisons comme référence de l'eau bidistillée, dont la masse volumique est connue au moyen de la formule du CIPM de 2001. Comme nous l'avons écrit dans le rapport de l'an passé, nous rappelons que nous envisageons d'utiliser deux cylindres de 500 g en monocristal de silicium comme étalons de masse volumique. Une fois fabriqués, ils seront étalonnés au NMIJ/AIST.

3.3 Sorption de vapeur d'eau sur des masses étalons (H. Fang et A. Picard)

Nous rappelons que l'objet de ce travail est d'étudier les effets de la sorption de vapeur d'eau sur des masses étalons. Nous poursuivons les recherches sur le silicium dans le cadre du projet international sur la constante d'Avogadro.

Comme nous l'avons mentionné l'an passé, les effets de sorption sur les artefacts en silicium (mesurés par gravimétrie et par ellipsométrie) au BIPM sont plus de cinq fois inférieurs à ceux mesurés au NPL (par gravimétrie). Une collaboration entre le NPL et le BIPM est en cours pour clarifier la source de cette différence. Notre paire d'artefacts utilisés pour l'étude de la sorption a d'abord été envoyée au NPL pour être mesurée par gravimétrie. Les mesures effectuées au NPL sur nos artefacts ont confirmé celles obtenues précédemment au BIPM. Les artefacts du BIPM et du NPL pour l'étude de la sorption ont ensuite été envoyés au BIPM. Jusqu'à présent, des mesures ont été effectuées par ellipsométrie sur les artefacts du BIPM et du NPL. Nous avons obtenu des résultats similaires à ceux obtenus précédemment avec les artefacts du BIPM. La différence entre les effets de sorption mentionnés ci-dessus semble donc attribuable aux mesures initiales effectuées au NPL par gravimétrie. Cette hypothèse a besoin d'être confirmée par nos mesures gravimétriques des artefacts du NPL utilisés pour l'étude de la sorption ; ces mesures seront effectuées prochainement.

Jusqu'à maintenant, nous avons seulement étudié les effets réversibles de physisorption du silicium. Pour le projet Avogadro, il faudra effectuer des études sur la sorption irréversible de la vapeur d'eau dans le silicium. Il est prévu d'effectuer des mesures avant et après la cuisson des artefacts en silicium à haute température dans une atmosphère sèche et neutre. Les effets réversibles de sorption après la procédure de cuisson seront aussi étudiés.

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

3.4.1 Étalons du NPL pour la mesure de la poussée de l'air

Une différence relative pouvant atteindre 5×10^{-4} a été observée au NPL entre la masse volumique de l'air mesurée au moyen d'artefacts pour la mesure de la poussée de l'air et celle calculée au moyen de la formule du CIPM-81/91. Cette différence est environ égale à dix fois celle observée à la fois par le BIPM et la PTB. À la demande du NPL, les artefacts du NPL pour la mesure de la poussée de l'air ont été pesés simultanément avec ceux du BIPM afin de vérifier la reproductibilité de la grande différence obtenue par le NPL. Deux séries de mesures ont été effectuées dans l'air et dans le vide. Les différences de masse volumique de l'air obtenues en utilisant les artefacts du BIPM et ceux du NPL, par rapport aux valeurs estimées au moyen de formule du CIPM, sont de $6,7 \times 10^{-5} \text{ kg m}^{-3}$ et de $8,5 \times 10^{-5} \text{ kg m}^{-3}$, respectivement. Nous notons que les résultats confirment l'écart d'environ $8 \times 10^{-5} \text{ kg m}^{-3}$ publié l'an passé (voir référence 2, de la rubrique publications de la section des masses ci-dessous). Nos résultats montrent que les artefacts du NPL pour la mesure de la poussée de l'air conviennent pour l'usage qui leur est destiné et la grande différence observée au NPL pourrait être due à l'application de la formule du CIPM.

3.4.2 Comparaisons de deux étalons de masse en acier inoxydable à un prototype de masse en platine iridié de 1 kg

Comme cela est mentionné dans la section de ce rapport concernant les étalonnages, le système de conditionnement d'air du laboratoire d'étalonnage des masses a subi une fuite catastrophique en mai 2004. Une conséquence de cette fuite est que, même après réparation, des mesures erronées de la température du point de rosée ont été obtenues par la technique de condensation sur un miroir refroidi. Après quelques mois, il semble que les mesures soient revenues à la normale, mais ceci demandait à être vérifié. Pour vérifier l'exactitude des instruments utilisés pour mesurer les paramètres de l'air à l'intérieur de la balance HK1000 MC, une comparaison entre deux étalons de masse en acier inoxydable et un prototype en platine iridié de 1 kg a été effectuée au moyen des balances FB2 et HK1000 MC. Seule la balance HK1000 MC est localisée dans le laboratoire ayant subi le problème de conditionnement d'air. Pour chaque balance, les masses volumiques utilisées pour les corrections pour la poussée de l'air ont été déterminées en appliquant la formule du CIPM fondée sur les paramètres de l'air mesurés par les instruments dont la balance est équipée. Les différences de masse des étalons en acier inoxydable par rapport au prototype en platine

iridié, mesurées avec la balance FB2, sont d'environ 4 µg par rapport à celles mesurées avec la balance HK1000. Ceci correspond à une différence de masse volumique de $5 \times 10^{-5} \text{ kg m}^{-3}$. Ces différences sont acceptables, compte tenu des incertitudes dues aux pesées proprement dites et aux paramètres utilisés pour déterminer la masse volumique de l'air. Les résultats montrent qu'il existe un bon accord entre les deux procédures de mesure, y compris l'application de la formule du CIPM.

3.4.3 Étude dans l'air et dans le vide des masses en or de 100 g du METAS

Nous entreprenons une étude de la stabilité de masse dans l'air et dans le vide des masses en or de 100 g du METAS. Ces objets seront utilisés comme masses de transfert pour l'expérience de balance du watt du METAS. En tout, quatre masses en or sont comparées dans l'air. Deux d'entre elles restent en permanence dans l'air tandis que les deux autres sont pesées dans l'air et dans le vide, alternativement. La stabilité des différences de masse dans l'air ou dans le vide entre les deux masses placées alternativement dans le vide et dans l'air, et entre les masses qui sont en permanence dans l'air sera vérifiée. La répétabilité du changement de masse entre l'air et le vide sera aussi déterminée.

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

Pour déterminer une nouvelle valeur de la constante d'Avogadro avec une incertitude-type composée relative de 2×10^{-8} , il est crucial, et stimulant, de déterminer la masse de la sphère de 1 kg de ^{28}Si . D'ici 2008, les laboratoires impliqués dans le projet de collaboration internationale sur la constante d'Avogadro devraient être capables de déterminer la masse de la sphère de silicium de 1 kg dans le vide avec une incertitude-type composée de 4 µg. Une comparaison internationale est envisagée afin d'évaluer la procédure de pesée et de révéler les difficultés expérimentales rencontrées dans la détermination de la masse d'une sphère de silicium. Cinq laboratoires sont impliqués dans cette comparaison, dont le BIPM, qui en est le laboratoire pilote.

Les résultats préliminaires obtenus au moyen de la balance du BIPM FB-2 ont montré que la masse d'une sphère en silicium de 1 kg peut être comparée dans l'air à un prototype de platine iridié de 1 kg avec une incertitude-type d'environ 14 µg et de 32 µg en utilisant des artefacts pour la mesure de la poussée de l'air et la formule recommandée CIPM-81/91, respectivement. La différence de masse de la sphère de silicium obtenue en utilisant les deux

méthodes précédentes pour déterminer la masse volumique de l'air se situe dans les limites de 10 μg .

Une méthode a été mise au point au BIPM pour effectuer la comparaison entre un prototype en platine iridié de 1 kg placé en permanence dans l'air et une sphère en silicium de 1 kg placée dans le vide. Cette méthode nécessite deux artefacts de sorption supplémentaires en platine iridié de 1 kg, l'un ayant une surface double de l'autre et les deux ayant le volume d'un prototype classique de 1 kg. Ces artefacts nous permettent de relier les pesées dans l'air et dans le vide en prenant en compte la désorption de l'eau entre les deux artefacts dans les deux conditions ambiantes. Cette méthode offre l'avantage d'éviter les corrections pour la poussée de l'air parce que seules les masses ayant le même volume nominal sont pesées dans l'air. La sphère en silicium et les artefacts de sorption additionnels, qui ont une différence de volume importante, sont comparés dans le vide. L'incertitude-type composée obtenue par cette méthode est d'environ 5 μg mais la valeur de la masse de la sphère diffère d'environ 30 μg des valeurs obtenues dans l'air. Le résultat est encourageant mais il faudra disposer de plus d'expérience afin de perfectionner cette méthode.

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

Après la panne du manobaromètre à mercure du BIPM en décembre 2003, nous avons décidé de le remplacer par une balance primaire de pression. Cette balance de pression sera utilisée pour étalonner les jauges de pression du BIPM. Nous avons réceptionné la nouvelle balance de pression en juillet 2004. Un étalonnage dimensionnel de l'assemblage piston-cylindre a été effectué au LNE en novembre 2004. L'atelier du BIPM a construit un réseau de connexion afin de connecter et déconnecter de manière fiable les jauges soumises à des essais. Des essais préliminaires ont révélé que la pompe à vide utilisée initialement pour fournir la pression « zéro » de référence était insuffisante et elle a dû être remplacée. Il est aussi souhaitable de remplacer la jauge Pirani fournie avec la balance de pression par une jauge capacitive afin de mieux mesurer le vide obtenu. Nous envisageons que l'utilisation de cette balance de pression fasse l'objet de procédures du Système Qualité en 2005.

L'une d'entre-nous (C. Goyon-Taillade) a suivi une semaine de formation sur la métrologie des pressions afin d'utiliser au mieux le nouvel équipement.

3.7 Générateur d'humidité (H. Fang et A. Picard)

Nous rappelons que le but de ce travail est de mettre au point un générateur d'humidité pour les étalonnages internes d'appareils de mesure du point de rosée ou de capteurs d'humidité relative.

Des améliorations ont été apportées au système. Une nouvelle chambre d'essai hermétique en acier inoxydable a été conçue et fabriquée. Trois valves manuelles pour les mesures de pression ont été remplacées par des électro-valves contrôlées par un système électronique assemblé en interne.

De nouvelles mesures ont été effectuées cette année au moyen de deux appareils de mesure du point de rosée et de deux capteurs d'humidité relative aux points de rosée de 5 °C, 10 °C et 15 °C. Un des appareils de mesure du point de rosée a été envoyé au LNE-CETIAT pour être réétalonné. Pour les trois températures, nos résultats concordent à 0,02 °C près avec ceux du LNE-CETIAT, ce qui est très encourageant, même si, comme le dit le paragraphe suivant, un aussi bon accord est quelque peu fortuit.

Dans notre système, la température de l'air à l'intérieur du saturateur principal est mesurée au moyen d'un thermomètre à résistance de platine de 25 Ω placé dans un tube centré et immergé dans le saturateur principal. La température de l'air à différentes hauteurs du tube a été évaluée au moyen d'un thermocouple. Un gradient maximal pouvant atteindre 60 mK a été observé. Cet effet doit être pris en compte dans l'évaluation de la valeur de référence de la température du point de rosée et l'incertitude-type composée présentée l'an dernier devrait être augmentée. Dans le futur, il sera nécessaire d'effectuer d'autres études sur le gradient de température et il nous faut aussi concevoir de nouveaux saturateurs qui permettraient de minimiser cet effet.

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

Le rapport signal sur bruit de cet instrument a été grandement amélioré depuis que nous avons localisé la source d'une fuite intermittente dans le système de vide. Nous espérons terminer les mesures à la fin de 2005.

* Directeur honoraire du BIPM.

** Université de Birmingham (Royaume-Uni).

3.9 Publications, conférences et voyages : section des masses

3.9.1 Publications extérieures

1. Park S.Y., Kim J.S., Lee J.B., Esler M.B., Davis R.S., Wielgosz R.I., A redetermination of the argon content of air for buoyancy corrections in mass standard comparisons, *Metrologia*, 2004, **41**, 387-395.
2. Picard A., Fang H., Gläser M., Discrepancies in air density determination between the thermodynamic formula and a gravimetric method: Evidence for a new value of the mole fraction of argon in air, *Metrologia*, 2004, **41**, 396-400.
3. Haidar Y., Tollens E., Silvestri Z., de Fornel F., Zerrouki C., Picard A., Pinot P., Study and comparison of two polishing methods for platinum-iridium surfaces by means of three characterization techniques, *Metrologia*, 2005, **42**, 115-128.

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

R.S. Davis s'est rendu :

- au SMU (Slovaquie), les 2 et 3 septembre 2004, pour une évaluation technique des programmes sur les masses et la masse volumique ;
- au METAS (Suisse), du 3 au 5 novembre 2004, pour assister à une réunion sur la balance du watt ;
- au SPRING (Singapour), du 24 au 28 janvier 2005, pour une évaluation technique des programmes sur les masses et la masse volumique, suivie de discussions sur des questions d'intérêt mutuel ;
- à Londres (Royaume-Uni), les 14 et 15 février 2005, pour assister au Royal Society Scientific Discussion meeting on « The fundamental constants of physics, precision measurements and the base units of the SI » et pour présenter un exposé invité intitulé « Possible new definitions of the kilogram » ;
- au Caire (Égypte), du 20 au 24 février 2005, pour assister à la 19^e conférence de l'IMEKO TC3, afin de présenter un discours d'introduction intitulé « New ways to determine very small masses and forces » et de faire une présentation intitulée « Errors due to magnetic effects in 1 kg mass comparisons » (co-auteur J. Coarasa) ;
- au DFM (Danemark), le 9 mai 2005, pour une évaluation technique du programme sur les masses ;
- au LNE (France), le 20 mai 2005, en tant qu'examineur d'une thèse de doctorat ;

- au VNIIM (Russie), du 6 au 8 juin 2005, pour discuter de problèmes techniques concernant la définition du kilogramme ;
- à l'université de Bourgogne, Dijon (France), le 15 juin 2005, en tant qu'examineur d'une thèse de doctorat.

A. Picard s'est rendu :

- au METAS, Bern (Suisse), les 4 et 5 novembre 2004, pour assister à une réunion technique sur la balance du watt, accompagné de H. Fang ;
- à la PTB, Braunschweig (Allemagne), du 1^{er} au 3 décembre 2004, pour assister au comité du projet de collaboration internationale sur la constante d'Avogadro (IAC) ;
- à l'EIM (Grèce), du 28 février au 3 mars 2005, pour assister à la réunion des personnes chargées des relations dans le domaine des masses de l'EUROMET ;
- à l'IKZ, Berlin (Allemagne), du 10 au 14 mars 2005, pour assister au comité du projet de collaboration internationale sur la constante d'Avogadro (IAC) ;
- au METAS (Suisse), les 19 et 20 mai 2005, pour des discussions avec l'équipe de la balance du watt et pour présenter un exposé intitulé « Water vapour sorption study: application in Avogadro project ».

C. Goyon-Taillade s'est rendue au LNE, Paris (France), du 17 au 20 mai 2005, pour assister à un cours sur la métrologie des pressions.

3.10 Activités liées au travail des Comités consultatifs

R.S. Davis est secrétaire exécutif du CCM, qui a tenu sa dernière session en avril 2005.

A. Picard consacre 20 % de son temps à la coordination des mesures de masse dans le cadre du projet de collaboration sur la constante d'Avogadro et du Groupe de travail du CCM sur la constante d'Avogadro (*voir* section 3.5). [Note : A. Picard a été transféré dans l'équipe de la balance du watt et y consacre les 80 % restants de son temps.]

3.11 Autres activités

R.S. Davis continue à être l'un des deux membres extérieurs du « NPL Watt Balance Experiment Design Review Group ». Ce groupe ne s'est pas réuni l'an passé.

3.12 Visiteurs de la section des masses

- Mlle A. Duarte (CENAM), le 17 décembre 2004.
- M. J. Faller (JILA), le 29 décembre 2004.
- M. P. Delajoud (DHI, États-Unis), le 7 janvier 2005.
- M. T.K. Chang (SCL), le 2 février 2005.
- M. M. Takamoto (NMIJ/AIST), le 17 mars 2005.
- M. C.-S. Chang (CMS-ITRI), le 29 mars 2005.
- M. M. Tanaka (CIPM), le 8 avril 2005.
- M. G. Bairy (SMD), le 21 avril 2005.
- MM. K.-H. Chang et W.G. Lee (KRIS), le 27 avril 2005.
- MM. Y. Alayli, S. Topçu (université de Versailles) et P. Pinot (LNE/CNAM), le 24 mai 2005.
- M. K. Fujii (NIMJ/AIST), le 27 juin 2005, accompagné de MM.S. Asanuma, H. Sasagawa (Asanuma Giken Co. Ltd.) et H. Mozoguchi (MST Co. Ltd.).

4 TEMPS (E.F. ARIAS)

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

Les échelles de temps de référence TAI et UTC sont régulièrement établies à partir des données fournies au BIPM par les laboratoires horaires qui maintiennent des réalisations locales de l'UTC, et publiées chaque mois dans la *Circulaire T. Le Rapport annuel de la section du temps du BIPM (2004)*, volume 17, complété par des fichiers informatiques accessibles par le réseau Internet sur le site Web du BIPM, donne les résultats définitifs de l'année 2004.

4.2 Algorithmes pour les échelles de temps

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

L'algorithme utilisé pour le calcul des échelles de temps est un processus itératif qui produit tout d'abord l'échelle atomique libre (EAL) dont le TAI est dérivé. Le travail de recherche sur les algorithmes utilisés pour établir les échelles de temps effectué à la section du temps a pour but d'améliorer la stabilité à long terme de l'EAL et l'exactitude du TAI.

4.2.1 Stabilité de l'EAL

Environ 85 % des horloges actuellement en service sont des horloges à césium du commerce du type HP/Agilent 5071A et des masers à hydrogène auto-asservis actifs. Pour améliorer la stabilité de l'EAL, le poids relatif maximal des horloges est fixé à $2,5/N$, où N est le nombre total d'horloges participant au TAI. Une horloge atteint le poids maximal quand l'écart-type de sa fréquence, calculé à partir de 12 échantillons consécutifs de 30 jours, est inférieur ou égal à 6×10^{-15} environ. Environ 13 % des horloges ont atteint le poids maximal en 2004. Cette procédure engendre une échelle de temps fondée sur les meilleures horloges.

Une nouvelle estimation de la stabilité à moyen terme et à long terme de l'EAL a été effectuée. Exprimée au moyen de l'écart-type d'Allan relatif, elle est estimée à $0,4 \times 10^{-15}$ pour des durées moyennes d'un mois depuis 2003. Une dérive à long terme, lentement variable, limite sa stabilité à 2×10^{-15} pour des durées moyennes de six mois.

4.2.2 Exactitude du TAI

L'exactitude du TAI est caractérisée par l'estimation de la différence relative, et de son incertitude, entre la durée de l'intervalle d'échelle de temps du TAI et la seconde du SI telle qu'elle est produite, sur le géoïde en rotation, par les étalons primaires de fréquence. Depuis juillet 2004, huit étalons primaires de fréquence ont délivré des mesures ponctuelles de la fréquence du TAI, dont quatre fontaines à césium (IEN-CSF1, LNE-SYRTE-FO2, NIST-F1 et NPL CSF). Des rapports sur le fonctionnement des étalons primaires de fréquence sont publiés régulièrement dans le *Rapport annuel de la section du temps du BIPM*.

Suite à la Recommandation CCTF 3 (2004), la procédure de pilotage de fréquence du TAI a été révisée. Depuis juillet 2004, une correction de valeur maximale $0,7 \times 10^{-15}$ peut être appliquée tous les mois à la fréquence du TAI si nécessaire. Le traitement global des mesures individuelles conduit à des différences relatives entre la durée de l'intervalle d'échelle du TAI et la

seconde du SI sur le géoïde en rotation allant, depuis juillet 2004, de $+2,1 \times 10^{-15}$ à $+5,8 \times 10^{-15}$, avec une incertitude-type de $0,2 \times 10^{-15}$. Au cours de l'année six corrections de pilotage ont été appliquées, avec une correction totale de $[f(EAL) - f(TAI)]$ de -2×10^{-15} .

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

Depuis janvier 2005, les valeurs des incertitudes de $[UTC - UTC(k)]$ sont publiées dans la *Circulaire T* du BIPM. Ceci a été recommandé par le CCTF et a été exigé par l'Arrangement du CIPM afin de publier les résultats de la comparaison clé CCTF-K2001.UTC dans la base de données du BIPM sur les comparaisons clés. La section du temps du BIPM a traité cette question en collaboration avec l'IEN et l'USNO. Une solution analytique a été dérivée de la loi de propagation de l'incertitude, en tenant compte du fait que les secondes intercalaires et le pilotage déterministe de la fréquence de l'EAL n'affectent pas ces incertitudes. Les résultats analytiques ont été vérifiés par simulation de Monte Carlo en utilisant le logiciel qui génère l'UTC, et l'on a constaté un bon accord, donnant confiance dans l'estimation analytique. Une analyse plus détaillée est en cours, qui inclut toutes les informations disponibles sur les étalonnages, des détails supplémentaires sur la corrélation entre les liaisons horaires, des méthodes pour optimiser leur structure, compte tenu des incertitudes, le comportement non Gaussien et différentes propriétés sur les corrélations des incertitudes dues aux étalonnages ou au bruit aléatoire.

4.2.4 Échelles de temps atomique indépendantes

Le personnel du BIPM a participé à l'organisation et à l'élaboration de l'échelle de temps atomique indépendante de la Pologne TA(PL). Un logiciel spécialement conçu pour un nombre restreint d'horloges a été mis au point et est en cours d'amélioration. La stabilité de TA(PL) est d'environ $2,5 \times 10^{-15}$ pour une durée moyenne d'environ un mois.

TT(BIPM)

Comme le TAI est calculé en « temps réel » et subit des contraintes opérationnelles, il ne fournit pas une réalisation optimale du Temps terrestre, TT, le temps-coordonnée du système de référence géocentrique. Le BIPM calcule donc une autre réalisation, TT(BIPM), calculée après coup, qui est fondée sur la moyenne pondérée des évaluations de la fréquence du TAI au moyen des étalons primaires de fréquence. Nous avons fourni une version améliorée de TT(BIPM), nommée TT(BIPM2004), valable jusqu'en août

2004. Nous utilisons pour ce faire toutes les données récentes disponibles des nouvelles fontaines à césium et une estimation révisée de la stabilité de l'Échelle de temps atomique libre EAL sur laquelle le TAI est fondé.

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

La section du temps du BIPM organise le réseau international de liaisons horaires. En 2004, des progrès significatifs ont été effectués dans les comparaisons horaires du TAI. Dix liaisons horaires obtenues au moyen de récepteurs GPS de type géodésique à fréquence double (P3) ont été introduites dans le calcul du TAI en 2003 et cette procédure se poursuit. Ceci permet d'utiliser trois techniques pour les comparaisons des horloges participant au TAI. À l'heure actuelle, 30 % des liaisons prises en compte dans le calcul du TAI sont réalisées au moyen de la méthode classique des observations simultanées des satellites du GPS utilisant des récepteurs à un seul canal et une seule fréquence, et des mesures du code C/A ; environ 36 % des liaisons sont réalisées au moyen d'observations effectuées avec des récepteurs à canaux multiples (certains d'entre eux sont des récepteurs des deux codes et des deux systèmes GPS et GLONASS) ; 10 % sont calculées à partir des observations des récepteurs du GPS à deux fréquences ; et 13 % sont des comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite. Ceci améliore l'exactitude des comparaisons horaires et la fiabilité de l'ensemble du réseau de liaisons. De plus, la section du temps du BIPM continue à étudier les autres méthodes de comparaison de temps et de fréquences. Les résultats de ces comparaisons sont disponibles sur le site Web du BIPM.

Afin d'aider certains laboratoires participants à améliorer leur contribution au TAI, des récepteurs du GPS ont été prêtés à trois laboratoires horaires.

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

i) Activités courantes

Le BIPM publie, dans sa *Circulaire T* mensuelle, une évaluation des différences de temps quotidiennes [$UTC - \text{temps du GPS}$] et [$UTC - \text{temps du GLONASS}$] et des programmes internationaux de vues simultanées du GPS et du GLONASS. Le réseau international de liaisons par le GPS utilisé par le BIPM est constitué par des réseaux locaux à l'échelle des continents. Pour toutes les liaisons par le GPS, les données sont corrigées pour tenir compte des positions des satellites déduites des éphémérides précises,

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

ii) Normalisation des récepteurs du GPS et du GLONASS

Le personnel de la section du temps du BIPM continue à participer activement aux activités du Groupe de travail du CCTF sur la normalisation des comparaisons d'horloges utilisant les systèmes de navigation par satellite à couverture globale (CGGTTS). Il contribue à l'élaboration de directives techniques destinées aux fabricants de récepteurs du temps de systèmes de navigation par satellite à couverture globale. Un membre du personnel du BIPM assure le secrétariat de ce groupe.

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

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

iv) Corrections ionosphériques estimées par l'IGS

Les paramètres ionosphériques estimés par l'IGS sont couramment utilisés pour corriger les retards ionosphériques pour le calcul du TAI dans toutes les liaisons réalisées à l'aide de récepteurs du GPS à un seul canal.

4.3.2 Mesures de phase et de code des récepteurs géodésiques

Nous rappelons que les comparaisons de temps et de fréquences utilisant le GPS et le GLONASS peuvent être effectuées par des mesures de code, mais aussi par des mesures de la phase des porteuses aux deux fréquences émises. Cette technique, déjà couramment utilisée par la communauté des géodésistes, peut être adaptée aux besoins des comparaisons de temps et de fréquences. Ces études s'effectuent dans le cadre du nouveau groupe de travail de l'IGS sur les produits horaires, dont est membre un des physiciens de la section. Les études fondées sur les deux récepteurs du GPS Ashtech Z12-T, sur le récepteur GPS/GLONASS Javad Legacy, sur le récepteur Septentrio PolarX, et sur le récepteur TTS-3 GPS/GLONASS acquis en décembre 2004, se poursuivent au BIPM.

La méthode mise au point pour effectuer l'étalonnage absolu des retards du récepteur Ashtech Z12-T nous permet de l'utiliser pour des étalonnages différentiels de récepteurs similaires dans des laboratoires de temps du monde entier. Les campagnes d'étalonnage, qui ont débuté en janvier 2001, se poursuivent. De juillet 2004 à juin 2005, douze étalonnages de ce type avaient été effectués pour neuf laboratoires. Le nouveau récepteur Ashtech

Z12-T sert de référence locale au BIPM, auquel est comparé le récepteur Ashtech Z12-T transportable. Une collaboration a débuté avec le CNES afin d'effectuer de nouvelles mesures pour l'étalonnage absolu du récepteur dans les locaux du CNES à Toulouse. L'étalonnage du nouveau type de récepteur Septentrio PolaRx2 est en cours d'étude dans les laboratoires qui en sont équipés.

Les données des récepteurs de type géodésique sont collectées dans le monde entier pour le calcul du TAI, en utilisant des procédures et un logiciel mis au point en collaboration avec l'Observatoire royal de Belgique (ORB). Dix-sept laboratoires fournissaient régulièrement les données P3 en juin 2005. Les liaisons horaires calculées au moyen de ces données sont systématiquement comparées à celles obtenues au moyen d'autres techniques, notamment par la technique des comparaisons horaires par aller et retour. Parce que plusieurs laboratoires fournissent des données P3 pour le TAI et participent aussi au réseau de l'IGS, nous avons comparé les liaisons P3 aux liaisons horaires calculées par l'IGS (phase et code). Nous avons montré que la stabilité à long terme des liaisons P3 se situe typiquement en dessous de 1 ns. Nous avons aussi utilisé les données de ces récepteurs pour une comparaison de fontaines à césium effectuée en octobre-novembre 2004.

Un des récepteurs 3S Navigation en service au BIPM est utilisé pour la collecte automatisée de données pour l'International GLONASS Service Pilot Project (IGLOS-PP), sous les auspices de l'IGS, projet auquel le BIPM participe. Le but de ce projet est, entre autres, de produire après coup des éphémérides précises des satellites du GLONASS.

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

Deux réunions sur les comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite ont eu lieu depuis octobre 2004. Le BIPM effectue la collecte des résultats de comparaisons d'horloges par aller et retour de douze stations en activité et traite certaines liaisons. Une dizaine de liaisons par aller et retour sont utilisées dans le calcul du TAI et l'on en prépare d'autres. Le BIPM participe aussi à l'étalonnage de liaisons horaires par aller et retour sur satellite par comparaison avec le GPS. La section du temps du BIPM a cessé de produire des rapports sur les comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite, mais les comparaisons effectuées en utilisant plusieurs techniques sont publiées sur Internet. Un membre du personnel du BIPM assure le secrétariat du Groupe de travail du CCTF sur les comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite.

4.3.4 Incertitudes sur les liaisons horaires du TAI

Les valeurs des incertitudes de types A et B affectant les liaisons horaires du TAI sont publiées dans la *Circulaire T*, ainsi que des informations sur les types de liaisons horaires utilisés pour le calcul mensuel. Les incertitudes de type B sur les liaisons horaires du GPS peuvent atteindre 30 ns, principalement en raison d'un manque d'étalonnages. Ceci met en évidence le besoin d'achever l'étalonnage de toutes les liaisons horaires utilisées pour le calcul du TAI.

4.3.5 Étalonnage des liaisons horaires du TAI

Le BIPM effectue une série d'étalonnages de récepteurs du temps du GPS situés dans les laboratoires de temps qui participent au calcul du TAI. De juillet 2004 à juin 2005, les récepteurs horaires du GPS de dix-sept laboratoires et les récepteurs P3 du GPS de neuf laboratoires ont été étalonnés. De plus, le personnel de la section du temps met au point des méthodes pour étalonner les récepteurs de temps du GPS et du GLONASS. Le BIPM participe aussi à l'organisation des campagnes d'étalonnage des équipements pour les comparaisons de temps et de fréquence par aller et retour sur satellite.

4.4 Comparaisons clés (E.F. Arias et W. Lewandowski ; L. Tisserand)

La comparaison clé CCTF-K2001.UTC, dans le domaine du temps, a été publiée pour la première fois en janvier 2005. Des mises à jour mensuelles sont effectuées après publication de la *Circulaire T*. Seuls les résultats des laboratoires de temps qui appartiennent aux États membres ou aux Associés à la Conférence générale, et qui participent à l'Arrangement du CIPM, sont publiés dans la base de données du BIPM sur les comparaisons clés.

4.5 Pulsars (G. Petit)

Nous poursuivons notre collaboration avec différents groupes de radio-astronomes qui font des observations de pulsars et en analysent les résultats, si cela présente un intérêt pour nous, par exemple, afin d'étudier la capacité potentielle des pulsars-milliseconde à contrôler la stabilité à très long terme du temps atomique. La section du temps a fourni à ces groupes sa réalisation en temps différé du temps terrestre. Nous continuons à collaborer avec l'Observatoire Midi-Pyrénées (OMP), à Toulouse, au traitement des données issues d'un programme d'observations.

4.6 Références spatio-temporelles

(E.F. Arias, G. Petit, J. Ray* et P. Wolf)

L'uniformité dans la définition des systèmes de référence spatiaux prend de plus en plus d'importance pour la métrologie fondamentale, en particulier pour les techniques astronomiques et géodésiques qui contribuent au Service international de la rotation terrestre et des systèmes de référence (IERS). Depuis le 1^{er} janvier 2001, le BIPM est responsable, conjointement avec l'U.S. Naval Observatory (USNO), du Conventions Product Center de l'IERS. La nouvelle édition des *Conventions de l'IERS* (2003) finalisée en 2003, a été publiée en édition papier. Ce document résume les modèles, constantes et procédures à utiliser pour l'analyse des données de l'IERS ; il est destiné à la communauté des astronomes et des géodésiens en général.

Un site Web et ftp pour les *Conventions de l'IERS* a été mis en place au BIPM (<http://tai.bipm.org/iers/>), ainsi qu'un forum de discussion pour les utilisateurs (<http://tai.bipm.org/iers/forum/>), afin qu'ils puissent faire part de leurs commentaires concernant les futures mises à jour des *Conventions de l'IERS*. Les premières mises à jour des *Conventions* (2003) ont été placées sur le site Web (<http://tai.bipm.org/iers/convupdt>). Ce sont principalement des corrections éditoriales et de petites modifications du texte. Les changements de plus grande importance sont à l'étude actuellement avec l'aide du Conseil chargé des mises à jour de l'IERS, présidé par Jim Ray, et qui comprend des représentants de tous les groupes participant à l'IERS. Une session spéciale sur les mises à jour de l'IERS a eu lieu lors de l'assemblée générale de l'European Geophysical Union en avril 2005. La 39^e session du directoire de l'IERS a eu lieu au BIPM le 23 septembre 2004.

Des activités liées à la réalisation de systèmes de référence en astronomie et en géodésie sont entreprises par Mme E.F. Arias en collaboration avec l'IERS et des laboratoires argentins.

4.7 Autres études (P. Wolf)

Peter Wolf est actuellement détaché à l'Observatoire de Paris (OP) et nous présentons ici sa contribution aux programmes de l'OP.

Les résultats finaux des tests de l'invariance de Lorentz réalisés au moyen d'un oscillateur hyperfréquence cryogénique à saphir au LNE-SYRTE (OP) ont été publiés. Les résultats montrent une amélioration d'environ un ordre de grandeur par rapport aux meilleurs résultats publiés précédemment. Les premiers résultats de l'expérience de type Michelson-Morley avec un

* Jusqu'en septembre 2004.

montage en rotation, à l'University of Western Australia, ont été obtenus ; ils montrent une amélioration d'un facteur sept. D'autres possibilités pour effectuer des tests de l'invariance de Lorentz utilisant des photons ont été étudiées. Nous avons récemment effectué un test de l'invariance de Lorentz dans de la matière en utilisant les transitions de Zeeman dans une horloge atomique à fontaine de césium au LNE-SYRTE ; les premiers résultats ont été publiés.

Des horloges à réseau optique sont en cours de construction ou en service dans plusieurs laboratoires. Elles utilisent un grand nombre d'atomes neutres (Sr, Yb, Hg, Ca) piégés dans un potentiel optique. Ces horloges sont les candidates les plus prometteuses pour atteindre une exactitude de 10^{-17} à 10^{-18} , car elles combinent les avantages des ions piégés et ceux des étalons fondées sur des atomes neutres en chute libre. Nous avons étudié des méthodes pour circonvenir les limites de ces horloges imposées par l'intensité du laser piège. Il en résulte que l'on peut effectivement utiliser la pesanteur pour réduire les exigences en matière d'intensité de plus d'un ordre de grandeur. Le schéma proposé est appliqué à l'étalon à strontium du LNE-SYRTE.

4.8 Publications, conférences et voyages: section du temps

4.8.1 Publications extérieures

1. Bize S., Wolf P. *et al.*, Advances in atomic fountains, *C.R. Acad. Sci., Physique*, 2004, **5**, 829-843.
2. Bize S., Wolf P. *et al.*, Cold atom clocks and applications, *J. Phys. B*, 2005, **38**, S449-S468.
3. Foks A., Lewandowski W., Nawrocki J., Latest calibration of GLONASS P-code time receivers, *Proc. 36th PTTI*, 2004, 99-104.
4. Guinot B., Arias E.F., Atomic time-keeping since 1955 up to the present, *Metrologia*, 2005, **42**, S20-S30.
5. Lewandowski W., Cordara F., Lorini L., Pettiti V., Bauch A., Piester D., Koudelka O., A simultaneous calibration of the IEN/PTB time link by GPS CV and TWSTFT portable equipment, *Proc. 18th EFTF*, 2004 (CD-Rom).
6. Lewandowski W., 2004, International Atomic Time and time transfer, *Artificial Satellites*, **40**, 71-81.
7. Lewandowski W., Matsakis D., Panfilo G., Tavella P., First evaluation and experimental results on the determination of uncertainties in $[UTC - UTC(k)]$, *Proc. 36th PTTI*, 2004, 243-261.

8. Marion H., Wolf P. et al., First observation of Feshbach resonances at very low magnetic field in a ^{133}Cs fountain, *Proc. 18th EFTF*, 2004 (CD-Rom).
9. McCarthy D.D., Petit G. (eds), IERS Conventions (2003), *IERS TN 32*, Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, 2004, 127 p.
10. Petit G., Wolf P., Relativistic theory for time comparisons: a review, *Metrologia*, 2005, **42**, S138-S144.
11. Petit G., Stability and accuracy of geodetic GPS time links compared to two way time transfer, *Proc. ATF 2004*, 2004, 1-7.
12. Tobar M.E., Wolf P., Fowler A., Hartnett J.G., New methods of testing Lorentz violation in electrodynamics, *Phys. Rev. D*, 2005, **71**, 025004.
13. Tobar M.E., Wolf P. et al., New tests of Lorentz Invariance in the Photon Sector using Precision Oscillators and Interferometers, In *CPT and Lorentz Symmetry Proc. Third Meeting, Bloomington* (V.A. Kostelecký ed.), World Scientific, 2005, 20-28.
14. Weiss M., Zhang V., Lewandowski W., Uhrich P., Valat D., 2004, NIST and OP GPS Receiver Spanning Twenty Years 1983–2003, *Proc. 18th EFTF*, 2004 (CD-Rom).
15. Wolf P., Bize S., Clairon A., Luiten A.N., Santarelli G., Tobar M.E., Improved test of Lorentz invariance in electrodynamics, *Phys. Rev. D*, 2004, **70**, 051902(R), arXiv: hep-ph/0407232.

4.8.2 Publications du BIPM

16. *Rapport annuel de la section du temps du BIPM (2004)*, 2005, **17**, 94 p.
17. *Circulaire T* (mensuelle), 7 p.

4.8.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

E.F. Arias s'est rendue à :

- Paris (France), du 20 au 22 septembre 2004, pour les journées Systèmes de référence spatio-temporels 2004, à l'Observatoire de Paris, pour deux exposés ;
- Turin (Italie), du 27 au 29 septembre 2004, pour l'International Workshop on Galileo Time ;
- Mérida (Venezuela), du 22 au 24 novembre 2004, pour la 3^e réunion internationale de l'ADeLA, et pour trois exposés ;
- Caracas (Venezuela), les 25 et 26 novembre 2004, pour une visite à l'Observatoire de Cagigal ;

- Washington DC (États-Unis), du 4 au 10 décembre 2004, pour présider une séance de la 36^e réunion du PTTI ; pour la réunion des stations participant aux comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite ; pour la réunion du Groupe de travail du CCTF sur le MRA et pour la réunion du CGGTTS ;
- Londres (Royaume-Uni), les 14 et 15 février 2005, pour assister au Royal Society Scientific Discussion meeting on « The fundamental constants of physics, precision measurements and the base units of the SI » ;
- Moscou (Féd. de Russie), du 18 au 22 février 2005, pour le 50^e anniversaire du VNIIFTRI, ainsi que pour une visite du VNIIFTRI et du Rostekhregulirovaniye, et pour une conférence ;
- Saint-Pétersbourg (Féd. de Russie), les 24 et 25 février 2005, pour une visite du VNIIM ;
- Vienne (Autriche), le 3 mars 2005 et le 7 juin 2005, pour les réunions préparatoires UN/COPUOS du Comité international du GNSS ;
- Besançon (France), du 20 au 24 mars 2005, pour présider une séance de la 19^e réunion de l'EFTF ;
- Saragosse (Espagne), du 11 au 13 mai 2005, pour le 3^e Congrès espagnol de métrologie et pour un exposé ;
- Bordeaux (France), le 22 juin 2005, pour la présentation d'une thèse à l'Observatoire de Bordeaux.

Z. Jiang s'est rendu à :

- Tokyo (Japon), du 12 au 17 octobre 2004, pour la 12^e réunion du Groupe de travail du CCTF sur les comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite ;
- Beijing (Chine), du 22 au 26 octobre 2004, pour les réunions de l'ATF 2004 et de l'APMP 2004 ; et le 24 octobre 2004, pour une visite au NTSC.

W. Lewandowski s'est rendu à :

- Varsovie (Pologne), pour plusieurs visites de quelques jours au Space Research Centre ;
- Long Beach (Californie, États-Unis), du 18 au 25 septembre 2004, pour la 44^e réunion du Civil GPS Service Interface Committee (présidence du sous-comité sur le temps) et pour la réunion ION GNSS ;
- Turin (Italie), du 27 au 29 septembre 2004, pour un exposé à l'International Workshop on Galileo Time ;

- Tokyo (Japon), du 12 au 17 octobre 2004, pour un exposé à la 12^e réunion du Groupe de travail du CCTF sur les comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite ;
- Washington DC (États-Unis), du 4 au 10 décembre 2004, pour la réunion des stations participant aux comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite, pour la réunion du CGGTTS et pour la 36^e réunion du PTTI, et pour un exposé ;
- Munich (Allemagne), du 8 au 11 mars 2005, pour le Munich Satellite Navigation Summit 2005 ;
- Besançon (France), du 20 au 24 mars 2005, pour la 19^e réunion de l'EFTF, et pour un exposé ;
- Paris (France), le 14 avril 2005, pour la réunion de l'EUROMET, et pour un exposé ;
- Paris (France), le 12 mai 2005, pour un exposé à la Journée nationale sur l'UTC et seconde intercalaire.

G. Petit s'est rendu à :

- Nançay (France), le 2 juillet 2004 et le 24 mars 2005, pour participer à des observations de pulsars ;
- Paris (France), du 20 au 22 septembre 2004, pour les journées Systèmes de référence spatio-temporels, à l'Observatoire de Paris, et pour un exposé intitulé « Updating the IERS Conventions to improve reference frames » ;
- Beijing (Chine), du 22 au 26 octobre 2004, pour l'ATF 2004, et pour un exposé intitulé « Stability and accuracy of geodetic GPS time links compared to two way time transfer » ;
- Lintong (Chine), les 29 et 30 octobre 2004, pour une visite du NTSC ;
- Toulouse (France), les 10 et 11 janvier 2005, pour des visites de la section du temps du CNES et de l'Observatoire Midi-Pyrénées ;
- Besançon (France), du 21 au 23 mars 2005, pour la 19^e réunion de l'EFTF, et pour un exposé intitulé « Long-term stability and accuracy of TAI » ;
- Vienne (Autriche), du 25 au 29 avril 2005, pour l'assemblée générale de l'European Geophysical Union, en qualité de président de séance, et pour un exposé intitulé « Updating the IERS Conventions », ainsi que pour une réunion du directoire de l'IERS ;
- Paris (France), le 22 juin 2005, pour une réunion du groupe de travail « physique fondamentale » du CNES.

P. Wolf s'est rendu à :

- Paris (France), les 6 et 7 juillet 2004, invité au Séminaire de prospective scientifique du CNES ;
- Potsdam (Allemagne), du 14 au 18 février 2005, invité à la conférence en l'honneur du centenaire d'Einstein intitulée « Special Relativity, will it survive the next 100 years? », et pour une présentation intitulée « Some Tests of Lorentz Invariance: Recent Experiments and Outlook for the Near Future » ;
- Besançon (France), du 21 au 24 mars 2005, pour la 19^e réunion de l'EFTF, et pour une présentation intitulée « Modern Rotating Michelson Morley Experiment using Cryogenic Sapphire Oscillators » ;
- Les Houches (France), du 6 au 9 juin 2005, pour l'atelier « QED 2005 », et pour une présentation intitulée « Measuring Forces in the Casimir Regime Using Cold Atoms in an Optical Lattice ».

4.9 Activités en liaison avec des organisations extérieures

E.F. Arias est membre de l'UAI et participe à trois de ses groupes de travail sur la nutation, sur le système de référence céleste international (ICRF) et sur la redéfinition de l'UTC. Elle est membre associée de l'IERS et membre de l'International Celestial Reference System Product Centre et du Conventions Product Centre de l'IERS. Elle est membre de l'International VLBI Service (IVS) et de son groupe de travail sur l'analyse de l'International Celestial Reference Frame. Elle représente le BIPM au directoire de l'IGS et à l'Action Team on GNSS de COPUOS. Elle est membre de l'Argentine Council of Research (CONICET), astronome associée au SYRTE (Observatoire de Paris) et correspondante du Bureau des longitudes. Elle représente le BIPM au Groupe de travail 7A du Groupe d'étude 7 de l'UITR, et membre du Special Rapporteur Group on the future of UTC.

W. Lewandowski représente le BIPM au Civil GPS Service Interface Committee et il préside son sous-comité sur le temps. Il est aussi membre du conseil scientifique du Space Research Centre de l'Académie des sciences de Pologne.

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

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

4.10 Activités liées au travail des Comités consultatifs

E.F. Arias est secrétaire exécutive du CCTF. Elle est membre du Groupe de travail du CCTF sur les comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite.

W. Lewandowski est secrétaire du Groupe de travail du CCTF sur les comparaisons de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite et du Groupe de travail du CCTF sur la normalisation des comparaisons d'horloges utilisant les systèmes de navigation par satellite à couverture globale (CGGTTS).

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

4.11 Visiteurs de la section du temps

- Mme G. Panfilo (IEN), du 1^{er} juillet au 15 septembre, du 1^{er} au 15 octobre et du 22 novembre au 1^{er} décembre 2004.
- Réunion du directoire de l'IERS, le 23 septembre 2004.
- M. D.N. Matsakis (USNO), le 29 mars 2005.
- M. J. Marendic-Miljkovic (ZMDM), le 13 avril 2005.

5 ÉLECTRICITÉ (T.J. WITT)

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

5.1.1 Mesures de réseaux de jonctions de Josephson

Nous avons débuté cette année un nouveau programme pour mettre à niveau notre équipement à effet Josephson et pour mettre au point un dispositif de Josephson plus portable pour les comparaisons sur site.

Deux nouveaux porte-échantillons pour les réseaux de Josephson sont en cours de fabrication, dont un pour le dispositif transportable. Ces supports de sondes seront utilisables pour les deux types de réseaux de jonctions de Josephson supraconducteur-isolant (SIS) et supraconducteur-isolant métal-normal-isolant-supraconducteur (SINIS). De nouvelles sources à ondes millimétriques ont été commandées. L'une d'elles est compacte et programmable ; elle sera utilisée pour les mesures de jonctions SINIS et pour les comparaisons sur site.

Un nouveau système est en cours de mise au point pour mesurer les diodes de Zener à 1,018 V utilisant directement un réseau SINIS comme étalon de référence.

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

Le rapport de la comparaison d'étalons à effet Josephson de tension proche de 1 V de l'EUROMET a été approuvé par le CCEM et les résultats sont maintenant publiés dans la base de données du BIPM sur les comparaisons clés. Les résultats de mesure du BIPM sont utilisés pour lier cette comparaison à la valeur de référence de la comparaison clé.

5.1.3 Mesures de diodes de Zener

Nous utilisons des commutateurs rotatifs spéciaux ayant des forces électromotrices résiduelles thermiques très faibles pour connecter et renverser la polarité des étalons de tension fondés sur des diodes de Zener, et des moteurs pas à pas pour activer les commutateurs rotatifs. Ceux-ci seront incorporés dans le nouveau système de mesure entièrement automatisé qui utilisera un réseau SINIS comme étalon de référence de tension.

5.2 Résistance électrique et impédance

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

Nous avons commencé cette année la mise à niveau de notre comparateur de courant cryogénique. Un détecteur à interféromètre quantique supraconducteur (SQUID) en courant continu a été acheté et essayé. Pour les basses fréquences jusqu'à, au moins, 0,1 Hz, le niveau de bruit obtenu avec le SQUID en courant continu est beaucoup plus faible qu'avec le SQUID à radiofréquence utilisé jusqu'à maintenant comme détecteur de zéro dans notre pont à résistance fondé sur un comparateur de courant cryogénique.

Une nouvelle bobine est en construction pour le comparateur de courant cryogénique ; elle sera couplée avec le SQUID en courant continu.

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

Nous avons terminé les modifications des quatre condensateurs en silice fondue de type AH (deux condensateurs de 10 pF et deux de 100 pF). Ces condensateurs disponibles dans le commerce ont une capacité de fuite relativement élevée (environ 5 pF) entre la borne « haute » et le châssis à la terre qui entoure les quatre condensateurs. Dans ces conditions, la réalisation de la définition à deux paires de bornes de chaque étalon de capacité est imparfaite et ceci peut affecter les mesures de capacité effectuées avec le pont coaxial en courant alternatif. La modification nous a été suggérée par le NPL ; elle implique de placer des écrans électrostatiques supplémentaires entre le condensateur et le circuit imprimé du contrôleur de température du condensateur qui avait été placé à l'origine trop près des bornes du condensateur. La modification est relativement délicate parce qu'elle demande de dessouder de nombreuses connexions au condensateur. Les quatre condensateurs ont été modifiés avec succès. La capacité de fuite résiduelle est maintenant négligeable (inférieure à 0,01 pF).

Tous les éléments d'un pont de capacité pour l'étalonnage d'étalons de capacité de 1 pF par rapport au condensateur calculable qui sera installé au BIPM ont été construits. Ceci inclut un transformateur d'alimentation, un diviseur inductif principal de rapports 2,5/1 et 5/1, et un transformateur pour étalonner les deux rapports. Le pont et sa source de tension sont conçus pour fonctionner à 250 V dans le domaine de fréquence compris entre 1000 Hz et 4000 Hz. Les premiers essais indiquent que l'écart entre les rapports et leur valeur nominale est de l'ordre de 2×10^{-7} en valeur relative à 1600 Hz et que les rapports peuvent être étalonnés à 1×10^{-9} en valeur relative.

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

Nous avons terminé notre analyse des cycles de mesures de tension en courant continu avec inversion de la polarité et publié les résultats (voir 5.8.1, point 2). Les principales conclusions sont que l'inversion de polarité n'a pas d'effet sur le bruit intrinsèque en $1/f$ des étalons de tension électroniques fondés sur des diodes de Zener. Un modèle détaillé du bruit de ces instruments émerge de ce travail. On voit que le bruit n'inclut pas seulement la composante de bruit en $1/f$, mais aussi un niveau intrinsèque de

bruit blanc étonnamment élevé. De même, les résultats de notre collaboration avec le NIST ont été publiés (*voir* 5.8.1, point 3). La principale conclusion de ce travail est que les résultats des niveaux de bruit en $1/f$ mesurés sur 25 diodes de Zener au NIST corroborent ceux obtenus avec les 13 diodes de Zener mesurées au BIPM et les placent sur une base statistique solide. La conclusion est que toutes les tensions de sortie des diodes de Zener que nous avons étudiées sont limitées par le bruit en $1/f$ qui varie de manière significative selon la technologie employée dans leur fabrication, et que pour chaque type d'instrument le niveau de bruit varie peu pour les instruments de ce type. Cette année, nous avons commencé à déterminer les coefficients de pression des diodes de Zener en appliquant périodiquement une pression variable à basse fréquence. Cette méthode est analogue à celle présentée l'année passée par la détermination des coefficients de température.

5.4 Analyse des séries temporelles des résultats de mesure

(T.J. Witt)

Nous poursuivons notre collaboration avec la section de chimie du BIPM sur les applications de la méthode d'analyse des séries temporelles aux mesures photospectrométriques répétées de concentration molaire de l'ozone dans l'azote. Nous avons presque terminé la caractérisation d'un modèle qui permettra de calculer la variance de la moyenne d'un certain nombre de mesures répétées tout en tenant compte avec rigueur des corrélations entre les mesures successives.

Nous avons appliqué l'analyse par la variance d'Allan et calculé les fonctions d'autocorrélation pour les séries de mesures répétées qui entrent dans la détermination expérimentale au BIPM de la constante newtonienne de gravitation, G . Les résultats de ces analyses sont utilisés pour concevoir les mesures de routine de manière à les répéter juste le temps que ces mesures resteront non corrélées.

5.5 Thermométrie (S. Solve et M. Stock)

Compte tenu de l'augmentation de la charge de travail de la section, le nombre d'étalonnage de thermomètres pour les autres sections du BIPM a dû être considérablement réduit. Dans le futur, nous étalonnerons uniquement les thermomètres à résistance de platine nécessitant la plus haute exactitude. Ces étalonnages sont limités au domaine de température situé entre le point triple de l'eau (~ 0 °C) et le point de fusion du gallium (~ 30 °C). Les étalonnages les moins critiques seront effectués par un laboratoire accrédité.

Afin de maintenir la qualité de nos étalons primaires, quatre cellules à point triple de l'eau et un dispositif à point de fusion du gallium ont été commandés.

Le projet A de rapport de la comparaison clé de cellules à point triple de l'eau (CCT-K7), organisée et effectuée par le BIPM, a été distribué en septembre 2004. Toutefois, lors de sa session de juin 2005, le CCT n'a pas approuvé le rapport final, des changements complémentaires ayant été demandés.

L'incertitude faible obtenue lors de cette comparaison (13 μK) a révélé des différences significatives entre les réalisations nationales du point triple de l'eau. L'écart-type des étalons de référence nationaux est d'environ 50 μK , mais la différence maximale entre les résultats est de 171 μK . La qualité de la comparaison est telle qu'il est possible de distinguer entre deux groupes différents de réalisations, correspondant à deux interprétations différentes de la réalisation du point triple de l'eau. Alors que la définition du kelvin dans le SI ne précise pas quelle est la composition isotopique de l'eau d'une cellule à point triple de l'eau, le document *Supplementary Information for the ITS-90** stipule que celle-ci correspond à la composition isotopique de l'eau de l'océan. Un nombre restreint de laboratoires appliquent des corrections pour la composition isotopique de leur eau, mais la plupart d'entre eux ne le font pas. La différence de température correspondante est d'environ 100 μK . Par conséquent, les documents actuels sur le kelvin et l'Échelle internationale de température de 1990 ont été considérés comme n'étant pas assez clairs et un groupe de travail du CCT a été formé afin de proposer une solution au comité. Une clarification a été ajoutée par la suite à la définition du kelvin dans le SI, spécifiant explicitement la composition isotopique de l'eau, qui sera publiée dans la 8^e édition de la Brochure sur le SI. Cette information réduira considérablement l'incertitude liée à la définition du kelvin. La comparaison est considérée comme un grand succès du point de vue scientifique, car elle conduira à une amélioration significative dans le domaine de la thermométrie primaire.

5.6 Comparaisons clés continues du BIPM d'étalons électriques

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

Dans le cadre du programme de comparaison clés continues du BIPM, nous avons terminé deux nouvelles comparaisons d'étalons de tension de 10 V à réseaux de jonctions de Josephson, l'une avec le NPL (Royaume-Uni) en septembre 2004 et l'autre avec le NRC (Canada) en octobre 2004.

* Échelle internationale de température de 1990.

Les résultats, exprimés sous la forme d'une différence relative entre les valeurs attribuées au réseau de jonctions de Josephson étalon de 10 V par le NPL (U_{NPL}), par le NRC (U_{NRC}) et sa valeur théorique (U_{BIPM}) sont les suivants :

$$\begin{aligned}(U_{\text{NPL}} - U_{\text{BIPM}})/U_{\text{BIPM}} &= -1,5 \times 10^{-10}, & u_c/U_{\text{BIPM}} &= 2,2 \times 10^{-10} \\ (U_{\text{NRC}} - U_{\text{BIPM}})/U_{\text{BIPM}} &= +2,8 \times 10^{-10}, & u_c/U_{\text{BIPM}} &= 3,1 \times 10^{-10}\end{aligned}$$

où u_c est l'incertitude-type totale composée.

Une comparaison bilatérale de diodes de Zener à 10 V avec le NML (Irlande) a été effectuée en avril 2005. Le résultat de cette comparaison, exprimé de la même manière que ci-dessus, est le suivant :

$$(U_{\text{NML}} - U_{\text{BIPM}})/U_{\text{BIPM}} = +0,30 \times 10^{-7}, \quad u_c/U_{\text{BIPM}} = 1,36 \times 10^{-7}.$$

Les résultats de ces comparaisons ont été approuvés par le CCEM pour être inclus dans les comparaisons BIPM.EM-K10.b et -K11.b publiées dans la base de données du BIPM sur les comparaisons clés.

Dans le domaine des étalons de résistance en courant continu, nous avons terminé les comparaisons à 1 Ω et à 10 k Ω avec le NML (Irlande). Les résultats ont été approuvés par le CCEM pour être inclus dans les comparaisons BIPM.EM-K13.a et -K13.b publiées dans la base de données du BIPM sur les comparaisons clés.

Dans le domaine des étalons de capacité, nous avons terminé une comparaison à 100 pF avec le NML (Irlande). Les résultats ont été approuvés par le CCEM pour être inclus dans la comparaison BIPM.EM-K14.b publiée dans la base de données du BIPM sur les comparaisons clés.

5.7 Étalonnages

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

La section d'électricité a effectué cette année les étalonnages suivants : étalons à diode de Zener de 1,018 V et de 10 V pour la Belgique, la Bulgarie et la Roumanie ; étalons de résistance de 1 Ω pour l'Autriche, la Belgique, la Hongrie, Israël, le Portugal, la République tchèque, la Slovaquie et la Thaïlande ; étalons de résistance de 100 Ω pour la Belgique ; étalons de résistance de 10 k Ω pour l'Autriche, la Belgique, le Danemark, la Hongrie, le Portugal et la Thaïlande ; étalons de capacité de 1 pF pour l'Afrique du Sud, le Brésil et la Thaïlande ; étalons de capacité de 10 pF pour la Belgique, le Brésil, l'Espagne, la Grèce, la Pologne, la Roumanie, la Slovaquie et la Thaïlande ; et étalons de capacité de 100 pF pour la Belgique, le Brésil, la Grèce, la Roumanie et la Thaïlande.

5.8 Publications, conférences et voyages : section d'électricité

5.8.1 Publications extérieures

1. Delahaye F., Goebel R., Evaluation of the frequency dependence of the resistance and capacitance standards of the BIPM, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 2005, **54**, 533-537.
2. Witt T.J., Allan variances and spectral densities for DC voltage measurements with polarity reversals, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 2005, **54**, 550-553.
3. Witt T.J., Tang Y., Investigations of noise in measurements of electronic voltage standards, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 2005, **54**, 567-570.

5.8.2 Rapports BIPM

4. Power O., Delahaye F., Bilateral comparison of 100 pF capacitance standards (ongoing BIPM key comparison BIPM.EM-K14.b) between the NML, Ireland and the BIPM, January/April 2004, *Rapport BIPM-2004/10*, 7 p.
5. Delahaye F., Power O., Jaouen A., Witt T.J., Bilateral comparison of 1 Ω standards (ongoing BIPM key comparison BIPM.EM-K13.a) between the NML (Ireland) and the BIPM, June 2004, *Rapport BIPM-2004/13*, 5 p.
6. Delahaye F., Power O., Jaouen A., Witt T.J., Bilateral comparison of 10 k Ω standards (ongoing BIPM key comparison BIPM.EM-K13.b) between the NML (Ireland) and the BIPM, June 2004, *Rapport BIPM-2004/14*, 6 p.
7. Reymann D., Solve S., Porter C.H., Jansen T.J.B.M., Williams J.M., Comparison of the Josephson voltage standards of the NPL and the BIPM (part of the ongoing BIPM key comparison BIPM.EM-K10.b), *Rapport BIPM-2005/02*, 10 p.
8. Reymann D., Solve S., Wood B., Comparison of the Josephson voltage standards of the NRC and the BIPM (part of the ongoing BIPM key comparison BIPM.EM-K10.b), *Rapport BIPM-2005/03*, 14 p.
9. Reymann D., Power O., Witt T.J., Bilateral comparison of 10 V standards between the NML (Ireland) and the BIPM, March to April 2005 (part of the ongoing BIPM key comparison BIPM.EM-K11.b), *Rapport BIPM-2005/04*, 6 p.

5.8.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

T.J. Witt s'est rendu :

- au GUM, Varsovie (Pologne), pour la 17^e réunion des personnes chargées des relations dans le domaine de l'électricité et du magnétisme au sein de l'EUROMET, les 14 et 15 octobre 2004. Il y a présenté un exposé intitulé « New developments in the BIPM Electricity section » ;
- à Beijing (Chine), pour la 7^e réunion du Comité technique de l'APMP sur l'électricité et le magnétisme, les 18 et 19 octobre 2004. Il y a présenté un exposé résumant les travaux de la section d'électricité du BIPM jusqu'en octobre 2004 et un bref rapport sur la 17^e réunion des personnes chargées des relations dans le domaine de l'électricité et du magnétisme au sein de l'EUROMET qui s'était tenue la semaine précédente ;
- au METAS, Bern (Suisse), le 4 novembre 2004, pour une réunion d'experts sur les expériences de balance du watt, et pour des démonstrations et un exposé intitulé « Demonstration of Practical Methods for Treating Serial Correlations in Experimental Observations ».

F. Delahaye, R. Goebel, D. Reymann, S. Solve, M. Stock et T.J. Witt se sont rendus au METAS, Bern (Suisse), du 23 au 25 mai 2005, pour la réunion des experts en métrologie électrique quantique de l'EUROMET :

- F. Delahaye y a présenté un exposé intitulé « Introduction to coaxial bridges » ;
- D. Reymann et S. Solve y ont présenté un poster intitulé « BIPM Josephson comparisons: what's new? ».

M. Stock s'est rendu :

- à la PTB, Berlin (Allemagne), les 20 et 21 janvier 2005, à l'atelier sur les nouvelles méthodes de détermination de la constante de Boltzmann ;
- au BEV, Vienne (Autriche), les 5 et 6 avril 2005, pour la réunion des personnes chargées des relations dans le domaine de la thermométrie de l'EUROMET, et pour un exposé sur la comparaison CCT-K7 de cellules à point triple de l'eau.

S. Solve s'est rendu à la PTB, Braunschweig (Allemagne), du 4 au 15 avril 2005, pour travailler avec R. Behr aux essais et aux mesures des réseaux de jonctions de Josephson.

5.9 Activités en liaison avec des organisations extérieures

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

Il est membre du comité technique de la CPEM 2006.

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

5.10 Activités liées au travail des Comités consultatifs

T.J. Witt est secrétaire exécutif du CCEM, membre du Groupe de travail du CCEM pour les grandeurs aux basses fréquences et il participe aux réunions du Groupe de travail du CCEM pour les grandeurs aux radiofréquences. Il assiste aux réunions des présidents des comités techniques des organisations régionales de métrologie dans les domaines de l'électricité et du magnétisme.

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

5.11 Visiteurs de la section d'électricité

- M. J. Schurr (PTB), pour une visite et des discussions sur les mesures de la résistance de Hall quantifiée en courant alternatif, les 19 et 20 octobre 2004.
- M. C. Apfeldorfer, responsable de la Division des étalons physiques (INPL), le 24 novembre 2004.
- M. G. Kyriazis (INMETRO), pour une visite et des discussions sur l'analyse du bruit et des corrélations de séries de mesures électriques, le 18 mars 2005.
- Mme L. Gomez (National Metrology Institute of Columbia), le 21 mars 2005.
- M. G. Popovici, responsable du Laboratoire des grandeurs électriques (INM), le 4 avril 2005.
- M. Nienfan Zhang (NIST), les 20 et 21 juin 2005.
- MM. A. Eichenberger et F. Overney (METAS), le 23 juin 2005.
- M. B. Wood (NRC), le 27 juin 2005.
- MM. W. Poirier et F. Schopfer (LNE), le 28 juin 2005.

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

6.1 Rayons x et γ (P.J. Allisy-Roberts, D.T. Burns, C. Kessler et S. Picard ; P. Roger)

6.1.1 Étalons et équipements pour la dosimétrie

Les calculs des facteurs de correction de la source étalon de ^{60}Co pour le kerma dans l'air au moyen du code de Monte Carlo sont maintenant terminés. Les résultats ont été présentés au CCRI et à l'atelier du BIPM sur les incertitudes en dosimétrie. Vingt-cinq experts appartenant à dix-huit laboratoires nationaux ont participé à cet atelier. Un article sur la nouvelle évaluation du kerma dans l'air a été soumis pour publication à *Physics in Medicine and Biology*. Le changement qui en découle pour cet étalon s'élève à 0,46 %, principalement en raison de la correction pour la non-uniformité axiale du champ de rayonnement. Suite aux discussions et à l'accord du CCRI, ce changement sera appliqué après la publication de cet article, mais pas avant 2007.

Les simulations de Monte Carlo ont aussi été utilisées pour calculer les spectres des rayons x aux faibles énergies au BIPM. Ils ont été comparés aux spectres mesurés au moyen du nouveau spectromètre Compton et à ceux déterminés précédemment avec le spectromètre du NMi. L'accord est excellent à 50 kV et il est assez bon à 30 kV. Cependant, à 10 kV, les résultats obtenus avec le spectromètre de Compton ne sont pas en bon accord avec ceux obtenus avec le spectromètre du NMi. Les calculs de Monte Carlo à 10 kV devraient aider à expliquer cette différence.

Les travaux sur le nouveau calorimètre en graphite étalon ont progressé. Des mesures préliminaires de la capacité calorifique spécifique des deux échantillons en graphite ont été effectuées, avec une incertitude statistique relative d'environ 6×10^{-4} . Les effets systématiques dominent les incertitudes, et il a été nécessaire d'améliorer l'isolation thermique de l'appareil pour en comprendre la cause et les réduire. Plusieurs méthodes d'analyse des données ont été testées et une nouvelle méthode fondée sur une modélisation empirique du système a été mise au point. Après une interruption due à une panne de l'appareil, une étude de la capacité calorifique spécifique d'un groupe d'échantillons en graphite est en cours.

Suite au changement du tube à rayons x aux moyennes énergies, les qualités de rayonnement de référence du CCRI ont été rétablies après avoir mesuré les couches de demi-atténuation et les coefficients d'étalonnage de la

chambre de référence. Les nouvelles qualités ont des taux de kerma dans l'air plus élevés, et il a fallu mesurer à nouveau les corrections pour la recombinaison des ions de l'étalon primaire.

Les mesures utilisant des champs de différentes tailles pour les rayons x aux basses énergies ont montré la nécessité de définir et d'appliquer des corrections pour la taille du champ pendant les comparaisons et les étalonnages. Une étude similaire sera effectuée pour les rayons x aux moyennes énergies. De nouveaux courants d'anode de référence ont été établis suite à une décroissance systématique du flux de photons à la sortie du tube à 10 kV, que l'on pensait à l'origine due à l'accumulation de dépôts à l'intérieur de la fenêtre du tube. Le coefficient d'atténuation dans l'air à 10 kV a été remesuré : les résultats montrent qu'il n'est pas affecté par ce processus.

Les mesures du profil horizontal et vertical du faisceau ont été faites dans l'air après réparation du mécanisme d'exposition de la source de ^{60}Co à 250 TBq. Le profil horizontal du faisceau des sources à 250 TBq et à 170 TBq dans l'eau a aussi été mesuré. Les deux sources ont été utilisées en parallèle pendant les comparaisons et les étalonnages. Après correction des effets connus, on observe une différence résiduelle d'environ 0,1 % pour les coefficients d'étalonnage dans les deux faisceaux. Elle est actuellement à l'étude. Des fantômes appropriés et des bancs expérimentaux ont été construits pour le nouveau faisceau.

Une chambre étalon prototype à cavité en graphite a été assemblée et vérifiée. Les résultats sont en assez bon accord avec l'étalon existant, mais il faut poursuivre les travaux sur la détermination exacte du volume de la chambre.

Les mesures primaires et les étalonnages de la chambre de référence se poursuivent pour tous les faisceaux de référence pour les rayons x et pour le rayonnement γ , et pour les nouvelles qualités de rayonnement pour la mammographie. Pour se conformer aux exigences du Système Qualité, des efforts considérables ont été effectués pour l'étalonnage et la maintenance des équipements utilisés pour les étalonnages et les comparaisons.

Le rapport d'une comparaison du CCRI de dosimètres pour la mesure des rayonnements industriels à des doses absorbées très élevées (kGy), dont le BIPM est le laboratoire pilote, a été soumis pour publication à *Radiation Physics and Chemistry*.

6.1.2 Comparaisons de dosimétrie

Des comparaisons de kerma dans l'air pour les rayons x aux basses énergies et pour le rayonnement γ du ^{60}Co ont été effectuées en novembre 2004 avec

le NMIJ (Japon), en décembre 2004 avec l'ENEA (Italie) et en juin 2005 avec l'ITN (Portugal), respectivement. Les rapports des précédentes comparaisons de kerma dans l'air aux moyennes énergies avec le NIST (États-Unis), dans le ^{60}Co avec le LNMRI (Brésil), dans le ^{137}Cs avec le NMIJ (Japon), et de dose absorbée dans l'eau avec le LNE-LNHB (France) ont été publiés. Le rapport résumé de toutes les comparaisons précédentes de dose absorbée dans l'eau a aussi été publié et les résultats ont été entrés dans la KCDB après approbation du CCRI. Le projet B du rapport résumé de toutes les comparaisons précédentes de kerma dans l'air dans le ^{60}Co est en préparation et sera soumis pour approbation à la Section I du CCRI. Un certain nombre de rapports de comparaisons avec le BARC (Inde), le LNE-LNHB (France), le NIM (Chine), le NPL (Royaume-Uni) et la PTB (Allemagne) sont aussi en préparation. Le rapport de comparaison avec l'ENEA (Italie) sera bientôt prêt à être publié.

Suite à l'approbation par la Section I du CCRI en mai 2005 des nouvelles valeurs des facteurs de correction, fondés sur des calculs de Monte Carlo, en particulier pour la non-uniformité axiale du faisceau de rayonnement γ du ^{60}Co , une nouvelle valeur de l'évaluation du kerma dans l'air pour le BIPM sera publiée et mise en œuvre à une date convenue, probablement le 1^{er} juillet 2007.

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

Les quatre chambres de transfert pour la comparaison clé du CCRI de dose absorbée aux hautes énergies continuent à être mesurées périodiquement dans le faisceau de ^{60}Co du BIPM.

6.1.3 Étalonnage d'étalons nationaux pour la dosimétrie

Le rapport révisé du BIPM sur les conditions de mesure des étalonnages pour la dosimétrie a été publié ; il inclut les changements concernant les étalons de rayons x publiés précédemment. L'audit interne des services d'étalonnage s'est achevé en août 2004. Il n'a pas été relevé de non-conformité.

Trois séries d'étalonnages d'étalons nationaux ont été effectuées pour les rayons x aux basses et aux moyennes énergies : pour l'AIEA, pour le CSIR-NML (Afrique du Sud) et pour le LNE-LNHB (France).

Treize étalonnages d'étalons nationaux ont été effectués dans les faisceaux de rayonnement gamma du BIPM pour le kerma dans l'air, la dose absorbée

dans l'eau et l'équivalent de dose ambiant, à la demande de l'AIEA, du CSIR-NML (Afrique du Sud) et de l'ITN (Portugal).

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

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

6.2.1 Comparaisons clés internationales de mesures d'activité

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

Les sept comparaisons les plus récentes ont fait l'objet d'un atelier au BIPM en novembre 2004. Vingt-cinq participants appartenant à dix-huit laboratoires différents ont contribué à son succès.

Pour faire face à la charge de travail supplémentaire engendrée par le programme de comparaison, le laboratoire de radiochimie a été mis à niveau ; une nouvelle balance a été achetée et l'on équipe actuellement la salle des balances d'un nouveau système de conditionnement d'air afin de remplacer le système originel installé il y a plus de trente ans. Les effets des changements sur les mesures de masses sont à l'étude. L'adoption d'un nouveau système de sécurité pour tous les produits chimiques au BIPM a été bénéfique, mais il a occasionné une charge de travail administratif considérable pour la section.

6.2.2 Comparaison de mesures d'activité d'une solution de ^{241}Am

Certains laboratoires ont décelé la présence d'impuretés dans la solution de ^{241}Am distribuée par le NPL et des mesures supplémentaires ont été demandées aux laboratoires par le Groupe de travail sur les comparaisons clés, afin de déterminer le niveau d'impureté et d'appliquer des corrections appropriées, pour garantir les résultats de cette comparaison.

Le projet A de rapport sera corrigé en conséquence, quand les résultats auront été reçus, puis il sera distribué aux participants.

6.2.3 Comparaison de mesures d'activité d'une solution de ^{65}Zn

Une solution de ZnCl_2 dans de l'acide chlorhydrique à $0,5 \text{ mol/dm}^3$ a été préparée par l'IRMM ; 23 ampoules ont ensuite été envoyées au BIPM pour être mesurées dans les chambres d'ionisation du SIR. Dix-neuf ampoules ont ensuite été envoyées aux participants. La solution ne contenait aucune impureté. Plusieurs techniques de mesure différentes ont été utilisées, les plus courantes utilisant la méthode de comptage des coïncidences au moyen de compteurs proportionnels fonctionnant à la pression atmosphérique. Vingt-sept résultats ont été soumis au BIPM, avec une dispersion de 2 % environ, si l'on exclut l'un des résultats de la série, considéré comme aberrant. Le projet A de rapport est presque terminé et il devrait être distribué cet été aux participants.

6.2.4 Comparaison de mesures d'activité d'une solution de ^{125}I

La comparaison de mesures d'activité d'une solution de ^{125}I est maintenant terminée. Le projet A de rapport est terminé et sera distribué aux 22 participants avant la fin du mois de juin 2005. Trente-cinq résultats obtenus avec vingt méthodes différentes ont été communiqués au BIPM. La plupart des résultats sont en assez bon accord, mais six d'entre eux montrent des différences importantes inexpliquées.

6.2.5 Comparaison de mesures d'activité d'une solution de ^{32}P

La solution de ^{32}P , pour les mesures supplémentaires recommandées par la Section II du CCRI afin d'identifier les différences trouvées par trois participants dans la comparaison de ^{32}P qui vient de s'achever, a été distribuée par la PTB à la fin du mois de janvier 2005. Les participants aux mesures supplémentaires comprennent ces trois laboratoires, trois laboratoires effectuant la liaison avec la comparaison précédente et cinq nouveaux participants : le BARC, le BIPM, le LNE-LNHB, le LNMRI, le CSIR-NML, l'IRA (Suisse), l'IRMM, le NIST, le NMIJ, la PTB et le RC (Pologne). La date limite pour soumettre les résultats a été repoussée à la fin du mois de juin 2005 à la demande et avec l'accord des participants, afin de disposer de plus de temps pour mettre en œuvre les méthodes expérimentales. Le projet A de rapport sera ensuite préparé.

6.2.6 Comparaison de mesures d'activité d'une solution de ^{54}Mn

Le projet A de rapport a été distribué aux 23 participants ; les corrections et améliorations qu'ils ont envoyées seront incorporées au projet B de rapport, actuellement en préparation.

6.2.7 Comparaison de mesures d'activité d'une solution de ^{90}Y

Les résultats de la comparaison ont été publiés sur le Web.

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

En 2004, le BIPM a reçu vingt ampoules appartenant à neuf laboratoires : le BARC, le CIEMAT, l'IRMM (deux ampoules remplies de deux radionucléides différents), le NIST, le NMIJ (sept ampoules remplies de trois radionucléides différents), le NPL, l'OMH et la PTB (quatre ampoules remplies de trois radionucléides différents) et le RC. Douze radionucléides différents ont été mesurés, donnant dix-huit nouveaux résultats pour les radionucléides ^{18}F , ^{22}Na , ^{51}Cr (deux résultats), ^{57}Co , ^{60}Co , ^{85}Sr , ^{109}Cd (deux résultats), ^{131}I , ^{134}Cs (quatre résultats), ^{137}Cs (deux résultats), ^{139}Ce et ^{153}Sm . Depuis les débuts du SIR en 1976, 872 ampoules ont été mesurées, avec au total 634 résultats indépendants pour 62 radionucléides différents.

De plus, cinq ampoules préparées par le NPL pour la comparaison internationale de ^{125}I ont été mesurées dans les chambres d'ionisation du SIR afin de fournir un lien direct et robuste entre les résultats individuels de la comparaison de ^{125}I de la Section II du CCRI et la valeur de référence de la comparaison clé pour ce radionucléide. Malheureusement, l'activité soumise était trop faible pour que ce soit réalisable.

Le nouveau système de mesure du SIR est en cours de vérification et fonctionne en parallèle avec le précédent système, afin de valider le dispositif expérimental et le logiciel d'acquisition. Jusqu'au début de 2005, la seconde chambre du SIR n'avait été vérifiée qu'en mesurant les sources de référence du ^{226}Ra . Les mesures des ampoules dans le SIR sont maintenant effectuées dans cette chambre d'ionisation, ainsi, dans le futur, les deux chambres seront entièrement caractérisées et étalonnées.

Douze rapports de comparaisons en continu du BIPM ont été publiés dans la KCDB au cours des douze derniers mois, avec des liens vers les comparaisons de la Section II du CCRI et celles des organisations régionales de métrologie dans quatre cas. Un autre projet B de rapport est en circulation et quatre autres sont en préparation.

Le projet mené en collaboration avec le NPL sur la détermination d'une solution mathématique permettant de calculer les courbes d'efficacité des photons et des électrons dans le SIR en fonction de l'énergie touche à sa fin. Le modèle mathématique inclut la correction pour les impuretés de chaque mesure du SIR et un calcul de la forme des spectres bêta. Les incertitudes et les corrélations sont traitées en détail. Les résultats sont en cours d'analyse et les courbes soutiennent favorablement la comparaison avec les simulations préliminaires par la méthode de Monte Carlo faites par l'IRA et avec la courbe publiée précédemment, qui a été mise à jour avec les mêmes résultats du SIR et les mêmes données nucléaires que les nouvelles courbes.

La mesure des séries d'ampoules de gaz de ^{85}Kr contenant à peu près la même activité, mais une pression interne de Kr comprise entre 800 hPa et 5000 hPa, a démontré l'existence d'une dépendance linéaire de l'activité équivalente du ^{85}Kr à la pression du gaz de Kr de $-45,5 \text{ kBq/hPa}$. Cette dépendance négative est liée au rayonnement de freinage produit par les particules bêta du ^{85}Kr dans le gaz de Kr. Cette étude permet maintenant aux participants au SIR de soumettre des ampoules de ^{85}Kr remplies à la pression de leur choix, un facteur de correction pouvant dorénavant être appliqué. Toutefois, la différence subsiste entre les résultats de deux participants pour le ^{85}Kr dans le SIR ; des études complémentaires sont envisagées avant le début de la comparaison internationale programmée pour 2006. Une étude similaire devra être effectuée pour le gaz de ^{133}Xe .

Plusieurs préparations par scintillation liquide sont à l'étude afin d'identifier la meilleure solution appropriée à l'extension du SIR aux émetteurs de rayonnement alpha et bêta.

6.2.9 Spectrométrie gamma

Des vérifications d'impuretés ont été effectuées pour les radionucléides ^{18}F , ^{57}Co et ^{90}Sr soumis dans le SIR. Aucune impureté significative n'a été identifiée pour aucune de ces ampoules ni pour celles soumises pour la comparaison de mesures d'activité de ^{32}P de la Section II du CCRI. L'ampoule de ^{153}Sm de l'ANSTO a aussi été mesurée, ce qui a permis d'identifier une impureté de ^{156}Eu passée inaperçue dans ce laboratoire. Ceci a permis de réduire la différence entre le résultat de l'ANSTO dans le SIR et la valeur de référence de la comparaison clé.

6.3 Publications, conférences et voyages : section des rayonnements ionisants

6.3.1 Publications extérieures

1. Allisy-Roberts P.J., Radiation quantities and units – understanding the sievert, *J. Radiol. Prot.*, 2005, **25**, 97-100.
2. Allisy-Roberts P.J., Burns D.T., Summary of the BIPM.RI(I)-K4 comparison for absorbed dose to water in ^{60}Co gamma radiation, *Metrologia*, 2005, **42**, *Tech. Suppl.*, 06002.
3. Allisy-Roberts P.J., Burns D.T., Kessler K., Delaunay F., Leroy E., Comparison of the standards for absorbed dose to water of the BNM-LNHB and the BIPM for ^{60}Co γ rays, *Metrologia*, 2005, **42**, *Tech. Suppl.*, 06006.
4. Burns D.T., O'Brien M., Lamperti P., Boutillon M., Comparison of the NIST and BIPM medium-energy x-ray air-kerma measurements, *J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol.*, 2003, **108**, 383-389. <http://www.nist.gov/jres>
5. Ratel G., Evaluation of the uncertainty of the degree of equivalence, *Metrologia*, 2005, **42**, 140-144.
6. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Xe-133 of activity measurements of the radionuclide ^{133}Xe , *Metrologia*, 2004, **41**, *Tech. Suppl.*, 06011.
7. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Sm-153 of activity measurements of the radionuclide ^{153}Sm , *Metrologia*, 2004, **41**, *Tech. Suppl.*, 06012.
8. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Ir-192 of the activity measurements of the radionuclide ^{192}Ir and links for the international comparison CCRI(II)-K2.Ir-192, *Metrologia*, 2004, **41**, *Tech. Suppl.*, 06013.
9. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Zn-65 of activity measurements of the radionuclide ^{65}Zn , *Metrologia*, 2004, **41**, *Tech. Suppl.*, 06014.
10. Ratel G., Michotte C., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Tl-201 of activity measurements of the radionuclide ^{201}Tl , *Metrologia*, 2004, **41**, *Tech. Suppl.*, 06015.
11. Ratel G., Michotte C., Coursol N., Morel J., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Yb-169 of activity measurements of the radionuclide ^{169}Yb and links for the 1997 regional comparison EUROMET.RI(II)-K2.Yb-169, *Metrologia*, 2004, **41**, *Tech. Suppl.*, 06017.

12. Ratel G., Michotte C., García-Toraño E., Los Arcos J.-M., Update of the BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.F-18 of activity measurements of the radionuclide ^{18}F to include the CIEMAT, *Metrologia*, 2004, **41**, *Tech. Suppl.*, 06016.
13. Ratel G., Michotte C., Hino Y., BIPM comparison BIPM.RI(II)-K1.Y-88 of activity measurements of the radionuclide ^{88}Y and links for the 2000 regional comparison APMP.RI(II)-K2.Y-88, *Metrologia*, 2004, **41**, *Tech. Suppl.*, 06010.
14. Ratel G., Michotte C., Kossert K., Janssen H., Activity measurements of the radionuclide ^{131}I for the PTB, Germany in the ongoing comparison BIPM.RI(II)-K1.I-131, *Metrologia*, 2005, **42**, *Tech. Suppl.*, 06004.
15. Ratel G., Michotte C., Nathuram R., Shaha V.V., Activity measurements of the radionuclide ^{22}Na for the BARC, India in the ongoing comparison BIPM.RI(II)-K1.Na-22, *Metrologia*, 2005, **42**, *Tech. Suppl.*, 06005.
16. von Martens H., Elster C., Link A., Wöger W., Allisy P.J., Linking the results of the regional key comparison APMP.AUV.V-K1 to those of the CIPM key comparison CCAUV.V-K1, *Metrologia*, 2004, **41**, *Tech. Suppl.*, 09002.
17. Zimmerman B.E., Ratel G., Report of the CIPM Key Comparison CCRI(II)-K2.Y-90, *Metrologia*, 2005, **42**, *Tech. Suppl.*, 06001.

6.3.2 Rapports BIPM

18. Allisy-Roberts P.J., Kessler C., Mello da Silva C.N., Comparison of the standards for air kerma of the LNMRI/IRD and the BIPM for ^{60}Co γ rays, *Rapport BIPM-2005/01*, 6 p.
19. Allisy-Roberts P.J., Burns D.T., Kessler C., Measuring conditions used for the calibration of ionization chambers at the BIPM, *Rapport BIPM-2004/17*, 20 p.
20. Allisy-Roberts P.J., Burns D.T., Takata N., Koyama Y., Kurosawa T., Comparison of the standards for air kerma of the NMIJ and the BIPM for ^{60}Co γ rays, *Rapport BIPM-2004/11*, 12 p.
21. Allisy-Roberts P.J., Burns D.T., Takata N., Koyama Y., Kurosawa T., Comparison of the standards for air kerma of the NMIJ and the BIPM for ^{137}Cs γ rays, *Rapport BIPM-2004/12*, 8 p.
22. Michotte C., Note on the decay correction required for a radionuclide $^{\text{N}}\text{X}$ in presence of its metastable state $^{\text{N}}\text{X}^{\text{m}}$, *Rapport BIPM-2004/15*, 3 p.

Le BIPM a aussi publié la *Monographie 5* en deux volumes et a placé sur le site Web du BIPM des versions électroniques de toutes les Monographies précédentes.

6.3.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

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

- au CNAM, le 22 septembre 2004, pour le 35^e anniversaire du BNM (qui est dénommé, depuis février 2005, le LNE, France), et le 5 avril 2005, pour assister à la Journée des métrologues ;
- à Londres (Royaume-Uni), le 13 octobre 2004, pour assister au Ionizing Radiation Health and Safety Forum ; le 19 octobre 2004, le 13 janvier et le 19 avril 2005 pour le comité de rédaction du *Journal of Radiological Protection* ; et les 14 et 15 février 2005 pour assister au Royal Society Scientific Discussion meeting on « The fundamental constants of physics, precision measurements and the base units of the SI » ;
- à Coventry (Royaume-Uni), les 21 et 22 octobre 2004, pour assister au DTI Measurement Advisory Committee (MAC) ;
- au LNE (France), le 11 janvier 2005, pour le comité de rédaction de la *Revue française de métrologie* ;
- au NPL (Royaume-Uni), du 23 au 25 février 2005, pour présider les groupes de travail du MAC sur l'acoustique et les rayonnements ionisants, et le 16 mars 2005 pour assister à la réunion sur le programme international du DTI ;
- York (Royaume-Uni), les 14 et 15 mars 2005, pour assister au DTI Measurement Advisory Committee (MAC) ;
- Cardiff (Royaume-Uni), le 15 juin 2005, pour participer à une conférence internationale sur la radioprotection.

D.T. Burns s'est rendu :

- à Arlington, Virginie (États-Unis), du 6 au 10 septembre 2004, pour assister à la commission principale de l'ICRU ;
- au LNE (Paris), du 27 au 29 septembre 2004, comme représentant du BIPM à la réunion des personnes chargées des relations dans le domaine des rayonnements ionisants et à l'atelier de l'EUROMET.

C. Michotte s'est rendue :

- à Geel (Belgique), du 15 au 19 novembre 2004, pour participer à l'atelier VERMI sur les méthodes secondaires d'étalonnage destiné aux jeunes chercheurs (avec S. Courte) et pour un exposé sur la

détermination de la courbe d'efficacité des photons d'une chambre d'ionisation au moyen d'une méthode itérative ;

- à l'ININ (Mexique), du 4 au 13 avril 2005, pour un transfert de technologie dans le domaine de la spectrométrie gamma.

S. Picard s'est rendue au LNE (Trappes), le 10 février 2005, pour rencontrer M. B. Hay (avec D.T. Burns et P. Roger).

G. Ratel s'est rendu :

- à Paris (France), le 18 novembre 2004, pour assister à la réunion de la Société française de radioprotection sur « Les nouvelles orientations en radiobiologie et radiopathologie » ;
- à Rungis (France), les 9 et 10 décembre 2004, pour assister aux Quatrièmes rencontres des personnes compétentes en radioprotection.

6.4 Activités en liaison avec des organisations extérieures

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

D.T. Burns représente le BIPM aux réunions de l'ICRU et est membre du comité de l'ICRU sur les unités et grandeurs fondamentales. Il représente le BIPM aux réunions des personnes chargées des relations dans le domaine des rayonnements ionisants et de la radioactivité au sein de l'EUROMET. Il est conseiller de *Physics in Medicine and Biology* et de *Medical Physics*.

G. Ratel représente le BIPM à l'International Committee for Radionuclide Metrology (ICRM).

C. Michotte représente le BIPM au Groupe de travail 1 du Comité commun pour les guides en métrologie qui s'est réuni en novembre 2004 et en février 2005. Elle en est le rapporteur.

6.5 Activités liées au travail des Comités consultatifs

P.J. Allisy-Roberts est secrétaire exécutive du CCRI et de ses trois Sections, qui se sont réunis en mai 2005, ainsi que du CCAUV, qui s'est réuni en

septembre 2004. Elle a assisté au Groupe de travail des organisations régionales de métrologie du CCAUV et du CCRI, en septembre 2004.

Elle est membre, avec D.T. Burns, des groupes de travail de la Section I du CCRI sur l'équivalence en métrologie (les comparaisons clés), sur les facteurs de correction des chambres à cavité pour le kerma dans l'air et sur les étalons en curiethérapie.

P.J. Allisy-Roberts, C. Michotte et G. Ratel sont membres des groupes de travail de la Section II du CCRI sur les comparaisons clés et sur les radionucléides à courte durée de vie.

G. Ratel est membre des groupes de travail de la Section II du CCRI sur l'extension du SIR aux émetteurs de rayonnement bêta et sur les incertitudes de mesure.

Le BIPM a accueilli un atelier sur les comparaisons de mesures d'activité sous les auspices de la Section II du CCRI en novembre 2004, pendant lequel G. Ratel a fait deux exposés et C. Michotte a présenté les recommandations (ainsi qu'à la Section II du CCRI), ainsi qu'un atelier sur les incertitudes en dosimétrie sous les auspices de la Section I du CCRI en mai 2005, pendant lequel P.J. Allisy, D.T. Burns, C. Kessler et S. Picard ont fait des présentations et dont les conclusions ont été présentées à la Section I du CCRI. Les participants à ces ateliers ont demandé à ce que le BIPM en organise d'autres en 2006 et 2007 respectivement.

6.6 Visiteurs de la section des rayonnements ionisants

- MM. M. Cox et A. Pearce (NPL), le 27 juillet 2004 et le 4 septembre 2004.
- Mme N. Coursol (LNE-LNHB), le 19 août 2004.
- MM. J.T. Cessna et M. Schultz (NIST), le 1^{er} septembre 2004.
- M. N. Takata (NMIJ), le 20 septembre 2004.
- M. A. Nohtomi (NMIJ), le 25 octobre 2004.
- MM. M. Cox, S. Judge et A. Pearce (NPL), le 16 décembre 2004.
- M. P. Cassette (LNE-LNHB), le 18 janvier 2005.
- Mme M. Moune (LNE-LNHB), le 26 janvier 2005.
- M. M.P. Toni (ENEA), le 11 mars 2005.
- M. T. Altizoglou (IRMM), le 22 mars 2005.

6.7 Chercheurs invités

- MM. T. Kurosawa et A. Nohtomi (NMIJ), du 15 au 22 novembre 2004.
- Mme Li Mo (ANSTO), du 22 novembre 2004 au 25 février 2005.
- M. M. Bovi (ENEA), du 13 au 17 décembre 2004.
- M. L. Czap (AIEA), du 13 au 17 juin 2005.
- M. J.V.S. Cardoso (ITN), du 20 au 24 juin 2005.

7 CHIMIE (R.I. WIELGOSZ)

7.1 Programme sur la métrologie des gaz

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

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

Les mesures de l'étude pilote sur l'ozone, au niveau ambiant (CCQM-P28), dont le BIPM est le laboratoire pilote, se sont terminées en mars 2005. Cette étude pilote a permis de déterminer le degré d'équivalence de 23 étalons de référence par rapport aux étalons conservés par le BIPM. Pendant la période finale de l'étude, de juillet 2004 à mars 2005, huit laboratoires sont venus au BIPM pour y participer. Le premier projet du rapport sur l'étude pilote a été envoyé aux participants en avril 2005. Un atelier de deux jours, auquel quarante personnes ont participé, a été organisé au BIPM en avril 2005 afin de discuter des résultats de l'étude. Une version finale du rapport de l'étude pilote sera disponible en octobre 2005, ainsi que le protocole de la nouvelle comparaison clé en continu (BIPM.QM-K1).

7.1.2 Traitement statistique des résultats des comparaisons

La collaboration avec M. W. Bremser du BAM sur le traitement statistique des résultats de la comparaison de mesures d'ozone, qui a débuté en janvier 2004, se poursuit. Le centre d'intérêt de ce projet collaboratif est l'application de la méthode des moindres carrés généralisée à la comparaison des résultats de mesure de deux photomètres mesureurs d'ozone. M. W. Bremser a mis au point un programme (OzonE) dédié au traitement

des résultats de la comparaison de mesures d'ozone. Le logiciel permet de prendre en considération les corrélations entre les résultats de mesure et inclut une méthode nouvelle qui permet de traiter les comparaisons directes aussi bien que les comparaisons effectuées au moyen d'un étalon de transfert. Les essais réalisés au BAM et au BIPM avec des résultats de mesure réels ont confirmé que le choix de douze points d'échantillonnage, comme ceux utilisés pour l'étude pilote CCQM-P28, est un bon compromis entre la réduction de l'incertitude de mesure et le temps consacré à effectuer une comparaison.

7.1.3 Étude des écarts systématiques et de l'incertitude de mesure des photomètres étalons de référence

L'étude des écarts systématiques et de l'incertitude de mesure des photomètres étalons de référence, qui a débuté en 2004, s'est achevée en février 2005. Des mesures complètes de la température du gaz dans les cellules des photomètres étalons de référence ont été effectuées. Les mesures confirment l'existence d'une différence de température de 2 °C à 3 °C entre les extrémités des cellules, selon le modèle du photomètre étalon de référence. De plus, on a constaté un écart de mesure de 0,3 °C de la température délivrée par la sonde de température d'origine de l'instrument, dû à l'auto-échauffement. Les comparaisons approfondies effectuées sur les cinq photomètres étalons de référence conservés au BIPM ont montré un écart de 0,4 % entre les résultats de mesure des photomètres étalons de référence, dus aux effets de la température. Une méthode a été mise au point pour supprimer cet effet ; elle sera appliquée à tous les photomètres étalons de référence utilisés dans les comparaisons futures de mesure d'ozone. Un deuxième écart majeur de 0,5 % entre les résultats de mesure des photomètres étalons de référence a été mis en évidence ; il résulte de la conception optique de l'instrument. Les corrections et leurs incertitudes ont été estimées, et un nouveau bilan d'incertitude sera publié pour l'instrument. Une étude de faisabilité a démontré l'avantage d'utiliser une source de lumière laser dans le photomètre étalon de référence, et un programme pour mettre au point un candidat photomètre primaire de mesure d'ozone fondé sur une source de lumière laser a débuté. L'utilisation du laser à argon à fréquence doublée va être étudiée. Ceci fait suite à une longue période d'essais avec un laser à l'état solide (Ytterbium:YAG), qui s'est avéré incapable de répondre aux spécifications techniques requises pour le système.

7.2 Équipement pour les étalons primaires de dioxyde d'azote (M. Esler ; P. Moussay)

Un équipement primaire servant à préparer dynamiquement des étalons de dioxyde d'azote dans le domaine compris entre $0,5 \mu\text{mol/mol}$ et $10 \mu\text{mol/mol}$, fondé sur une balance à suspension magnétique, a été construit en 2003-2004. Le contrôle informatique et l'automatisation de l'équipement, ainsi que les essais du système, servant à s'assurer qu'il répond bien aux exigences de stabilité, ont été achevés en 2004-2005. Un module d'échantillonnage des mélanges de gaz multiples est en cours de construction pour cet équipement ; il permettra de comparer des mélanges de gaz de dioxyde d'azote, préparés dans des cylindres par la méthode gravimétrique statique, aux mélanges de gaz de référence générés de manière dynamique par cet équipement. Celui-ci sera utilisé pour assigner des valeurs de fractions molaires de dioxyde d'azote aux mélanges contenus dans les cylindres et de vérifier leur stabilité. Le nouveau module traitera automatiquement jusqu'à 15 cylindres simultanément. Une fois terminé, cet équipement servira d'abord de référence primaire pour les mesures de fraction molaire de dioxyde d'azote pour le titrage en phase gazeuse, et aussi pour la comparaison d'étalons de dioxyde d'azote.

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

Un équipement pour le titrage en phase gazeuse destiné à servir, de manière alternative, de méthode primaire potentielle pour les mesures de concentration d'ozone, a été construit en 2003-2004 et a été modifié et amélioré pendant cette période. Le système utilise la dilution dynamique d'étalons de monoxyde d'azote de haute concentration par asservissement du débit massique. Les changements de concentration de monoxyde d'azote sont contrôlés par un analyseur à chimiluminescence et sont comparés à la perte d'ozone déterminée par absorption UV. Dans un premier temps, l'équipement pour le titrage en phase gazeuse était fondé sur des contrôleurs de débit massique étalonnés pour la mesure du flux de gaz, l'incertitude de mesure du système était alors limitée à $>1 \%$. En 2004-2005, une seconde version a été construite ; elle utilise la technologie molbloc/molbox pour les mesures du flux de gaz et a permis d'améliorer de manière significative l'incertitude globale à environ $0,3 \%$. Le système a été entièrement automatisé. Le BIPM a participé à l'étude pilote CCQM-P28 avec ce système de conception nouvelle, et a obtenu un résultat en accord avec celui obtenu de manière indépendante au moyen de l'équipement pour le titrage en phase gazeuse du NIES (Japon), mais présentant un biais par rapport aux mesures

des photomètres mesureurs d'ozone. La source de cette différence sera étudiée dans le programme futur. La mise au point de l'équipement de titrage en phase gazeuse du BIPM a mis en évidence des effets d'interférences chimiques dans la mesure du monoxyde d'azote par la méthode de détection par chimiluminescence. La source de l'interférence a été identifiée au moyen de la méthode d'analyse par spectrométrie infrarouge par transformée de Fourier (*voir* section 8.1.5), puis éliminée.

7.4 Équipement pour les comparaisons d'étalons de monoxyde d'azote (M. Esler ; P. Moussay)

En 2003-2004, un équipement pour les comparaisons d'étalons de monoxyde d'azote de fraction nominale allant de 30 $\mu\text{mol/mol}$ à 70 $\mu\text{mol/mol}$ a été construit. En 2004-2005, cet équipement a été utilisé pour comparer et assigner des valeurs aux étalons de monoxyde d'azote nécessaires pour le titrage en phase gazeuse. Les résultats ont été analysés par la méthode d'analyse des séries temporelles (variance d'Allan) et par la méthode de régression des moindres carrés généralisée. Ceci a permis d'analyser le contenu des étalons de monoxyde d'azote avec une incertitude de mesure équivalente à l'incertitude de la préparation par gravimétrie (0,05 % en valeur relative), en utilisant deux principes d'analyse indépendants : la spectrophotométrie UV et la chimiluminescence. De plus, deux séries de mélanges de gaz de référence primaires de monoxyde et de dioxyde d'azote préparés par gravimétrie, achetées à deux laboratoires nationaux de métrologie, ont été comparées au BIPM. Leur comparaison dans le temps a révélé que les mélanges de référence de l'un des deux laboratoires nationaux de métrologie étaient instables. Les résultats de ces études initiales ont été présentés au Groupe de travail sur l'analyse des gaz du CCQM, et une comparaison pilotée par le BIPM de mélanges de référence de monoxyde d'azote préparés par gravimétrie dans différents laboratoires nationaux de métrologie a été proposée et approuvée. À partir d'octobre 2005, le BIPM coordonnera l'étude pilote CCQM-P73 sur la comparaison de mélanges de monoxyde d'azote préparés par gravimétrie, fournis par douze laboratoires nationaux de métrologie. L'équipement d'origine pour la mesure du monoxyde d'azote est capable de traiter 15 cylindres simultanément. Il a été complété par une seconde unité capable d'échantillonner 30 cylindres. Le logiciel pour automatiser les unités à 15 et 30 ports a été mis au point et vérifié.

7.5 Équipement pour la spectrométrie infrarouge par transformée de Fourier (M. Esler ; P. Moussay)

Un dispositif à roue, programmable et actionnable à distance, a été construit et installé dans le compartiment à échantillon du spectromètre pour la spectrométrie infrarouge par transformée de Fourier. La roue porte une sélection de filtres à bande passante dans l'infrarouge, chacun optimisant le rapport signal sur bruit dans une partie donnée du spectre infrarouge, ce qui réduit l'incertitude des résultats obtenus pour l'analyse de gaz.

Les équipements pour la spectrométrie infrarouge par transformée de Fourier ont été connectés avec un analyseur d'oxyde d'azote du commerce et ont été utilisés pour étudier la chimie en phase gazeuse pour la détection du monoxyde d'azote par chimiluminescence. Cette étude a été entreprise afin d'identifier la source du comportement anormal de l'analyseur de monoxyde d'azote du commerce dans certaines configurations, qui peut entraîner des erreurs de mesure. La source de l'anomalie a été identifiée et l'on envisage une action ultérieure.

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

En 2003-2004, à la demande du CCM et du CCQM, le KRISS a entrepris une redétermination de la fraction molaire de l'argon dans l'air afin de réduire l'écart obtenu entre les différentes méthodes de détermination de la masse volumique de l'air utilisées en métrologie des masses. Deux articles présentant les détails des mesures de l'argon et leurs conséquences pour la métrologie des masses ont été publiés dans *Metrologia*, 2005, **41**, 387-395 et 396-400. Le résultat du KRISS pour l'argon a récemment été corroboré par des études indépendantes au LNE. Ces résultats feront l'objet d'une recommandation du CCM au CIPM afin de réviser la formule pour la masse volumique de l'air.

7.7 Programme d'analyse organique

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

La disponibilité de méthodologies fiables pour la détermination des caractéristiques des matériaux purs est fondamentale pour l'établissement d'un système de mesures chimiques dont les résultats sont traçables au SI. Dans le domaine de l'analyse organique, la pureté est décrite très utilement en termes de fraction molaire du composant présent dans le matériau. Elle peut être déterminée par différentes approches : mesures directes de la

fraction massique ou molaire du composant principal, ou mesures indirectes fondées sur l'identification et l'estimation de la fraction massique des impuretés individuelles et/ou des classes distinctes d'impuretés présentes dans le matériau qui, par soustraction, fournissent une mesure du composant principal du matériau.

La mise en œuvre d'un programme de travail au BIPM dans le domaine des substances organiques pures a commencé avec le recrutement de MM. S. Westwood et R. Josephs et de Mme A. Daireaux, et l'installation d'équipements de laboratoire étayant des activités dans ce domaine. Le but à long terme de ce programme est de permettre au BIPM de soutenir et de participer au programme international du CCQM de comparaisons pour la vérification de la pureté et de contribuer au développement d'approches et de méthodologies robustes pour la détermination de la pureté. Ceci demandera d'étendre la série de comparaisons de l'étude pilote CCQM-P20 de détermination de la pureté, de mettre en œuvre des équipements de laboratoire au BIPM afin de soutenir ces activités, et d'établir un réseau de liaisons internationales pour soutenir et promouvoir ce programme. Ceci assurera que les comparaisons internationales du CCQM s'appuient sur des méthodologies approuvées et documentées pour la détermination de la pureté, et démontrera les aptitudes de mesure des laboratoires assurant des services dans ce domaine. Ce programme ne demandera pas au BIPM de produire des matériaux de référence.

En donnant la priorité à ce programme, le BIPM a examiné les besoins en matière de substances organiques pures nécessaires pour établir des systèmes de mesure de référence en médecine de laboratoire. Tenant compte des intérêts actuels du CCQM et du JCTLM en ce qui concerne les exigences dans le domaine de la médecine de laboratoire, des drogues à usage thérapeutique et des hormones non-peptidiques ont été choisies comme sources de substances spécifiques à analyser pour la pureté dans le cadre de la série de comparaisons de l'étude pilote CCQM-P20. La théophylline et la digoxine ont été identifiées comme matériaux convenant aux études initiales. Leur analyse contribuera de manière complémentaire aux objectifs techniques généraux de l'étude pilote CCQM-P20. Ce sont aussi des substances à analyser importantes en soi, pour lesquelles il n'existe pas actuellement de matériaux de référence certifiés de substances pures. Nous allons aussi entreprendre des études sur la pertinence d'étendre cette comparaison à des hormones stéroïdes importantes du point de vue clinique comme la progestérone, le β -estradiol et la testostérone.

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

Des équipements pour l'évaluation de la pureté sont en cours d'installation pour le programme d'analyse organique de la section de chimie ; ils utilisent des procédures robustes pour l'identification et pour l'addition des impuretés. L'approche générale sera étayée par des techniques d'évaluation directe lorsque c'est possible. Afin de disposer des aptitudes de mesure nécessaires au programme, des infrastructures d'analyse par chromatographie liquide avec spectrométrie de masse, par chromatographie gazeuse avec spectrométrie de masse, par chromatographie gazeuse avec détection par ionisation de flamme, et par analyse calorimétrique différentielle, ainsi que par titrage de Karl Fischer et par analyse thermogravimétrique ont été installées ou sont en cours d'installation et de vérification au BIPM. Des équipements pour manipuler, traiter et stocker avec sécurité les matériaux à l'étude sont en cours d'installation. Des collaborations extérieures délivrant des services spécialisés tels que la microanalyse élémentaire et la résonance magnétique nucléaire viendront les étayer.

7.8.1 Coordination de l'étude pilote CCQM-P20

Une proposition de travail au BIPM a été présentée au Groupe de travail du CCQM sur l'analyse organique lors de sa réunion d'octobre 2004 ; celle-ci a été discutée à nouveau en avril 2005. Il a été approuvé que le BIPM soit le laboratoire pilote de comparaisons complémentaires à l'étude pilote CCQM-P20. Deux comparaisons ont été approuvées : CCQM-P20.e pour la théophylline et -P20.f pour la digoxine.

Le but global de la série d'études est d'évaluer la portée, l'applicabilité et les limites des diverses méthodologies utilisées afin d'évaluer la pureté de matériaux organiques. Ceci permettra d'établir une série de directives pour les programmes d'évaluation de la pureté d'un composé organique donné ou d'une classe chimique de composés, à utiliser pour une application de mesure donnée. De plus, ces études permettront aux laboratoires nationaux de métrologie d'évaluer leurs aptitudes à déterminer la pureté de leurs propres matériaux, y compris la quantification d'impuretés spécifiques, et de déterminer la contribution de différentes sources de matériaux au degré d'équivalence déterminé dans les comparaisons du CCQM. Le programme du BIPM permettra aux laboratoires nationaux de métrologie ayant déclaré des aptitudes spécifiques en matière de mesures et d'étalonnages (CMC) pour la fourniture de matériaux de référence certifiés constitués de substances pures, de démontrer leur aptitude à déterminer la pureté.

7.8.2 Collaborations extérieures

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

Une collaboration avec le LGC dans le cadre du programme du BIPM d'évaluation de la pureté d'une sélection de substances organiques pures, lié à la série de comparaisons du CCQM de mesure de pureté de substances organiques, a débuté en 2004. Dans le contexte de cette collaboration, R. Josephs a séjourné au LGC en novembre 2004 et en février 2005 pour produire plusieurs lots de matériaux d'essai pour les drogues à usage thérapeutique (théophylline, théobromine et caféine). Les matériaux d'essai sont utilisés par le BIPM afin de développer et d'évaluer différentes techniques et méthodologies de détermination de la pureté. Pendant la première partie de son détachement, des lots de matériaux purs et contaminés par gravimétrie ont été préparés, mis en bouteille, puis leur homogénéité a été vérifiée par chromatographie liquide avec détection l'ultraviolet par des réseaux de diodes (LC-DAD). La seconde partie de son détachement a été centrée sur d'autres mesures par LC-DAD, et par chromatographie liquide avec spectrométrie de masse. Ce travail a permis d'évaluer les performances de ces techniques. De plus, l'applicabilité de la chromatographie gazeuse avec détection par ionisation de flamme au moyen d'un injecteur « cool on column » a été évaluée pour des composés intéressants.

Des matériaux de théophylline et de digoxine, candidats pour les comparaisons de l'étude pilote CCQM-P20, ont été préparés par le LGC et seront transférés au BIPM en juin et juillet 2005, respectivement.

Une collaboration sur des méthodes de mesure de pureté de matériaux constitués d'hormones stéroïdes a débuté avec le NMIJ en 2004. Le NMIJ a obtenu des lots de 200 g de testostérone, de progestérone et de β -estradiol. Ces matériaux seront utilisés pour le développement de méthodes et sont des échantillons candidats pour le programme de comparaisons du CCQM. Les premières analyses ont été réalisées au NMIJ. M. Ihara (NMIJ) a commencé, et continuera à effectuer un certain nombre de périodes de détachement au BIPM afin d'aider à mettre en œuvre le programme de méthodes d'analyse de la pureté.

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

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

La deuxième réunion du Comité exécutif du JCTLM s'est tenue au BIPM en décembre 2004 ; elle a été suivie de la réunion du Groupe de travail 1 du JCTLM (Review Team Leaders), de celle des membres du JCTLM et des décideurs, et d'un atelier sur les systèmes de mesure de référence pour les produits biologiques. Un manuel qualité présentant les procédures utilisées pour l'examen des matériaux et des méthodes en vue de leur publication dans la base de données du JCTLM a été publié. Nous nous préparons à publier les listes publiées de matériaux et de méthodes du JCTLM sous la forme d'une base de données interrogeable sur le Web. Les spécifications techniques de la base de données ont été rédigées et la création de la base de données débutera à la fin de l'année.

Une deuxième liste du JCTLM des procédures de mesure et des matériaux de rang hiérarchique supérieur a été publiée sur le site Web du BIPM. Cette deuxième liste fait référence à des matériaux de référence dont la valeur est déterminée selon un protocole reconnu au niveau international (par exemple, des matériaux de référence pour le groupe sanguin, les facteurs de coagulation, la sérologie microbienne, les acides nucléiques et certaines protéines). Les valeurs des mesurands des matériaux de référence de cette liste ne sont pas traçables au SI et/ou il n'existe pas de procédure de mesure de référence reconnue au niveau international. La liste contient aussi un groupe de substances purifiées qui, en raison de l'absence de procédures de mesures de référence, ne devraient pas être utilisées directement pour les étalonnages, sauf si l'on établit la commutabilité.

Une réunion des présidents du Groupe de travail 2 du JCTLM a eu lieu en mars 2005 au BIPM, afin de développer des procédures à utiliser pour l'évaluation des services de mesure de référence pour la médecine de laboratoire.

7.10 Activités liées au travail des Comités consultatifs

R.I. Wielgosz est secrétaire exécutif du CCQM. Le CCQM a tenu sa 11^e session au BIPM les 14 et 15 avril 2005 ; il a été précédé des réunions de ses groupes de travail.

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

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

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

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

7.10.1 Ateliers liés au CCQM

Les ateliers suivants liés au CCQM ont été organisés au BIPM :

- CCQM Focus Group Meeting on Reference Measurement Systems for Food Analysis, le 13 septembre 2004 ;
- atelier sur l'étude pilote CCQM-P28 – Ozone, au niveau ambiant, les 7 et 8 avril 2005 ;
- « CCQM Workshop on higher-order measurement methods for physiologically-significant molecules », le 13 avril 2005.

7.10.2 Comparaisons du CCQM coordonnées par le BIPM

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

- CCQM-P28 – Ozone, niveau ambiant ;
- BIPM.QM-K1 – Ozone, niveau ambiant ;
- CCQM-P73 – Monoxyde d'azote dans l'azote, préparatifs ;
- CCQM-P20.e – Théophylline, séries d'analyses de la pureté ;
- CCQM-P20.f – Digoxine, séries d'analyse de la pureté.

7.11 Activités en liaison avec des organisations extérieures

R.I. Wielgosz représente le BIPM auprès de l'Organisation météorologique mondiale (OMM), de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et de la Commission du CODEX Alimentarius. Il est membre du comité de rédaction d'*Accreditation and Quality Assurance*.

S. Westwood représente le BIPM et le CCQM à l'ISO REMCO.

7.12 Publications, conférences et voyages : section de chimie

7.12.1 Publications extérieures

1. Park S.Y., Kim J.S., Lee J.B., Esler M.B., Davis R.S., Wielgosz R.I., A redetermination of the argon content of air for buoyancy corrections in mass standard comparisons, *Metrologia*, 2004, **41**, 387-395.
2. Cozzolino D., Esler M.B., Damberg R.G., Cynkar W.U., Boehm D.R., Francis I.L., Gishen M., Prediction of color and pH in grapes using diode array spectrophotometer (400-1100 nm), *J. Near Infrared Spectrosc.*, 2004, **12**, 105-111.
3. Damberg B., Esler M.B., Gishen M., Analysis of beverages and brewing products, In *Near-infrared Spectroscopy in Agriculture* (Roberts C.A, Workman J. Jr, Reeves J.B. III eds.), Agronomy Series, Am. Soc. Agron., Crop Sci. Soc. Am., Soil Sci. Soc. Am., 2004, **44**, 465-485.
4. Wielgosz R.I., Quality Assurance/Primary Standards, *Encyclopedia of Analytical Science*, Elsevier, 2^e édition, 2005, 419-426.

7.12.2 Rapports BIPM

5. Viallon J., Moussay P., Wielgosz R.I., Novak J., Vokoun M., Comparison of ozone reference standards of the CHMI and the BIPM, *Rapport BIPM-2005/05*, 12 p.

7.12.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

R.I. Wielgosz s'est rendu :

- à l'AACC, Los Angeles (États-Unis), du 23 au 28 juillet 2004, pour participer aux réunions des Groupes de travail 1 et 2 du JCTLM et de l'AACC Industrial Meeting ;
- à l'AIEA, Vienne (Autriche), du 25 au 27 août 2004, pour présenter un article sur l'Arrangement du CIPM et présider une session de l'International Symposium on Quality Assurance for Analytical Methods in Isotope Hydrology ;
- à l'OMS, Genève (Suisse), du 30 septembre au 1^{er} octobre 2004, pour participer à la consultation non officielle sur les recommandations pour la préparation, la détermination et l'établissement des étalons internationaux de l'OMS et d'autres matériaux de référence biologiques ;

- au NRCCRM, Beijing (Chine), du 17 au 22 octobre 2004, pour participer aux groupes de travail du CCQM sur l'analyse des gaz et sur l'analyse organique, et pour une présentation sur le programme de métrologie en chimie au BIPM au symposium international sur la métrologie en chimie de Beijing ;
- au CMS-ITRI, Hsinchu (Taïwan), les 25 et 26 octobre 2004, pour visiter les laboratoires du CMS et pour une présentation sur les programmes de métrologie en chimie du BIPM et du CCQM ;
- au NIST, Gaithersburg (États-Unis), du 25 au 28 janvier 2005, pour participer aux réunions du Groupe de travail 1 du JCTLM sur le manuel qualité du JCTLM et pour visiter la division de biotechnologie ;
- à Londres (Royaume-Uni), du 9 au 11 février 2005, pour se rendre au LGC, au NPL et au NIBSC, afin de discuter du programme de bioanalyse du CCQM ;
- au CEM, Madrid (Espagne), du 16 au 18 février 2005, pour assister à la réunion plénière de l'EUROMET Metchem et au Groupe de travail sur l'analyse des gaz, et présenter le programme d'analyse organique du BIPM et les activités du JCTLM ;
- à AOAC Europe/Eurachem, Bruxelles (Belgique), les 3 et 4 mars 2005, pour assister à la 3^e réunion de l'AOAC Europe - Eurachem Symposium on legal limits on the road to food safety: establishing sound criteria for compliance decisions, avec R. Josephs ;
- à l'OMS, Genève (Suisse), du 14 au 16 mars 2005, pour participer à la réunion de 2005 de l'OMS-VAG et pour une présentation sur les activités du BIPM sur les comparaisons d'étalons mesureurs d'ozone ;
- à Effectech Ltd, Uttoxeter (Royaume-Uni), le 22 mars 2005, pour l'inauguration de nouveaux laboratoires ;
- à Budapest (Hongrie), du 1^{er} au 4 avril 2005, pour représenter le BIPM à l'International Agency Meeting (pour les organisations travaillant dans les domaines de l'analyse et de l'échantillonnage en alimentation) et pour le comité du CODEX sur les méthodes d'analyse et d'échantillonnage (CCMAS) ;
- au CODEX Alimentarius, La Haye (Pays-Bas), du 25 au 27 avril 2005, pour représenter le BIPM au comité du CODEX sur les additifs alimentaires et les contaminants, et au programme commun à la FAO et à l'OMS sur le programme d'étalons en alimentation, avec R. Josephs ;
- à l'IMGC, Turin (Italie), le 28 avril 2005, pour présenter le programme du CCQM en métrologie en chimie à l'atelier sur la métrologie en chimie ;

- à l'IRMM, Geel (Belgique), le 19 mai 2005, pour discuter du programme à venir du BIPM pour la métrologie en chimie ;
- au NIST, Gaithersburg (États-Unis), les 23, 26 et 27 mai 2005, pour participer aux réunions du Groupe de travail 1 du JCTLM sur le manuel qualité du JCTLM et pour visiter le CSTL afin de discuter du programme à venir du BIPM pour la métrologie en chimie ;
- au NIH, Bethesda (États-Unis), les 24 et 25 mai 2005, pour participer à la réunion Standardization of Genomic Amplification Techniques (SoGAT) et pour une présentation intitulée « JCTLM approach to higher order standards ».

M. Esler s'est rendu :

- au NMi VSL, Delft (Pays-Bas), les 21 et 22 juillet 2004, pour une visite du laboratoire et pour discuter de questions concernant la métrologie des gaz ;
- à Amsterdam (Pays-Bas), du 6 au 8 octobre 2004, pour présenter un poster sur « Value assignment of gas CRMs; minimizing analytical uncertainty », au 3^e symposium sur l'analyse des gaz au NEN ;
- au NRCCRM, Beijing (Chine), du 17 au 23 octobre 2004, pour assister au Groupe de travail du CCQM sur l'analyse des gaz et au symposium international sur la métrologie en chimie de Beijing.

J. Viallon s'est rendue :

- à l'École des mines de Paris (France), le 30 septembre 2004, pour assister à la Journée technique du Collège français de métrologie sur les mesures d'humidité dans les gaz ;
- au CEA (France), du 15 au 19 novembre 2004, pour un stage de formation sur la sécurité laser ;
- à Lyon (France), du 20 au 23 juin 2005, pour présenter un article intitulé « An international network for ground-level ozone reference standard comparisons » au 12^e Congrès international de métrologie.

S. Westwood s'est rendu :

- au NRCCRM, Beijing (Chine), du 19 au 22 octobre 2004, pour assister au symposium international sur la métrologie en chimie de Beijing et pour représenter le BIPM au Groupe de travail du CCQM sur l'analyse organique ;
- au LNE, Paris (France), le 3 novembre 2004, pour discuter du programme du BIPM sur l'analyse organique ;

- au LGC, Teddington (Royaume-Uni), les 16 et 17 novembre 2004, pour examiner les progrès du programme de collaboration entre le BIPM et le LGC sur les instruments primaires d'étalonnage en médecine de laboratoire ;
- à l'ISO, Genève (Suisse), du 18 au 21 avril 2005, pour représenter le BIPM et le CCQM à la réunion annuelle de l'ISO REMCO.

R. Josephs s'est rendu :

- au LGC, Teddington (Royaume-Uni), du 8 novembre au 3 décembre 2004, pour un détachement au LGC dans le cadre du programme de collaboration entre le BIPM et le LGC sur les instruments primaires d'étalonnage en médecine de laboratoire, afin d'établir une méthodologie pour l'analyse de la pureté (1^{er} détachement), et du 17 janvier au 5 février 2005 (2^e détachement) ;
- à Budapest (Hongrie), du 1^{er} au 4 avril 2005, au CODEX Alimentarius, pour représenter le BIPM au CCMAS du programme commun à la FAO et à l'OMS sur les étalons en alimentation.

7.13 Visiteurs de la section de chimie

- MM. H. Tanimoto, H. Mukai et S. Hashimoto (NIES), du 26 au 30 juillet 2004.
- MM. J. Novák et M. Vokoun (CHMI), du 20 au 24 septembre 2004.
- Mme M. J. van Rensburg (CSIR-NML), du 27 septembre au 1^{er} octobre 2004.
- M. H. P. Ahleson (NERI), du 22 au 26 novembre 2004.
- MM. L. Marsteen et N. Ladegård (NILU), du 29 novembre au 3 décembre 2004.
- M. W. Bremser (BAM), les 2 et 3 décembre 2004.
- M. M. Van Rijn (NMi VSL), du 11 au 13 janvier 2005.
- MM. M. P. Sassi et E. Malgeri (IMGC), du 24 au 26 janvier 2005.
- M. O. Rabin (AMA), le 23 juin 2005.

7.14 Chercheur invité

- M. T. Ihara (NMIJ), du 6 au 10 juin 2005

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

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

L'annexe B de la base de données recouvre maintenant 623 comparaisons clés et supplémentaires réalisées sous les auspices du Comité international et des organisations régionales de métrologie. Parmi cet ensemble, on compte 500 comparaisons clés, et les résultats de 176 d'entre elles étaient publiés par l'intermédiaire de la KCDB au 1^{er} juin 2005. Les résultats de nouvelles comparaisons bilatérales réalisées entre le BIPM et un certain nombre de laboratoires nationaux de métrologie viennent régulièrement compléter les résultats déjà publiés des comparaisons clés en continu du BIPM dans le domaine de l'électricité. Depuis octobre 2002, les résultats de 56 comparaisons clés, parmi les 59 comparaisons clés en continu du BIPM d'activité de radionucléides mesurée dans le Système international de référence, SIR, ont été approuvés et publiés. Nous avons aussi enregistré une nouvelle comparaison clé du BIPM, BIPM.L-K11, d'étalons primaires de longueur d'onde.

Les résultats de 27 comparaisons clés régionales (9 organisées par l'APMP et 18 par l'EUROMET) sont reliés à ceux des comparaisons clés correspondantes des Comités consultatifs ; les jeux complets des degrés d'équivalence sont publiés par l'intermédiaire de la KCDB. Le même type de liaison est aussi réalisé pour 13 comparaisons clés des Comités consultatifs ; 9 d'entre elles sont des comparaisons clés d'activité de radionucléides, organisées par la Section II du CCRI et reliées aux comparaisons clés en continu du BIPM effectuées dans le cadre du SIR. Les 4 autres sont des comparaisons clés bilatérales, subséquentes à des comparaisons clés des Comités consultatifs ; leurs résultats ont été ajoutés dans les graphes d'équivalence correspondants. De nouveaux résultats, approuvés par les Comités consultatifs, sont communiqués au BIPM chaque semaine pour publication.

Au début du mois de juin 2005, l'annexe C contenait quelque 17 500 CMCs (aptitudes en matière de mesure et d'étalonnage), couvrant tous les domaines de la métrologie. Cependant, le nombre total de valeurs d'incertitude effectivement publiées dans l'annexe C est bien supérieur (environ 35 000), suite à l'utilisation de tableaux pour la présentation. De gros ensembles de CMCs, en particulier celles relatives aux rayonnements ionisants déclarées

par toutes les régions et celles correspondant à la révision des déclarations de l'APMP et de COOMET en électricité et magnétisme, ont été publiées durant cette année. En plus, nous poursuivons un travail quotidien de révision des CMCs déjà publiées, afin de répondre aux demandes de petites corrections (souvent de nature éditoriale), de changements mineurs (augmentation des valeurs d'incertitude, réduction des domaines de mesures etc.), et de suppression de certaines CMCs (services qui ne sont plus offerts aux clients, ou qui ne sont pas couverts par un Système Qualité approprié).

8.2 Analyse des résultats des comparaisons clés publiés dans la KCDB (C. Thomas)

Une analyse détaillée des méthodes utilisées pour calculer les valeurs de référence des comparaisons clés et les liens entre les résultats de comparaisons clés de la même « famille » (comparaisons clés régionales et du Comité international conduites selon des protocoles similaires) a été effectuée à partir des résultats effectivement publiés dans l'annexe B.

Parmi les 176 comparaisons clés dont le rapport final est placé dans l'annexe B de la KCDB, 136 (dont 50 % sont des comparaisons clés en continu du BIPM) sont situées au centre d'une famille, et les 40 autres sont liées à celles-ci. On effectue en général des mesures pour plusieurs valeurs du mesurande et d'un paramètre d'influence, si bien qu'au total environ 360 ensembles de résultats sont interprétés en terme d'équivalence.

Diverses méthodes sont utilisées pour le calcul des valeurs de référence des comparaisons clés : moyenne arithmétique, 40 % (les pourcentages sont estimés sur les 360 ensembles de résultats), moyenne pondérée, 18 % ; moyenne pondérée avec poids maximal, 6 % ; médiane, 2 % ; valeurs connues (valeurs des étalons internationaux conservés au BIPM et valeurs globales connues *a priori*, par exemple un rapport égal à 1), 7 % ; et valeur de référence individuelle (cas de la valeur gravimétrique de chaque échantillon distribué lors de certaines comparaisons clés de chimie), 27 %.

Les résultats liés étendent ceux des comparaisons clés centrales de manière à former 25 duos, 3 trios et 3 quatuors. Les liaisons publiées dans l'annexe B ont généralement été obtenues par examen au cas par cas de la situation. Les différentes méthodes utilisées sont étroitement liées aux techniques mises en place pour effectuer les comparaisons, et aussi à la manière dont les valeurs de référence des comparaisons clés ont été calculées. Par exemple, la liaison est directe si les valeurs de référence, individuelles ou globales, sont connues *a priori*. Dans le cas des mesures de radioactivité, le lien se fonde sur la mesure dans le SIR de certaines des ampoules distribuées lors des

comparaisons clés régionales et du CCRI. Quand on applique un traitement statistique aux résultats des participants communs à plusieurs comparaisons, celui-ci s'appuie toujours sur la répétabilité des mesures correspondantes.

8.3 La KCDB et le Système Qualité du BIPM

(S. Maniquet et C. Thomas)

Dans le cadre du Système Qualité du BIPM, neuf procédures ont été rédigées afin de décrire le travail effectué pour la KCDB. L'audit interne, visant à en examiner le contenu, s'est déroulé avec succès le 31 mai 2005, pour la seconde année consécutive. Sept de ces procédures décrivent les aspects techniques du travail lié à l'entrée des informations dans les bases de données qui composent la KCDB ; elles sont réservées à quelques membres du personnel du BIPM seulement et sont enregistrées sur des CDs rangés dans des bureaux individuels. Les deux autres traitent des autorisations formelles nécessaires à la publication des données sur Internet ; elles sont disponibles sur l'Intranet du BIPM et peuvent éventuellement être diffusées à l'extérieur.

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

(S. Maniquet et C. Thomas)

Le nombre de connexions au site de la KCDB depuis l'extérieur a augmenté de 35 % pendant la période allant d'août 2004 à mars 2005, pour atteindre 8600 visites en mars 2005. Cette tendance est également répartie sur les annexes B et C.

Nous cherchons à faire de la publicité pour la KCDB aussi souvent que possible, par exemple en distribuant la plaquette de la KCDB et en présentant notre site Web durant des ateliers et des congrès.

Le premier numéro du bulletin d'information de la KCDB, la « *KCDB Newsletter* » a été envoyé à environ 1000 adresses de courriel et placé sur le site Web de la KCDB le 16 juin 2004, avec la ferme intention de produire de nouveaux numéros deux fois par an, en juin et décembre. De fait, les numéros 2 et 3 ont été publiés les 7 décembre 2004 et 14 juin 2005. Ce bulletin est un bon outil de communication pour certaines affaires liées à l'Arrangement du CIPM ou au JCRB, et toute autre nouvelle concernant le contenu des annexes B et C.

8.5 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

C. Thomas s'est rendue à :

- l'Institut de France, Paris (France), les 25 octobre 2004, 24 janvier 2005, 21 mars et 23 mai 2005, pour des réunions du Groupe de travail de l'Académie des sciences « Unités de base et constantes fondamentales » ;
- Londres (Royaume-Uni), les 14 et 15 février 2005, pour assister au Royal Society Scientific Discussion meeting on « The fundamental constants of physics, precision measurements and the base units of the SI » ;
- Reading (Royaume-Uni), les 16 et 17 février 2005, pour la réunion éditoriale pour le projet de 8^e édition de la Brochure sur le SI avec MM. I.M. Mills, T.J. Quinn, B.N. Taylor et A.J. Thor ;
- Minsk (Biélorus), du 10 au 12 mai 2005, pour présenter la base de données du BIPM sur les comparaisons clés à l'atelier commun au BIPM, au JCRB et à COOMET sur l'Arrangement du CIPM, et pour participer à une partie de la 14^e réunion du JCRB ;
- Tsububa (Japon), le 16 mai 2005 et du 18 au 20 mai 2005, pour participer à l'atelier commun au NMIJ et au BIPM sur l'impact de l'informatique en métrologie ;
- à Tokyo (Japon), le 17 mai 2005, pour participer à un symposium organisé à l'occasion de la Journée mondiale de la métrologie ;
- à Lyon (France), le 21 juin 2005, pour présenter la base de données du BIPM sur les comparaisons clés au 12^e Congrès international de métrologie.

8.6 Activités en liaison avec des organisations extérieures

Le 1^{er} janvier 2005, C. Thomas est devenue membre du « Cabinet scientifique des Secrétaires perpétuels de l'Académie des sciences de Paris ». Dans ce cadre, elle remplit les fonctions de Secrétaire scientifique du Groupe de travail de l'Académie des sciences « Unités de base et constantes fondamentales ».

8.7 Activités liées au travail des Comités consultatifs

C. Thomas est secrétaire exécutive du CCU.

C. Thomas a assisté :

- au Groupe de travail du CCRI sur les CMCs, les 23 et 24 septembre 2004 ;
- à la 4^e session du CCAUV, les 27 et 28 septembre 2004 ;
- au Groupe de travail du CCAUV sur les CMCs, le 29 septembre 2004 ;
- à la 13^e réunion du JCRB (en partie), le 30 septembre 2004 ;
- à la réunion des directeurs, le 1^{er} octobre 2004 ;
- à la 93^e session du CIPM (en partie), le 7 octobre 2004 ;
- aux groupes de travail du CCEM, du 14 au 16 mars 2005 ;
- à la 24^e session du CCEM, les 17 et 18 mars 2005 ;
- à la 11^e session du CCQM, les 14 et 15 avril 2005 ;
- à la 9^e session du CCM et à certains de ses groupes de travail, du 25 au 28 avril 2005 ;
- aux réunions des Sections II et III de la 19^e session du CCRI (en partie), du 23 au 26 mai 2005 ;
- à la 23^e session du CCT, les 9 et 10 juin 2005 ;
- à la 17^e session du CCU, les 29 et 30 juin et le 1^{er} juillet 2005.

C. Thomas a aussi participé à un certain nombre de réunions non officielles concernant les commentaires du BIPM sur le projet de 3^e édition du *Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie*, le VIM, du 10 au 14 janvier 2005.

S. Maniguet a participé aux réunions suivantes :

- JCTLM, du 13 au 15 décembre 2004 ;
- 11^e session du CCQM et atelier du CCQM, du 13 au 15 avril 2005.

8.8 Publications

8.8.1 Publications extérieures

1. Thomas C., The BIPM key comparison database, *12th International Metrology Congress*, juin 2005 (CD-Rom).
2. Thomas C., The BIPM key comparison database (KCDB): linkage of key comparison results, *NMIJ-BIPM Workshop on the Impact of Information Technology in Metrology*, May 2005 (disponible sur le site Web du BIPM en septembre 2005).

3. Thomas C., The BIPM key comparison database (KCDB): technical aspects and data management, *NMIJ-BIPM Workshop on the Impact of Information Technology in Metrology*, May 2005 (disponible sur le site Web du BIPM en septembre 2005).

8.8.2 Rapports BIPM

4. Thomas C., The BIPM key comparison database (KCDB): linkage of key comparison results, *Rapport BIPM-2005/06*, 2005, 10 p.
5. Thomas C., The BIPM key comparison database (KCDB): technical aspects and data management, *Rapport BIPM-2005/07*, 2005, 7 p.

8.9 Visiteurs pour la KCDB

- M. L. Érard (LNE), le 3 mars 2005.
- Mmes C. Rhone (CROSQ) et D. Lalla-Rodrigues (ABBS), le 9 mars 2005.

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

9.1 Le JCRB étend les pouvoirs des présidents des groupes de travail des comités techniques des organisations régionales de métrologie

Lors de sa 13^e réunion, qui s'est tenue à Paris le 29 septembre 2004, le JCRB a approuvé une modification de ces procédures afin de permettre aux présidents des groupes de travail des comités techniques des organisations régionales de métrologie d'interagir directement avec le BIPM pendant l'examen des CMCs au niveau inter-régional. Auparavant, les présidents des groupes de travail des comités techniques des organisations régionales de métrologie devaient communiquer entre eux par l'intermédiaire des représentants des organisations régionales de métrologie et du secrétaire exécutif du JCRB. Cette modification leur permet de proposer pour examen, d'envoyer des commentaires et d'approuver les déclarations de CMCs

directement, en utilisant le nouveau site Web interactif qui maintient toutes les parties informées à chaque étape du processus. Cette nouvelle procédure devrait sensibiliser davantage les présidents des groupes de travail des comités techniques et accroître leur intérêt pour l'Arrangement du CIPM, et ainsi réduire le temps nécessaire pour terminer l'examen des CMCs.

9.2 Approbation accélérée des CMCs

Une procédure accélérée pour approuver et publier, dans des circonstances spéciales, les CMCs dans l'annexe C, a été approuvée par le JCRB en septembre 2004. La procédure normale suppose qu'une période d'examen officiel soit déclarée dans le site Web, après laquelle les CMCs révisées sont placées sur le site pour approbation. Le JCRB reconnaît que les Comités consultatifs et les groupes techniques des organisations régionales de métrologie, dans plusieurs domaines, ne respectent pas la procédure régulière : lorsque les CMCs en question sont soumises au BIPM, elles font déjà l'objet d'un consensus au niveau inter-régional. Par conséquent, ces CMCs sont placées sur le site Web du JCRB uniquement pour témoigner de l'approbation officielle des organisations régionales de métrologie qui les ont examinées. Ceci réduit considérablement le temps écoulé entre leur soumission et leur publication.

9.3 Fin de la période de transition

Lors de la 14^e réunion du JCRB, qui s'est tenue à Minsk (Biélorus), en mai 2005, les organisations régionales de métrologie ont achevé la dernière action à effectuer avant la fin de la période de transition de l'Arrangement du CIPM. Les organisations régionales de métrologie y ont présenté leur examen des Systèmes Qualité des laboratoires nationaux de métrologie, qui étaient les CMCs publiées dans l'annexe C. Ils y ont aussi donné la liste des services qui doivent être supprimés à titre temporaire de l'annexe C, parce qu'ils ne répondent pas aux exigences de l'Arrangement du CIPM en matière de Système Qualité. Il a été décidé que ces CMCs pourraient être réintroduites dès que les organisations régionales de métrologie auront vérifié qu'un Système Qualité approprié est bien établi.

Pour cette action, l'Arrangement du CIPM franchit une nouvelle étape. On peut dorénavant déclarer en toute confiance que la liste des 17 000 CMCs publiées dans l'annexe C satisfait aux exigences établies à l'origine en 1999.

9.4 Procédures d'examen inter-régional

Les procédures du JCRB ont été révisées afin d'améliorer l'efficacité de la procédure d'examen inter-régional et de s'assurer que les déclarations de CMCs sont uniformes et correctes du point de vue technique. Une date limite a été incluse dans la procédure pour l'approbation des CMCs proposées au vote, date après laquelle elles seront publiées dans l'annexe C si elles ne font l'objet d'aucune objection et si au moins une organisation régionale de métrologie fait part de son consentement.

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

9.5 Nouveau secrétaire exécutif

Le 27 mai 2005, M. Ismael Castelazo a achevé la période de deux ans pendant laquelle il a assumé la charge de secrétaire exécutif du JCRB et il est retourné au CENAM, Queretaro (Mexique).

M. Pedro Espina, en détachement du NIST, a pris ses fonctions de secrétaire exécutif désigné le 4 avril 2005 et a bénéficié d'une période de près de deux mois de recouvrement avec M. Castelazo avant d'assumer ses nouvelles fonctions.

9.6 Publications, conférences et voyages : JCRB

9.6.1 Nouveaux documents du JCRB

Ces documents sont disponibles à l'adresse :

www.bipm.org/en/committees/jc/jcrb/documents.html

1. Organigramme des comparaisons bilatérales subséquentes aux comparaisons clés.
2. Procédures du JCRB concernant l'examen des CMCs.

9.6.2 Révision des documents du JCRB

Ces documents sont disponibles à l'adresse :

www.bipm.org/en/committees/jc/jcrb/documents.html

1. Révision de la procédure pour la publication des CMCs dans l'annexe C.
2. Critères d'acceptation des résultats pour l'annexe C.

9.6.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

I. Castelazo s'est rendu :

- à Berlin (Allemagne), du 25 au 29 octobre 2004, au forum de l'OIML « Metrology – Trade facilitator », à la 12^e conférence sur la métrologie légale et à la 39^e réunion du CIML ;
- au BIPM, les 7 et 8 mars 2005, pour l'atelier commun au BIPM et à l'ILAC ;
- au BIPM, le 10 mars 2005, pour la réunion commune au BIPM, à l'OIML et à l'ILAC.

I. Castelazo et P. Espina se sont rendus à Minsk (Biélarus), les 11 et 12 mai 2005, pour la 14^e réunion du JCRB et pour l'atelier international de COOMET « Role of MRA CIPM in international cooperation in the field of metrology and in supporting trade and economical interrelations ».

9.7 Activités liées au travail des Comités consultatifs

I. Castelazo a participé aux réunions suivantes :

- au Groupe de travail du CCRI sur les CMCs, le 23 septembre 2004 ;
- à la 5^e réunion des présidents des Comités techniques des organisations régionales de métrologie dans le domaine de l'électricité et du magnétisme, le 16 mars 2005.

I. Castelazo et P. Espina ont participé aux réunions suivantes :

- au Groupe de travail du CCQM sur les CMCs, les 7 et 8 avril 2005 ;
- au Groupe de travail du CCM sur les CMCs, le 27 avril 2005.

9.8 Visiteurs pour le JCRB

- M. M.C. César Cajica (CENAM), du 22 au 26 novembre 2005.
- Mmes C. Rhone et D. Lalla Rodrigues et M. H. Edmonson (CARICOM), le 9 avril 2005.
- M. L. Gómez (Superintendencia de Industria y Comercio, Colombie), le 24 avril 2005.

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

10.1 Système Qualité et relations avec l'ISO et l'ILAC (R. Köhler)

Le Système Qualité du BIPM, qui exige de se conformer à la norme ISO/CEI 17025, est totalement opérationnel pour la plupart des services qui émettent des certificats d'étalonnage internes ou externes. Deux autres services viendront s'y ajouter à la fin de 2005. La publication des résultats dans la base de données du BIPM sur les comparaisons clés est aussi couverte par un Système Qualité compatible avec la norme ISO 9000. D'autres services, comme l'administration et l'atelier, ont aussi des procédures compatibles avec la norme ISO 9000, mais ils n'ont pas encore fait l'objet d'un audit officiel.

Dans les domaines de la santé et de la sécurité, intrinsèquement liés au Système Qualité du BIPM, des vérifications internes ont été effectuées. L'environnement de l'atelier a fait l'objet d'un audit par une société spécialisée.

L'ILAC et le BIPM continuent leur collaboration et le projet de déclaration commune sur leurs rôles et responsabilités respectifs en est au stade final ; ce document sera distribué prochainement. Nous avons accueilli en mars 2005 une réunion entre les organisations régionales de métrologie et les organismes d'accréditation au niveau régional pour discuter de questions d'intérêt mutuel.

Une réunion tripartite entre le BIPM, l'ILAC et l'OIML a aussi eu lieu.

La participation aux groupes de travail de l'ISO concernant la norme ISO 17000, qui est importante pour les activités du BIPM, se poursuit ; la participation et le point de vue du BIPM sont bien appréciés.

10.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

R. Köhler s'est rendu :

- à Salt Lake City (États-Unis), du 12 au 15 juillet 2004, pour la réunion de NCSLI, et pour une présentation intitulée « Improving worldwide traceability and acceptance of measurements carried out within the CIPM MRA and the ILAC Arrangement » ;
- au secrétariat central de l'ISO, Genève (Suisse), les 21 et 22 juillet 2004 et les 4 et 5 avril 2005, pour une réunion du Groupe de travail 23 de

- l'ISO, et le 29 juillet 2004, pour une réunion du Groupe de travail 18 de l'ISO ;
- à Ljubljana (Slovénie), du 13 au 15 septembre 2004, pour une conférence de Metronet et une présentation intitulée « The BIPM key comparison database » ;
 - à Cape Town (Afrique du Sud), du 8 au 11 octobre 2004, pour l'assemblée générale de l'ILAC ;
 - au NEN, Delft (Pays-Bas), les 5 et 6 novembre 2004, pour une réunion du Groupe de travail 23 de l'ISO ;
 - à Amsterdam (Pays-Bas), du 8 au 10 novembre 2004, pour l'assemblée générale de l'ISO CASCO, et une brève présentation sur les activités actuelles du BIPM ;
 - à Kuala Lumpur (Malaisie), du 29 novembre au 3 décembre 2004, pour des réunions du Comité technique 176 de l'ISO ;
 - au NMIJ, Tsukuba (Japon), du 16 au 20 mai 2005, pour le 3^e atelier sur l'évaluation des comparaisons clés, pour le symposium international sur les étalons de mesure au Japon de 2005, qui s'est tenu à l'International Exchange Center à Tokyo, le 17 mai 2005, et pour une présentation intitulée « Challenges faced by IT-oriented next-generation metrology », ainsi que pour l'atelier commun au NMIJ et au BIPM sur l'impact de l'informatique sur la métrologie, avec une présentation intitulée « ISO/IEC 17025 and remote calibration, are they compatible? » ;
 - à Lyon (France), du 18 au 20 juin 2005, pour la réunion du CIML où il a présenté l'état d'avancement des activités du BIPM et de l'Arrangement du CIPM.

11 PROJETS SPÉCIAUX (M. STOCK)

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

Le projet de collaboration avec le NMIA (Australie) pour la mise au point de deux condensateurs calculables, ayant pour objectif une incertitude relative de 1×10^{-8} , se poursuit conformément au programme établi.

L'atelier du BIPM a fabriqué une partie des pièces mécaniques de l'assemblage pour l'électrode de la garde inférieure, selon les plans fournis par le NMIA. Ceci comprend la fabrication d'un ressort complexe à déplacement parallèle, fabriqué au moyen de la machine à décharge électrique dont nous venons de faire récemment l'acquisition. Fin avril 2005, nous avons reçu les plans pour les outils d'assemblage et d'alignement pour l'électrode de la garde inférieure. Le NRC (Canada) a récemment signé un contrat bilatéral avec le NMIA afin d'obtenir les composants critiques du condensateur calculable, dont nous fournirons un certain nombre.

Le dispositif servant à mesurer la rectitude des barres constituant les électrodes, construit à l'atelier du BIPM pendant l'année passée, est maintenant utilisé de façon courante par le NMIA.

Tous les éléments du pont de capacité pour l'étalonnage des étalons de capacité de 1 pF par rapport au condensateur calculable ont été construits, notamment, un transformateur pour l'alimentation, un diviseur inductif principal et un transformateur pour l'étalonnage. Le pont et sa source de tension sont conçus pour fonctionner à 250 V dans le domaine de fréquence compris entre 1 kHz et 4 kHz. Les premiers essais indiquent que l'écart des rapports par rapport à la valeur nominale est de l'ordre de 2×10^{-7} en valeur relative à 1600 Hz, et que les rapports peuvent être étalonnés à 1×10^{-9} en valeur relative.

Un laser vert à Nd:YVO₄/KTP/I₂ pour l'interféromètre, nécessaire pour mesurer la distance entre les électrodes, a été modifié ; il fonctionne maintenant à une modulation de fréquence plus élevée de 10 kHz. Les spécifications de base ont été vérifiées. Un laser supplémentaire est actuellement en fabrication.

Les collègues du NMIA préparent un interféromètre Perot-Fabry de conception spéciale qui réduira la correction due à la diffraction. Les miroirs des deux électrodes sont sphériques, avec des rayons de courbure adaptés à ceux des fronts d'onde à leurs positions respectives. Nous envisageons de mettre au point un dispositif expérimental simple pour en vérifier la conception, ainsi que certaines autres configurations.

La première version du logiciel pour le calcul de la propagation du front d'onde dans un interféromètre à faisceau multiple, mis au point à l'université polytechnique et à l'université d'État de Saint-Petersbourg, est en cours de vérification et d'amélioration. Ce logiciel nous permettra de simuler le schéma d'interférence de l'interféromètre et d'estimer l'incertitude correspondante ; celle-ci constituera l'une des principales composantes de l'incertitude du condensateur calculable.

11.2 Balance du watt

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

Pendant la période couverte par ce rapport, nos activités ont été centrées sur la conception du circuit magnétique et de la suspension de la balance. Récemment, nous avons commencé à travailler à la source de courant constant et à l'interférométrie.

Le circuit magnétique produira un champ radial horizontal générant une force magnétique verticale exercée sur la bobine : celle-ci est nécessaire pour compenser la force gravitationnelle subie par la masse. Nous avons choisi pour le circuit magnétique une géométrie différente de celle utilisée dans les expériences actuelles. Les principales innovations visent à réaliser le haut niveau de symétrie du circuit, qui devrait conduire à un profil de champ très uniforme dans l'entrefer, et un bon blindage de l'entrefer contre les champs extérieurs au moyen d'un noyau fermant le circuit magnétique.

En vue de l'étude de faisabilité de ce système et de l'optimisation des paramètres du projet, nous avons débuté une collaboration avec une société d'engineering, spécialisée dans la conception des systèmes électromagnétiques. Les résultats des calculs des éléments finis effectués au BIPM ont été confirmés par des calculs plus sophistiqués. Il est relativement simple d'obtenir une induction magnétique d'au moins 0,5 T dans l'entrefer de 13 mm d'épaisseur. La forme des pièces des pôles a été optimisée afin d'obtenir une excellente uniformité du champ dans l'entrefer. C'est fondamental pour notre projet de fonctionnement simultané en modes pesée et mobile. Les effets de l'hystérésis magnétique dus à l'inversion du courant dans la bobine ont été estimés ; ils s'avèrent négligeables au niveau d'incertitude requis. Nous n'avons identifié aucune difficulté fondamentale en ce qui concerne la faisabilité.

Nous avons récemment débuté la seconde étape de l'étude, qui porte sur l'influence des imperfections mécaniques sur les propriétés magnétiques. La prochaine étape concernera la conception du circuit magnétique en vue de sa fabrication. L'aimant ne sera pas livré au BIPM avant l'été 2006. Nous avons donc commencé à construire un aimant moins sophistiqué, avec l'aide de l'atelier du BIPM. Ce modèle simplifié devrait nous permettre d'effectuer de premières études sur l'alignement, et sur le comportement de la tension induite et de la force pour notre projet de balance du watt. Les parties principales du bâti en fer ont été fabriquées ; nous attendons la livraison des aimants d'essai.

Les parties de la suspension de la balance, y compris le moteur électrostatique pour le déplacement de la bobine, ont été conçus et fabriqués à l'atelier. Les différentes parties sont en cours d'assemblage. La suspension comprend de nombreuses suspensions flexibles en cuivre-béryllium afin d'éviter les frottements. Le système comprend des électrodes plates, horizontales et parallèles, qui génèrent une force verticale lorsque l'on applique une tension élevée. Des détecteurs sensibles à la position seront utilisés ainsi que des diodes laser afin d'analyser le mouvement du système. Un asservissement digital de la vitesse de la bobine d'essai sera mis au point en utilisant les détecteurs sensibles à la position et des amplificateurs à haute tension.

Pour générer la force magnétique, il faut alimenter la bobine avec un courant constant. La valeur du courant sera mesurée, mais elle doit être aussi stable que possible. Nous espérons que l'expérience à la température ambiante fournira une incertitude au niveau de 10^{-5} à 10^{-6} . La source de courant devrait avoir une stabilité comparable. Une source de courant que nous avons mise au point précédemment pour l'étalonnage des diodes de Zener a été modifiée avec succès ; elle fournit un courant de 1 mA qui, selon les essais initiaux, est stable dans des limites de 1×10^{-7} en valeur relative. Nous envisageons d'améliorer la source en remplaçant sa référence de tension par un étalon de Zener.

L'exactitude de l'expérience à la température ambiante sera limitée par le coefficient de température de la résistance électrique de la bobine et par la stabilité de la température du circuit magnétique. Nous envisageons d'utiliser, outre la bobine mobile, une bobine identique mais fixe, ce qui nous permettra de suivre les variations de la résistance en fonction de la température.

Un examen des techniques actuelles en interférométrie a été entrepris afin de choisir un système pour la mesure de la vitesse et de la position. Un interféromètre de Michelson convient mieux pour l'interpolation des franges qu'un interféromètre de Perot-Fabry. Un interféromètre hétérodyne fournit un signal en courant alternatif avec un meilleur rapport signal-sur-bruit qu'un système homodyne. Nous avons donc commandé un interféromètre Michelson hétérodyne du commerce.

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

R.S. Davis, H. Fang, A. Picard, M. Stock et T.J. Witt se sont rendus au METAS, Bern (Suisse), les 4 et 5 novembre 2004, pour participer à la réunion sur les balances du watt. M. Stock y fait une présentation intitulée

« The BIPM watt balance », A. Picard « Alignment procedure for the BIPM watt balance » et « Sorption artefacts for Avogadro project and watt balance experiment », T.J. Witt « Demonstration of methods for treating serial correlations in experimental observations » et H. Fang « Water vapour adsorption on mass standards measured by ellipsometry ».

H. Fang, A. Picard et M. Stock se sont rendus à l'université de Saint-Quentin, le 15 décembre 2004, pour assister à la présentation d'une thèse de doctorat intitulée « Mesure et contrôle de position et de vitesse à l'échelle nanométrique : application à la balance du watt » par Darine Haddad.

A. Picard s'est rendu au METAS, Bern (Suisse), les 19 et 20 mai 2005, pour des discussions techniques sur la balance du watt du METAS et pour une présentation intitulée « Water vapour sorption study: application in the Avogadro project ».

11.4 Visiteurs pour les projets spéciaux

- MM. J. Fiander et G. Small (NMIA), les 12 et 13 juillet 2004, pour des discussions concernant notre collaboration sur le condensateur calculable.
- M. F. Daninos (La Recherche), le 6 août 2004, pour examiner la possibilité d'un article sur les balances du watt rédigé par l'équipe du BIPM sur la balance du watt.
- M. P. Dent (Electron Energy Corporation), le 3 septembre 2004, pour des discussions sur les aimants pour la balance du watt.
- M. D. Nettleton (NPL), le 7 septembre 2004, pour discuter de ses idées sur un nouveau type de balance du watt.
- M. B. Inglis (NMIA), le 18 mars 2005, pendant le CCEM, pour des discussions sur l'état d'avancement du projet de condensateur calculable.
- M. A. Eichenberger (METAS), le 23 juin 2005, pour des discussions sur la balance du watt du BIPM.
- M. B. Wood (NRC), le 27 juin 2005, pour des discussions sur le condensateur calculable.

12 PUBLICATIONS ET INFORMATIQUE (J. WILLIAMS)

12.1 Rapports du CIPM et de ses Comités consultatifs

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

Depuis juillet 2004 a été publié :

- *Rapport du directeur sur l'activité et la gestion du Bureau international des poids et mesures (2004)*, 2005, **5**, 295 p.

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

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

12.2 *Metrologia* (J.R. Miles et J. Williams ; D. Saillard)

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

Les détails techniques de la production de *Metrologia* par le BIPM et l'IOPP continuent à bien fonctionner. Le journal paraît dans les délais et nous bénéficions du vaste réseau de promotion de l'IOPP pour nous aider à maintenir le niveau d'abonnement au journal, à une époque où le nombre d'abonnements a tendance à chuter pour la plupart des journaux scientifiques techniques. Les numéros spéciaux de *Metrologia* sont toujours organisés avec l'aide d'un rédacteur spécialiste invité, en collaboration avec le rédacteur au BIPM. Pendant la période couverte par ce rapport, deux numéros spéciaux de *Metrologia* ont été publiés : l'un sur la charge et l'autre pour le 50^e anniversaire des horloges atomiques.

Les articles acceptés pour publication dans le journal imprimé sont accessibles gratuitement pendant un mois sur les pages réservées à *Metrologia* du site de l'IOPP (www.iop.org/EJ/journal/Met).

Un projet récent de numérisation des archives de *Metrologia* a été réalisé par l'IOPP pour notre compte ; il s'est achevé à la fin de 2004. L'IOPP commercialise les archives de *Metrologia* pour le compte du BIPM, comme il le fait pour les autres journaux de son groupe.

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

année	2000	2001	2002	2003	2004
FI	0,820	0,945	0,842	0,983	1,314

Le facteur d'impact évolue dans la bonne direction. Il est probable que le facteur d'impact augmentera encore, car un article publié dans *Metrologia* au début de l'année 2005 (Redefinition of the kilogram: a decision whose time has come, I.M. Mills *et al.*, *Metrologia*, **42**, 71-80) a reçu une très importante couverture médiatique. Il est important pour nous que le facteur d'impact reste supérieur à 1,0 car c'est précisément le niveau de référence utilisé par les bibliothécaires et les gestionnaires pour décider de la résiliation d'abonnements à certains journaux à facteur d'impact trop faible.

Les abonnements institutionnels chutent régulièrement, ce déclin est à regretter. Toutefois, le fait que le journal soit maintenant distribué dans un « package » avec d'autres titres de l'IOPP a un impact sur l'augmentation de sa diffusion. Typiquement, un abonnement groupé est souscrit par une bibliothèque (pas nécessairement celle d'un laboratoire de métrologie) et les lecteurs de cette bibliothèque trouveront maintenant *Metrologia* sur les étagères, alors qu'auparavant cette bibliothèque n'aurait probablement pas pensé à s'y abonner. Ainsi, nous utilisons les abonnements groupés proposés par l'IOPP comme outil de communication pour diffuser plus largement *Metrologia* à la communauté scientifique et technique.

Le *Technical Supplement* à *Metrologia* prend de l'expansion, avec 36 résumés publiés en 2004, 10 sont déjà en ligne en 2005 et bien plus sont en attente. Certains participants à une conférence récente de chimie ont fait savoir qu'ils apprécient le *Technical Supplement* même s'ils ne publient pas dans *Metrologia*.

Le tableau suivant présente le temps nécessaire pour l'acceptation des articles sur le Web et pour la publication dans les volumes imprimés de *Metrologia*. Les chiffres ont été calculés à partir des rapports de production mensuels. Ils démontrent que les procédures d'édition et de publication auxquelles participent le BIPM et l'IOPP fonctionnent bien.

	Version Web	Publication
2004 (volume 41)	41 jours	111 jours
2005 (volume 42 – à ce jour)	31 jours	70 jours

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

Le site Web du BIPM (www.bipm.org) continue à évoluer ; c'est l'un des principaux moyens de communication du BIPM et le portail de la métrologie le plus complet dans le monde. La page d'accueil du site a fait l'objet d'une conception nouvelle en mars 2005 afin d'accélérer l'accès à certains domaines du site et d'augmenter la visibilité de la base de données du BIPM sur les comparaisons clés, la KCDB, et de la base de données du JCTLM. Une nouvelle section « bases de données » a aussi été ajoutée, donnant accès aux bases de données de la KCDB et du JCTLM, et à une compilation de divers outils de recherche disponibles sur le site. Une étude sur les moteurs de recherche est en cours, et nous espérons installer un nouveau moteur de recherche plus performant avant la fin de 2006.

Suite à une décision du CCL, la mise en pratique de la définition du mètre est maintenant publiée et mise à jour sur le site Web du BIPM. Le texte publié précédemment dans *Metrologia* a donc été adapté et mis à jour, et il est maintenant publié sur le site Web sous la forme d'une collection de fichiers, chacun spécifique à une longueur d'onde, accessibles à l'adresse :

<http://www.bipm.org/fr/publications/mep.html>.

Les documents du CCT sur l'EIT-90, et les résumés de tous les *Rapports BIPM* sont aussi accessibles à l'adresse :

<http://www.bipm.org/fr/publications/>.

À la demande du Groupe de travail 8 du CCT sur les CMCs dans le domaine de la thermométrie, un forum de discussion du BIPM a été introduit en 2005, à l'adresse : <http://forum.bipm.org/>. Son succès a rapidement conduit d'autres groupes à adopter une telle démarche, et il y a maintenant une soixantaine d'utilisateurs inscrits dans cinq domaines d'activités différents. Les forums facilitent les discussions entre les scientifiques dans le monde, archivent leurs discussions, et servent de source de référence pour d'importants documents.

Les documents de travail des Comités consultatifs et des groupes de travail occupent maintenant presque deux gigaoctets sur le disque de stockage. Après les réunions des comités, de plus en plus de ces documents sont placés en accès libre. Le travail publié par les membres des comités continue à être mis en évidence dans les pages de références bibliographiques.

Des informations spécifiques aux pays ont été publiées au sujet des États membres à l'adresse http://www.bipm.org/fr/convention/member_states/, et des données illustrant certains partenariats techniques spécifiques entre le BIPM et les États membres ont été introduites à l'adresse <http://www.bipm.org/en/bipm/comparisons/>. D'autres informations de nature

historique sont aussi collationnées. Parmi les nouveautés, nous pouvons mentionner des photographies de la famille Curie visitant le BIPM au début des années 1900 : http://www.bipm.org/fr/si/history-si/radioactivity/famille_curie.html, et de courtes biographies d'anciens membres du CIPM : http://www.bipm.org/en/committees/cipm/former_members.html, ainsi que des informations sur la Commission internationale du Mètre, l'ancêtre de la Convention du Mètre : <http://www.bipm.org/fr/si/history-si/commission.html>.

Afin de mieux expliquer les activités du BIPM, le *Rapport du directeur* est disponible sur le site du BIPM.

La cellule informatique du BIPM a installé cette année les équipements et le logiciel pour un nouveau dispositif de sauvegarde automatique. Le système de stockage comprend une sauvegarde sur bande (bibliothèque de bandes) qui permet de stocker environ 2 téraoctets de données. Le logiciel associé fonctionne en mode client/serveur, ce qui nous permet de stocker des données de différents serveurs.

Le service informatique du BIPM a procédé cette année au remplacement du serveur central de notre système informatique utilisé pour l'Intranet et sa principale base de données, mis en service en l'an 2000. Le nouveau serveur dispose d'un espace mémoire plus important, offre de meilleures performances et permet une meilleure gestion de la base de données. Autre changement : les logiciels hébergés sur le nouveau serveur sont, pour la plupart, des logiciels Open Source, c'est-à-dire gratuits.

Le BIPM continue à faire l'objet d'e-mails non sollicités (SPAM), dont le nombre croît en permanence. Ils représentent environ 75 %, en moyenne, des 1200 e-mails qui arrivent quotidiennement au BIPM. Afin de lutter efficacement contre cette avalanche, le service informatique a renforcé son système déjà sophistiqué de parefeu et a aussi installé un système centralisé pour rechercher et éliminer les messages contenant des virus informatiques ou des mots grossiers ou habituellement associés à des SPAM. Ce parefeu a été installé sur les ordinateurs portables et de bureau utilisés par les membres du BIPM.

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

rapide des données à l'intérieur du BIPM, et à l'installation d'accès Internet sans fil sur le site du BIPM.

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

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

J. Williams s'est rendu :

- à Londres (Royaume-Uni), les 14 et 15 février 2005, pour assister au Royal Society Scientific Discussion meeting on « The fundamental constants of physics, precision measurements and the base units of the SI » ; du 19 au 21 avril 2005 pour la 4^e « CCM International Conference on Pressure Metrology from Ultra-High Vacuum to Very High Pressure » ;
- à Reading (Royaume-Uni), le 12 mai 2005, pour rencontrer I.M. Mills.

J.R. Miles s'est rendue :

- à Londres (Royaume-Uni), le 10 novembre 2004, pour la réunion du groupe d'utilisateurs d'ESPERE ; les 2 et 3 décembre 2004, pour la conférence Online ;
- à Reading (Royaume-Uni), le 18 avril 2005, pour rencontrer I.M. Mills.

J.R. Miles et J. Williams se sont rendus à Londres (Royaume-Uni), le 19 avril 2005, pour assister à l'IOPP Partners Meeting.

12.5 Visiteurs et stagiaires de la section publications et informatique

- Mme M. Jost, à de nombreuses occasions.
- M. F. Khababa, étudiant de l'École des hautes études en sciences sociales, du 25 mai au 22 juillet 2005.

Avec L. Le Mée et C. Thomas :

- Mme C. Iooss (CEA), le 30 mai 2005.
- MM. J.-P. Favrot et S. Py (Verity), le 6 juin 2005.
- Mme C. Offredo (Exalead), le 13 juin 2005.

13 RÉUNIONS ET EXPOSÉS AU BIPM

13.1 Réunions

Les réunions suivantes ont eu lieu au BIPM :

- Groupe de travail du CCQM sur l'analyse en nutrition, le 13 septembre 2004 ;
- Groupe de travail de la Section II du CCRI sur les comparaisons clés, le 21 septembre 2004, suivi du Groupe de travail de la Section II du CCRI sur les incertitudes, le 22 septembre, et du Groupe de travail du CCRI sur les CMCs, les 23 et 24 septembre ;
- CCAUV, les 27 et 28 septembre 2004 ;
- atelier du JCRB sur les organisations régionales de métrologie, le 29 septembre 2004 ;
- 13^e réunion du JCRB, le 30 septembre 2004 ;
- réunion des directeurs, les 30 septembre et 1^{er} octobre 2004 ;
- Groupe de travail 1 (GUM) du Comité commun pour les guides en métrologie (JCGM), du 8 au 10 novembre 2004 et du 14 au 18 février 2005 ; Groupe de travail 2 du JCGM (VIM), du 21 au 25 février 2005 et du 30 mai au 3 juin 2005 ;
- BIPM et ILAC, le 12 novembre 2004 ;
- atelier du CCRI sur les comparaisons clés, les 25 et 26 novembre 2004 ;
- JCTLM, du 13 au 15 décembre 2004 ;
- Groupe de travail du CCRI sur les comparaisons clés, le 10 février 2005, suivi du Groupe de travail du CCRI sur les incertitudes, le 11 février 2005 ;
- Groupe de travail commun au CIPM, à l'ILAC et à l'OIML, les 10 et 11 mars 2005, précédé d'un atelier du BIPM et de l'ILAC, les 7 et 8 mars ;
- CCEM, les 17 et 18 mars 2005, précédé de ses groupes de travail, du 14 au 16 mars ;
- Groupe de travail du CCRI sur l'extension du SIR aux émetteurs de rayonnement β au moyen de la méthode par scintillation liquide, les 21 et 22 mars 2005 ;
- Groupe de travail 2 du JCTLM (présidents), le 31 mars 2005 ;
- CCQM, les 14 et 15 avril 2005, précédé des réunions de ses groupes de travail, du 7 au 13 avril.

- CCM, les 28 et 29 avril 2005, précédé des réunions de ses groupes de travail, du 25 au 27 avril ;
- CCRI, le 27 mai 2005, précédé des réunions de ses trois sections, du 18 au 26 mai 2005 ;
- CCT, les 9 et 10 juin 2005, précédé d'un atelier sur les comparaisons clés le 17 mai et des réunions de ses groupes de travail, du 6 au 8 juin.
- CCU, les 29 et 30 juin, et le 1^{er} juillet 2005.

13.2 Séminaires externes

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

- K.W.D. Ledingham (Strathclyde University, Royaume-Uni) : The development of and perspective for high power laser production of radionuclides for positron-emission tomography, le 24 mai 2005.
- L. Pitre (LNE-INM) : Le thermomètre acoustique sphérique : *vers la fin des échelles de température ?*, le 15 juin 2005.
- N. F. Zhang (NIST) : Statistical analysis on uncertainty for autocorrelated measurements, le 20 juin 2005.
- T. Fortier (Los Alamos Laboratory et NIST) : Cutting edge combs for optical frequency measurements and comparisons, le 27 juin 2005.

13.3 Exposés internes

- L.-S. Ma et L. Robertsson : Optical comb comparisons and optical frequency measurements, le 25 janvier 2005.
- T.J. Quinn : Redefinition of the kilogram, a decision whose time has come, le 24 mars 2005.
- H. Fang et A. Picard : Water vapour sorption study, application in the Avogadro project, le 19 avril 2005.
- D. Burns et S. Picard : Towards an absorbed-dose calorimeter: measurement of the specific heat capacity of graphite, le 10 mai 2005.
- H. Fang, A. Picard, D. Reymann et M. Stock : The BIPM watt balance, le 16 juin 2005.
- G. Petit : GPS time transfer, 15 years of progress, le 21 juin 2005.

14 CERTIFICATS ET NOTES D'ÉTUDE

Du 1^{er} juillet 2004 au 30 juin 2005, 99 Certificats et 5 Notes d'étude ont été délivrés.

14.1 Certificats

2004

N^{os}

43.	Étalon de capacité de 10 pF, n° 45	Institutul National de Metrologie (INM), Bucarest, Roumanie.
44.	Étalon de capacité de 100 pF, n° 46	Id.
45.	10 pF capacitance standard, No. 01289*	Hellenic Institute of Metrology (EIM), Thessaloniki, Greece.
46.	10 pF capacitance standard, No. 01290*	Id.
47.	100 pF capacitance standard, No. 01291*	Id.
48.	100 pF capacitance standard, No. 01292*	Id.
49.	10 pF capacitance standard, No. 111	Slovak Institute of Metrology (SMU), Bratislava, Slovakia.
50.	10 pF capacitance standard, No. 112	Id.
51.	1 pF capacitance standard, No. 01284*	Council for Scientific and Industrial Research, National Metrology Laboratory (CSIR-NML), Pretoria, South Africa.
52.	1 pF capacitance standard, No. 01285*	Id.
53.	10 pF capacitance standard, No. 01286*	Id.
54.	100 pF capacitance standard, No. 01287*	Id.

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

55.	10 000 Ω resistance standard, No. J201 069 130 104*	Danish Institute of Fundamental Metrology (DFM), Lyngby, Denmark.
56.	1 Ω resistance standard, No. 1799595*	Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETI), Lisbon, Portugal.
57.	10 000 Ω resistance standard, No. J207 119 030 104*	Id.
58.	Ionization chamber in low-energy x-rays, PTW 23342-1128*	International Atomic Energy Agency (IAEA).
59.	Ionization chamber in ^{60}Co gamma-ray, NE 2561-265*	Id.
60.	Ionization chamber in ^{60}Co gamma-ray, NE 2611A-132	Id.
61.	Ionization chamber in ^{60}Co gamma-ray, NE 2611A-211	Id.
62.	Étalon de résistance de 1 Ω , n° 59099*	Czech Metrology Institute (CMI), Brno, République tchèque.
63.	1 Ω resistance standard, No. 755510	National Physical Laboratory of Israel (INPL), Jerusalem, Israel.
64.	100 Ω resistance standard, No. 242087	Id.
65.	10 000 Ω resistance standard, No. 1914468	Id.
66.	Étalon de tension à diode de Zener, n° 5940003*	Institutul National de Metrologie (INM), Bucarest, Roumanie.
67.	10 pF capacitance standard, No. 01219	Centro Español de Metrología (CEM), Madrid, Spain.
68.	Prototype de masse n° 86 ...	Suède.
69.	Prototype de masse n° 80* .	Thaïlande.
70.	Ionization chamber in medium-energy x-rays, NE 2561-265*	International Atomic Energy Agency (IAEA).
71.	Helium-neon laser at 633 nm, WEO-165	National Institute of Standards (NIS), Giza, Egypt.

72.	Volume magnetic suceptibility, CEM-A.....	Centro Español de Metrología (CEM), Madrid, Spain.
73.	10 pF capacitance standard, No. 01024*	Central Office of Measures (GUM), Warsaw, Poland.
74.	10 pF capacitance standard, No. 01025*	Id.
75.	10 pF capacitance standard, No. 01026*	Id.
76.	10 pF capacitance standard, No. 01027*	Id.
77.	Prototype de masse n° 87 ...	Australie.
78.	Ionization chamber in medium-energy x-rays, NE 2571-169*	Bureau National de Métrologie*, Laboratoire National Henri Bequerel (BNM-LNHB), Gif-sur-Yvette, France.
79.	1 Ω resistance standard, No. 76124*	National Office of Measures (OMH), Budapest, Hungary.
80.	1 Ω resistance standard, No. 470419*	Id.
81.	10 000 Ω resistance standard, No. 115021*	Id.
82.	1 Ω resistance standard, No. 144487*	Slovak Institute of Metrology (SMU), Bratislava, Slovakia.
83.	1 Ω resistance standard, No. 222039*	Id.
84.	1 Ω resistance standard, No. 1859009*	Id.
85.	10 000 Ω resistance standard, No. 117720*	Id.
86.	10 000 Ω resistance standard, No. 148058*	Slovak Institute of Metrology (SMU), Bratislava, Slovakia.
87.	1 Ω resistance standard, No. 1915096	National Institute of Metrology (NIMT), Bangkok, Thailand.
88.	10 000 Ω resistance standard, No. 1917542	Id.
89.	1 kg mass standard in stainless steel, No. 1*	Mettler-Toledo GmbH (MT), Greifensee, Switzerland.

* Renommé Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE).

90.	1 kg mass standard in stainless steel, No. 40503314*	Nacional Center of Metrology (NCM), Sofia, Bulgaria.
91.	1 kg mass standard in stainless steel, No. 14	Swiss Federal Office of Metrology and Accreditation (METAS)*, Bern-Wabern, Switzerland.
92.	1 kg mass standard in stainless steel, No. 15	Id.
93.	1 pF capacitance standard, No. 01358	National Institute of Metrology (NIMT), Bangkok, Thailand.
94.	10 pF capacitance standard, No. 01359	Id.
95.	100 pF capacitance standard, No. 01360	Id.
96.	1 pF capacitance standard, No. 01210	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), Rio de Janeiro, Brazil.
97.	10 pF capacitance standard, No. 01209*	Id.
98.	100 pF capacitance standard, No. 01163*	Id.

2005

1.	Prototype de masse n° 89	Suisse.
2.	Prototype de masse n° 90	Mexique.
3.	1 kg mass standard in stainless steel, No. E0	National Institute of Metrology (NIMT), Bangkok, Thailand.
4.	1 kg mass standard in stainless steel, No. C1	Id.
5.	1 kg mass standard in stainless steel, No. C2	Id.
6.	1 kg mass standard in stainless steel, No. 83700*	Standards, Productivity and Innovation Board (SPRING Singapore), Singapore.

* Renommé Federal Office of Metrology.

- | | | |
|-----|--|--|
| 7. | Helium-neon laser at 633 nm,
CSIR4 | Council for Scientific and
Industrial Research, National
Metrology Laboratory (CSIR-
NML), Pretoria, South Africa. |
| 8. | Helium-neon laser at 633 nm,
VNIIM2 | D.I. Mendeleyev Institute for
Metrology, Rostekhnreguli-
rovaniye of Russia (VNIIM),
St Petersburg, Russian Federation. |
| 9. | Helium-neon laser at 633 nm,
IPQ2 | Instituto Português da Qualidade
(IPQ), Caparica, Portugal. |
| 10. | Helium-neon laser at 633 nm,
SP2 | Swedish National Testing and
Research Institute (SP), Borås,
Sweden. |
| 11. | Helium-neon laser at 633 nm,
NIM D1 | National Institute of Metrology
(NIM), Beijing, China. |
| 12. | Helium-neon laser at 633 nm,
NMI-5 | Nederlands Meetinstituut, Van
Swinden Laboratorium (NMI
VSL), Delft, Nederlands. |
| 13. | 1 Ω resistance standard,
No. 1915322* | Bundesamt für Eich- und
Vermessungswesen (BEV),
Vienna, Austria. |
| 14. | 1 Ω resistance standard,
No. 1611312* | Id. |
| 15. | 10 000 Ω resistance standard,
No. 1784815* | Id. |
| 16. | Étalon de tension à diode de
Zener, n° 5740201* | Service de la métrologie (SMD),
Bruxelles, Belgique. |
| 17. | Zener diode voltage standard,
No. 6 945 016* | Nacional Centre of Metrology
(NCM), Sofia, Bulgaria. |
| 18. | Étalon de capacité de 10 pF,
n° 01277* | Service de la métrologie (SMD),
Bruxelles, Belgique. |
| 19. | Étalon de capacité de 100 pF,
n° 01276* | Id. |
| 20. | Étalon de capacité de 100 pF,
n° 01283* | Service de la métrologie (SMD),
Bruxelles, Belgique. |
| 21. | Étalon de résistance de 100 Ω ,
n° A2010200SR102 | Id. |
| 22. | Étalon de résistance de 1 Ω ,
n° 1816192* | Id. |
| 23. | Étalon de résistance de 1 Ω ,
n° 1816196* | Id. |

- | | |
|--|--|
| 24. Étalon de résistance de
10 000 Ω, n° 508004* | Service de la métrologie (SMD),
Bruxelles, Belgique. |
| 25. Étalon de résistance de
10 000 Ω, n° 718011* | Id. |
| 26. Étalon de tension à diode de
Zener, n° 5940003* | Institutul National de Metrologie
(INM), Bucarest, Roumanie. |
| 27. Ionization chamber in
gamma-ray,
NE 2530-649 | Council for Scientific and
Industrial Research, National
Metrology Laboratory CSIR-
NML), Pretoria, South Africa. |
| 28. Ionization chamber in x-rays,
NE 2611-144* | Id. |
| 29. Ionization chamber in ⁶⁰ Co
gamma-ray, NE 2611-144* | Id. |
| 30. Helium-neon laser at 633 nm,
INM9 | Laboratoire National de
Métrologie et d'Essais
(LNE-INM), Paris, France. |
| 31. 10 pF capacitance standard,
No. 01181 | Czech Metrology Institute (CMI),
Brno, Czech Republic. |
| 32. 100 pF capacitance standard,
No. 01323* | Id. |
| 33. 100 pF capacitance standard,
No. 01326 | Id. |
| 34. Étalon de capacité de 10 pF,
n° 45* | Institutul National de Metrologie
(INM), Bucarest, Roumanie. |
| 35. Étalon de capacité de 100 pF,
n° 46* | Id. |
| 36. 10 pF capacitance standard,
No. 01300* | Swiss Federal Office of
Metrology and Accreditation
(METAS), Bern-Wabern,
Switzerland. |
| 37. 10 pF capacitance standard,
No. 01191* | Id. |
| 38. 100 pF capacitance standard,
No. 01188* | Swiss Federal Office of
Metrology and Accreditation
(METAS), Bern-Wabern,
Switzerland. |
| 39. 1 pF capacitance standard,
No. 01113* | National Metrology Laboratory
(NML-SIRIM), Shah Alam,
Malaysia. |

- | | | |
|-----|--|--|
| 40. | 10 pF capacitance standard,
No. 01111* | National Metrology Laboratory
(NML-SIRIM), Shah Alam,
Malaysia. |
| 41. | 10 pF capacitance standard,
No. 01112* | Id. |
| 42. | 100 pF capacitance standard,
No. 01110* | Id. |
| 43. | 10 pF capacitance standard,
No. 01305* | Instituto Nacional de Engenharia,
Tecnologia e Inovação (INETI),
Lisbon, Portugal. |

14.2 Notes d'étude

2004

N^{os}

- | | | |
|----|---|---|
| 7. | 10 pF capacitance standard,
No. 01218 | Centro Español de Metrología
(CEM), Madrid, Spain. |
| 8. | 100 pF capacitance standard,
No. 01217 | Id. |

2005

N^{os}.

- | | | |
|----|--|---|
| 1. | Helium-neon laser at 633 nm,
BIW167 | Winters Electro-Optics,
Longmont, United States. |
| 2. | Étalon de capacité de 100 pF,
n° 01288* | Service de la métrologie (SMD),
Bruxelles, Belgique. |
| 3. | 100 pF capacitance standard,
No. 01189 | Swiss Federal Office of
Metrology and Accreditation
(METAS), Bern-Wabern,
Switzerland. |

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

15.1 Comptes

Les tableaux suivants sont la reproduction des tableaux qui figurent dans le *Rapport annuel aux Gouvernements des Hautes parties contractantes sur la situation administrative et financière du Bureau international des poids et mesures* relatif à l'exercice 2004.

15.1.1 Compte I : fonds ordinaires*

Actif au 1 ^{er} janvier 2004			6 716 177,48
Recettes			
Recettes budgétaires			9 257 062,16
Taxes sur les achats remboursées			238 266,75
Total des recettes			9 495 328,91
Dépenses			
Dépenses budgétaires			8 999 775,08
Dépenses pour l'installation des laboratoires de métrologie en chimie			168 961,34
Différences de change			34 373,28
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 2004			54 643,20
Taxes sur les achats remboursables			296 926,68
Total des dépenses			9 554 679,58
Actif au 31 décembre 2004			6 656 826,81
Détail des recettes budgétaires			
Versement de contributions :			
Au titre de l'exercice 2004	7 908 347,79	} 8 298 214,98	} 8 466 512,50
Au titre de l'exercice 2003	148 692,52		
Au titre de l'exercice 2002	101 579,56		
Au titre de l'exercice 2001 et antérieurs	49 349,97		
Au titre de l'exercice 2005	90 245,14		
Prélèvement sur le compte « Remboursement aux États »	168 297,52		
Versement de la contribution supplémentaire discrétionnaire :			
Au titre de l'exercice 2005	4 758,00	} 15 842,00	
Au titre de l'exercice 2006	3 604,00		
Au titre de l'exercice 2007	3 713,00		
Au titre de l'exercice 2008	3 767,00		
Versement de souscriptions :			
Au titre de l'exercice 2004	154 555,19	} 169 763,45	
Au titre de l'exercice 2003	5 857,35		
Au titre de l'exercice 2005	9 350,91		
Intérêts des fonds			254 170,30
Abonnements à <i>Metrologia</i>			73 341,74
Recettes diverses		} 277 432,17	
• cession de prototypes (kg)	116 995,80		
• divers	160 436,37		
Total des recettes			9 257 062,16

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

Versement des contributions. — Les versements de contributions effectués au cours de l'année 2004 s'élèvent à 8 298 214,98 euros, dont 7 908 347,79 euros au titre de l'exercice 2004, 90 245,14 euros au titre de l'exercice 2005 et 299 622,05 euros au titre des exercices antérieurs. Des versements pour un montant de 15 842 euros ont été également effectués au titre de la contribution supplémentaire discrétionnaire votée par le 22^e Conférence générale des poids et mesures pour les années 2005 à 2008.

Versements des souscriptions. — Les versements des souscriptions effectués au cours de l'année 2004 s'élèvent à 169 763,45 euros.

Dépenses du Compte I. — Les dépenses budgétaires en 2004 se sont élevées à 8 999 775,08 euros pour un budget voté s'élevant à 9 783 546 euros.

Détail des dépenses budgétaires

Chapitres	Dépenses de l'exercice	Budget voté	Économies	Dépassements
<i>A. Dépenses de personnel :</i>				
1. Traitements	4 027 329,89	4 023 000	5 335 400	4 329,89
2. Allocations familiales et sociales	853 166,29			
3. Charges sociales (a)	440 913,12			
<i>B. Contribution à la Caisse de retraite (b) :</i>				
	1 425 000,00	1 425 000	—	—
<i>C. Services généraux :</i>				
1. Chauffage, eau, électricité	164 280,93	819 143,03	1 145 400	—
2. Assurances	38 994,76			
3. Publications	33 224,89			
4. Frais de bureau	90 869,20			
5. Frais de réunions	59 745,06			
6. Voyages et transports de matériel	265 445,97			
7. Bibliothèque	138 714,13			
8. Bureau du Comité	27 868,09			
<i>D. Dépenses de laboratoires :</i>				
	925 150,50	1 390 000	464 849,50	—
<i>E. Dépenses de bâtiments : (travaux d'entretien et de rénovation) :</i>				
	433 596,61	400 000	—	33 596,61
<i>F. Frais divers et imprévus (c) :</i>				
	75 475,64	67 746	—	7 729,64
Totaux	8 999 775,08	9 783 546	834 421,82	50 650,90

(a) Comprenant un virement de 48 493,57 euros au Compte II (Caisse de retraite).

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

(c) Comprenant un virement de 1 608,00 euros au Compte IV (Caisse de prêts sociaux).

15.1.2 Compte II : caisse de retraite

Actif au 1 ^{er} janvier 2004	11 240 366,44
Recettes	
Retenues sur les traitements	357 509,65
Virement du Compte I*	1 505 892,34
Intérêts des fonds	458 435,93
Total des recettes	2 321 837,92
Dépenses	
Pensions servies	2 084 018,17
Remboursement de cotisations	125 061,17
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 2004	92 454,41
Total des dépenses	2 301 533,75
Actif au 31 décembre 2004	11 260 670,61

* Comprenant un virement de 48 493,57 euros provenant des économies réalisées sur l'assurance maladie (*BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 1994, **62**, 19).

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

Ce compte n'a enregistré aucun mouvement en 2004.

15.1.4 Compte IV : caisse de prêts sociaux

Actif au 1 ^{er} janvier 2004 hors créances	91 580,16
Recettes	
Amortissements partiels des prêts	
Capital	45 075,44
Intérêts	1 549,44
Virement du Compte I	1 608,00
Intérêts des fonds	4 565,34
Total des recettes	52 798,22
Dépenses	
Prêts consentis en cours d'année	21 290,00
Total des dépenses	21 290,00
Actif au 31 décembre 2004 hors créances	123 088,38
Créances de la caisse de prêts sociaux	
Créances au 1 ^{er} janvier 2004	118 044,44
Créances nouvelles en cours d'année	21 290,00
Amortissements partiels des prêts (capital)	- 45 075,44
Créances au 31 décembre 2004	94 259,00
Actif au 31 décembre 2004 créances incluses	217 347,38

15.1.5 Compte V : réserve pour les bâtiments

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

15.1.6 Compte VI : *Metrologia*

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

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

Actif au 1 ^{er} janvier 2004	609 069,49
Recettes	
Intérêts des fonds	23 131,64
Total des recettes	23 131,64
Dépenses	
Subvention des cotisations des retraités	40 936,23
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 2004	4 815,65
Total des dépenses	45 751,88
Actif au 31 décembre 2004	586 449,25

15.1.8 Bilan au 31 décembre 2004

Compte I « Fonds ordinaires »	6 656 826,81
Compte II « Caisse de retraite »	11 260 670,61
Compte III « Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique »	0,00
Compte IV « Caisse de prêts sociaux »	217 347,38
Compte V « Réserve pour les bâtiments »	0,00
Compte VI « <i>Metrologia</i> »	0,00
Compte VII « Fonds de réserve pour l'assurance maladie »	586 449,25
Actif net	18 721 294,05
Cet actif net se décompose comme suit :	
<i>a.</i> Fonds déposés en banque :	
1° En euros	12 288 169,83
2° En dollars américains (1,3621 USD = 1 EUR)	2 065 240,17
3° En francs suisses (1,5429 CHF = 1 EUR)	3 968,88
4° En livres sterling (0,705 05 GBP = 1 EUR)	1 401 771,59
5° En dollars canadiens (1,6416 CAD = 1 EUR)	687 701,75
6° En couronnes suédoises (9,0206 SEK = 1 EUR)	121 955,53
7° En couronnes norvégiennes (8,2365 NOK = 1 EUR)	758 817,46
8° En couronnes danoises (7,4388 DKK = 1 EUR)	1 892 825,04
Total des fonds déposés en banque	19 220 450,25
<i>b.</i> Espèces en caisse :	
1° En euros	3 518,47
2° En dollars américains (1,3621 USD = 1 EUR)	844,41
3° En francs suisses (1,5429 CHF = 1 EUR)	339,98
4° En livres sterling (0,705 05 GBP = 1 EUR)	1475,70
5° En yens (139,65 JPY = 1 EUR)	101,68
6° En dollars canadiens (1,6416 CAD = 1 EUR)	441,80
7° En dollars australiens (1,7459 AUD = 1 EUR)	114,55
8° En couronnes norvégiennes (8,2365 NOK = 1 EUR)	91,54
9° En couronnes danoises (7,4388 DKK = 1 EUR)	13,44
10° En dollars de Singapour (2,2262 SGD = 1 EUR)	69,18
11° En couronnes slovaques (38,745 SKK = 1 EUR)	1,29
12° En zlotys (4,0845 PLN = 1 EUR)	9,79
13° En yuans RMB (11,2925 CNY = 1 EUR)	85,51
14° En tolars (239,76 SIT = 1 EUR)	22,11
15° En ringitts (5,184 72 MYR = 1 EUR)	63,65
Total des espèces en caisse	7 193,10
Actif brut (<i>a + b</i>)	19 227 643,35
<i>c.</i> Créances de la Caisse de prêts sociaux	94 259,00
<i>d.</i> Provision pour remboursement aux États à déduire (1)	-600 608,30
Actif net	18 721 294,05

(1) Compte « Remboursement aux États »

Situation au 1 ^{er} janvier 2004	187 649,02
Versements	
Versement par l'Indonésie de ses contributions de 1999 à 2004	261 736,30
Versement par le Venezuela de ses contributions de 1996 (solde) à 2003	319 520,50
Total des versements	581 256,80
Remboursements aux États	
Compensation du remboursement d'avances faites pour l'Argentine (1999)	87 879,42
Compensation du remboursement d'avances faites pour le Pakistan (2000)	80 418,10
Total des remboursements	168 297,52
Situation au 31 décembre 2004	600 608,30

15.2 Personnel

15.2.1 Engagements

- M. Ralf D. Josephs, né le 9 février 1970 à Dortmund (Allemagne), de nationalité allemande, précédemment chimiste à l'Institut des matériaux et mesures de référence à Geel (Belgique), a été engagé au grade de *chimiste* dans la section de chimie à dater du 1^{er} août 2004.
- M. Steven W. Westwood, né le 6 octobre 1959 à Sydney (Australie), de nationalité australienne, précédemment responsable d'une équipe à l'Australian Government Analytical Laboratories à Pymble (Australie), a été engagé au grade de *chimiste* dans la section de chimie à dater du 1^{er} septembre 2004.
- Mme Adeline Daireaux, née le 27 juillet 1979 à Cherbourg (France), de nationalité française, précédemment technicienne dans une société privée française, a été engagée au grade de *technicien* dans la section de chimie à dater du 13 juin 2005.

15.2.2 Promotions et changements de grade

- M. David Burns*, *physicien* à la section des rayonnements ionisants, a été promu au grade de *physicien principal* à dater du 1^{er} janvier 2005.
- M. Steven W. Westwood*, *chimiste* dans la section de chimie, a été promu au grade de *chimiste principal* à dater du 1^{er} janvier 2005.
- M. André Zongo, *agent d'entretien*, a été promu au grade de *jardinier* à dater du 1^{er} janvier 2005.

15.2.3 Changements de postes et titularisations

- Mme Maria J. Fernandes, employée contractuelle depuis le 2 février 2004, a été titularisée le 1^{er} janvier 2005 au grade d'*agent d'entretien*.
- Mme Arminda Da Ponte, employée contractuelle depuis le 16 juin 2004, a été titularisée le 1^{er} janvier 2005 au grade d'*agent d'entretien*.
- Depuis janvier 2004, Mme H. Fang, *physicien* dans la section des masses, est transférée au projet sur la balance du watt (section d'électricité/projets spéciaux) pour 50 % de son temps.

* Ces promotions résultent d'un vote au CIPM lors de sa 93^e session en octobre 2004.

- Depuis janvier 2004, M. A. Picard, *physicien principal* dans la section des masses, est transféré au projet sur la balance du watt (section d'électricité/projets spéciaux) pour 80 % de son temps.

15.2.4 Chercheurs associés

- M. Massimo Zucco, chercheur associé à la section des longueurs depuis le 9 septembre 2002, a été prolongé dans ses fonctions jusqu'au 31 décembre 2005.

15.2.5 Départs

- Mme Rosa Prieto, *agent d'entretien*, a pris sa retraite le 31 juillet 2004 après 20 ans de service.
- Mme Marie-Josette Coarasa, *technicien métrologiste* dans la section des masses, a pris sa retraite le 31 décembre 2004 après près de 35 ans de service.

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

15.3 Bâtiments

15.3.1 Grand Pavillon

- Peinture du sol du couloir au sous-sol.
- Remplacement du revêtement de sol dans l'escalier entre le rez-de-chaussée et le sous-sol.
- Remplacement du tableau électrique de la cantine du personnel.

15.3.2 Petit Pavillon

- Rénovation de l'appartement des visiteurs, et remplacement du tableau électrique.

15.3.3 Observatoire

- Réfection de la salle 10 pour l'installation d'un laboratoire pour la section de chimie.
- Remplacement des tableaux électriques des salles 6, 7, 14, 114 et du caveau.
- Installation d'un faux plafond dans le couloir du premier étage.

15.3.4 Bâtiment des rayonnements ionisants

- Remplacement du système de conditionnement d'air à la salle 21.
- Installation d'un système de conditionnement d'air à la salle 12.

15.3.5 Nouveau Pavillon

- Remplacement des éclairages de la salle de réunion au niveau -2.

15.3.6 Pavillon du Mail

- Installation d'un système de conditionnement d'air dans la salle de gravimétrie.

15.3.7 Extérieurs et parc

- Réparation partielle du chemin pour les piétons et de l'escalier.
- Construction de deux plateformes pour des mesures gravimétriques.
- Motorisation de la porte d'entrée.
- Réparation d'une partie de la clôture.

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

B. Perent s'est rendue à Londres (Royaume-Uni), du 30 juin au 1^{er} juillet 2004, pour une réunion du bureau du Comité ; et les 21 et 22 avril 2005, pour participer à une réunion sur les immunités et privilèges des organisations internationales organisée par l'International Institute of Administrative Sciences.

16 **SECRETARIAT (F. JOLY)**

La charge de travail du secrétariat continue à s'accroître en raison de l'augmentation du nombre des réunions au BIPM (environ 10 % de plus que l'an passé), essentiellement pour les Comités consultatifs et leurs groupes de travail (qui se tiennent à différents endroits en même temps, en particulier le CCM, le CCQM et le CCT).

Pour faire face à l'organisation de ces réunions et à l'évolution des tâches administratives, le secrétariat continue à se former aux outils informatiques. Ainsi les documents principaux des Comités consultatifs et ceux assurant la communication avec les États membres et avec les directeurs des laboratoires nationaux de métrologie sont accessibles par l'intermédiaire du site Web du BIPM.

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

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

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

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

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

LISTE DES SIGLES UTILISÉS DANS LE PRÉSENT VOLUME

1 Sigles des laboratoires, commissions et conférences*

AAAC	Association of Accrediting Agencies of Canada
ABBS	Antigua and Barbuda Bureau of Standards (Antigua-et-Barbuda)
ADeLA	Dynamical Astronomy in Latin America/Astronomía Dinámica en Latino América
AIEA	Agence internationale de l'énergie atomique
AIST*	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, <i>voir</i> NMIJ/AIST
AMA	Agence mondiale antidopage
ANSTO	Australian Nuclear Science and Technology Organization, Menai (Australie)
AOAC	Association of Analytical Communities
APMP	Asia/Pacific Metrology Programme
ARPANSA	Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency, Sydney et Melbourne (Australie)
ATF	Accelerator Test Facility, Upton (États-Unis)
BAM	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin (Allemagne)
BARC	Bhabha Atomic Research Centre, Trombay (Inde)
BelGIM	Belarussian State Institute for Metrology, Minsk (Biélarus)
BEV	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Vienne (Autriche)
BIPM	Bureau international des poids et mesures
BNM*	Bureau national de métrologie, Paris (France), <i>voir</i> LNE
BRGM	Bureau de recherches géologiques et minières, Paris (France)
CARICOM	Communauté des Caraïbes/Caribbean Community
CCAUV	Comité consultatif de l'acoustique, des ultrasons et des vibrations
CCEM	Comité consultatif d'électricité et magnétisme

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

CCL	Comité consultatif des longueurs
CCM	Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées
CCMAS	CODEX Committee on Methods of Analysis and Sampling
CCPR	Comité consultatif de photométrie et radiométrie
CCQM	Comité consultatif pour la quantité de matière : métrologie en chimie
CCRI	Comité consultatif des rayonnements ionisants
CCT	Comité consultatif de thermométrie
CCTF	Comité consultatif du temps et des fréquences
CCU	Comité consultatif des unités
CEA	Commissariat à l'énergie atomique, Saclay (France)
CEI	Commission électrotechnique internationale
CEM	Centro Español de Metrología, Madrid (Espagne)
CENAM	Centro Nacional de Metrología, Querétaro (Mexique)
CETIAT	Centre technique des industries aéronautiques et thermiques, Villeurbanne (France)
CGGTTS	Groupe de travail du CCTF sur la normalisation des comparaisons d'horloges utilisant le GPS et le GLONASS/CCTF Working Group on GPS and GLONASS Time Transfer Standards
CGPM	Conférence générale des poids et mesures
CHMI	Czech Hydrometeorological Institute, Prague (République tchèque)
CIEMAT	Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Madrid (Espagne)
CIML	Comité international de métrologie légale
CIPM	Comité international des poids et mesures
CLEO	Conference on Lasers and Electro Optics
CMI	Český Metrologický Institut/Czech Metrological Institute, Prague et Brno (Rép. tchèque)
CMS-ITRI	Centre for Measurement Standards of the Industrial Technology Research Institute (Taïpei chinois)
CNAM*	Conservatoire national des arts et métiers, Paris (France), voir LNE
CNES	Centre national d'études spatiales, Toulouse (France)
CNRS	Centre national de la recherche scientifique, Paris (France)
CONICET	Argentine Council of Research

COOMET	Cooperation in Metrology among the Central European Countries
COPUOS	Committee on the Peaceful Uses of Outer Space of the United Nations
CPEM	Conference on Precision Electromagnetic Measurements
CROSQ	CARICOM Regional Organization for Standards and Quality
CSIR-NML	Council for Scientific and Industrial Research, National Metrology Laboratory, Pretoria (Afrique du Sud)
CSTL	Chemical Science and Technology Laboratory, NIST, Gaithersburg (États-Unis), <i>voir</i> NIST
DFM	Danish Institute of Fundamental Metrology, Lyngby (Danemark)
DTI	Department of Trade and Industry (Royaume-Uni)
ECNU	East China Normal University, Shanghai (Chine)
EFTF	European Frequency and Time Forum
EIM	Hellenic Institute of Metrology, Athènes (Grèce)
ENEA	Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Rome (Italie)
ESA	Agence spatiale européenne/European Space Agency
EUROMET	European Collaboration in Measurement Standards
FAO	Food and Agricultural Organization of the United Nations
GREX	Groupe de recherche du CNRS : Gravitation et expériences (France)
GUM	Central Office of Measures/Główny Urząd Miar, Varsovie (Pologne)
IAC	International Avogadro Coordination Committee
IAEA*	<i>voir</i> AIEA
ICAG	International Conference of Absolute Gravimeters
ICRM	International Committee for Radionuclide Metrology
ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurements
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, Piscataway, NJ (États-Unis)
IEN	Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin (Italie)
IERS	Service international de la rotation terrestre et des systèmes de référence/International Earth Rotation and Reference Systems Service

IFCC	Fédération internationale de chimie clinique et médecine de laboratoire/International Federation of Clinical Chemistry and Laboratory Medicine
IGLOS-PP	International GLONASS Service Pilot Project
IGN	Institut géographique national, Saint-Mandé (France)
IGS	International GNSS Service
IKZ	Institute of Crystal Growth/Institut für Kristallzüchtung, Berlin (Allemagne)
ILAC	International Laboratory Accreditation Cooperation
IMEKO	International Measurement Confederation
IMGC	Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin (Italie)
INETI	Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, Lisbonne (Portugal)
ININ	Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Mexico (Mexique)
INM*	Institut national de métrologie, voir LNE-INM
INM	Institut national de métrologie, Bucarest (Roumanie)
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, Rio de Janeiro (Brésil)
INPL	National Physical Laboratory of Israel, Jérusalem (Israël)
ION	Institute of Navigation, Alexandria, VA (États-Unis)
IOP	Institute of Physics, Londres (Royaume-Uni)
IOPP	Institute of Physics Publishing, Londres (Royaume-Uni)
IPGP	Institut de Physique du Globe de Paris, Paris (France)
IPQ	Instituto Português da Qualidade, Lisbonne (Portugal)
IRA	Institut de radiophysique appliquée, Lausanne (Suisse)
IRD*	voir LNMRI
IRD	Institut de recherche pour le développement, Paris (France)
IRMM	Institut des matériaux et mesures de référence, Commission européenne/Institute for Reference Materials and Measurements, European Commission
ISO	Organisation internationale de normalisation
ISO CASCO	Organisation internationale de normalisation, Comité pour l'évaluation de la conformité
ISO REMCO	Organisation internationale de normalisation, Comité pour les matériaux de référence
ITN	Instituto Tecnológico e Nuclear, Savacém (Portugal)
IVS	International VLBI Service

JCGM	Comité commun pour les guides en métrologie/ Joint Committee for Guides in Metrology
JCRB	Comité mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM/Joint Committee of the Regional Metrology Organizations and the BIPM
JCTLM	Comité commun pour la traçabilité en médecine de laboratoire/Joint Committee on Traceability in Laboratory Medicine
JILA	Joint Institute for Laboratory Astrophysics, Boulder CO (États-Unis)
KRISS	Korea Research Institute of Standards and Science, Daejeon (Rép. de Corée)
LGC	Laboratory of the Government Chemist, Teddington (Royaume-Uni)
LNE	(ancien BNM) Laboratoire national d'essais, Paris (France)
LNE-CNAM	Laboratoire national d'essais, Conservatoire national des arts et métiers, Paris (France)
LNE-INM	Laboratoire national d'essais, Institut national de métrologie, Paris (France)
LNE-LNHB	Laboratoire national d'essais, Laboratoire national Henri Becquerel, Gif-sur-Yvette (France)
LNE-SYRTE	Laboratoire national d'essais, Systèmes de référence temps espace, Paris (France)
LNHB*	Laboratoire national Henri Becquerel, <i>voir</i> LNE
LNMRI	Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes, Rio de Janeiro (Brésil)
LNMRI/IRD	Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes, Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Rio de Janeiro (Brésil)
MAC	UK Department of Trade and Industry Measurement Advisory Committee
METAS	Office fédéral de métrologie et d'accréditation, Bern et Wabern (Suisse), renommé Office fédéral de métrologie
MRA	Arrangement de reconnaissance mutuelle/ Mutual Recognition Arrangement
MST	Foundation for the Promotion of Material Science and Technology of Japan (Japon)
NCM	National Centre of Metrology, Sofia (Bulgarie)

NCSLI	National Conference of Standards Laboratories, Boulder CO (États-Unis)
NEN	Nederlands Normalisatie-Instituut, Delft (Pays-Bas)
NERI	National Environmental Research Institute, Roskilde (Danemark)
NEWRAD	New Developments and Applications in Optical Radiometry Conference
NIBSC	National Institute for Biological Standards and Control, London (Royaume-Uni)
NIES	National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, Ibaraki (Japon)
NIH	National Institutes of Health, Bethesda (États-Unis)
NILU	Norwegian Institute for Air Research, Kjeller (Norvège)
NIM	National Institute of Metrology, Beijing (Chine)
NIMT	National Institute of Metrology, Bangkok (Thaïlande)
NIS	National Institute of Standards, Le Caire (Égypte)
NIST	National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg MD (États-Unis)
NMi VSL	Nederlands Meetinstituut, Van Swinden Laboratorium, Delft (Pays-Bas)
NMIA	National Measurement Institute, Australia, Lindfield (Australie)
NMIJ/AIST	National Metrology Institute of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Tsukuba (Japon)
NML	National Metrology Laboratory, Dublin (Irlande)
NPL	National Physical Laboratory, Teddington (Royaume-Uni)
NRC	Conseil national de recherches du Canada, Ottawa (Canada)
NRCCRM	National Research Centre for Certified Reference Materials, Beijing (Chine)
NTSC	National Time Service Centre, Lintong (Chine)
OIML	Organisation internationale de métrologie légale
OMH	Országos Mérésügyi Hivatal/National Office of Measures, Budapest (Hongrie)
OMM	Organisation météorologique mondiale
OMP	Observatoire Midi-Pyrénées, Toulouse (France)
OMS	Organisation mondiale de la santé
OMS-VAG	Organisation mondiale de la santé, Programme de veille de l'atmosphère globale

OP	Observatoire de Paris (France)
ORB	Observatoire royal de Belgique, Bruxelles (Belgique)
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig et Berlin (Allemagne)
PTTI	Precise Time and Time Interval Applications and Planning Meeting
RC	Radioisotope Centre, Otwock (Pologne)
RCMAM	Groupe de travail de l'UAI sur la relativité en mécanique céleste, en astrométrie et dans le domaine de la métrologie/IAU Working Group on Relativity in Celestial Mechanics, Astrometry and Metrology
SCL	Standards and Calibration Laboratory (Hong Kong)
SIM	Système interaméricain de métrologie/ Sistema Interamericano de Metrología
SIRIM	National Metrology Laboratory (NML-SIRIM), Shah Alam (Malaisie)
SMD	Service de la métrologie, Bruxelles, Belgique
SMU	Slovenský Metrologický Ústav/Slovak Institute of Metrology, Bratislava (Slovaquie)
SP	SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut/Swedish National Testing and Research Institute, Borås (Suède)
SPRING	Standards, Productivity and Innovation Board, Singapour (Singapour)
SYRTE*	Systèmes de référence temps espace, voir LNE
UAI	Union astronomique internationale
UIT	Union internationale des télécommunications
UN	Nations unies/United Nations
USNO	U.S. Naval Observatory, Washington DC (États-Unis)
VERMI	Virtual European Radionuclide Metrology Institute
VNIIFTRI	All-Russian Research Institute for Physical, Technical and Radiophysical Measurements, Rostekhregulirovaniye de Russie, Moscou (Féd. de Russie)
VNIIM	Institut de métrologie D.I. Mendelév, Rostekhregulirovaniye de Russie, Saint-Pétersbourg (Féd. de Russie)
VSL*	Van Swinden Laboratorium, voir NMi VSL
WGAC	Groupe de travail du CCM sur la constante d'Avogadro/ CCM Working Group on the Avogadro Constant
ZMDM	Bureau des mesures et métaux précieux, Belgrade (Serbie-et-Monténégro)

2 Sigles des termes scientifiques

CMC	Aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages/ Calibration and Measurement Capabilities
CRM	Matériau de référence certifié/Certified Reference Material
EAL	Échelle atomique libre
EIT-90	Échelle internationale de température de 1990
GLONASS	Global Navigation Satellite System
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GUM	Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure/ Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement
ICRF	Système de référence céleste international/International Celestial Reference Frame
IT	Informatique/Information Technology
ITS-90*	International Temperature Scale of 1990, <i>voir</i> EIT-90
IVS	International VLBI Service
KCDB	Base de données du BIPM sur les comparaisons clés/ BIPM key comparison database
KTP	Potassium Titanyle Phosphate
LC-DAD	Chromatographie liquide avec détection l'ultraviolet par des réseaux de diodes/Liquid chromatography with UV diode array detection
QED	Quantum Electronic Device
SI	Système international d'unités
SINIS	Supraconducteur-isolant métal-normal-isolant- supraconducteur
SIR	Système international de référence pour les mesures d'activité d'émetteurs de rayonnement gamma
SIS	Supraconducteur-isolant-supraconducteur
SQUID	Interféromètre quantique supraconducteur/ Superconducting Quantum Interference Device
TA	Temps atomique
TAI	Temps atomique international
TT	Temps terrestre
TWSTFT	Comparaison de temps et de fréquence par aller et retour sur satellite/Two-way Satellite Time and Frequency Transfer
UTC	Temps universel coordonné

VIM	Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie
VLBI	Interférométrie à très longue base/Very Long Baseline Interferometry
YAG	Yttrium Aluminium Garnet

