Bureau international des poids et mesures

Comité international des poids et mesures

88e session (octobre 1999)

Note sur l'utilisation du texte anglais (*voir* page 167)

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

Conception graphique :
Monika Jost

Imprimé par : Stedi, Paris

ISSN 0370-2596
ISBN 92-822-2173-3

TABLE DES MATIÈRES

ÉTATS MEMBRES DE LA CONVENTION DU MÈTRE

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

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 m^2) 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 physiques ; 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) et aux échelles de temps (1988). 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 et en 1988 a été inauguré un bâtiment pour la bibliothèque et des bureaux.

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 avec les *Procès-verbaux des séances du Comité international*.

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 (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, du Comité international et des Comités consultatifs 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 ;*
- *Rapports des sessions des Comités consultatifs.*

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 les *Procès-verbaux des séances du Comité international*.

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 DES MEMBRES
DU COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
au 15 octobre 1999

Président

1. J. Kovalevsky, président du Bureau national de métrologie, Observatoire de la Côte d'Azur, avenue N. Copernic, 06130 Grasse, France.

Secrétaire

2. W.R. Blevin, 61 Boronia avenue, Cheltenham NSW 2119, Australie.

Membres

3. Chung Myung Sai, scientifique honoraire du Korea Research Institute of Standards and Science, P.O. Box 102, Yusong, Taejon 305-600, Rép. de Corée.
4. Gao Jie, sous-directeur général du National Institute of Measurement and Testing Technology, P.O. Box 659, Chengdu 610061, Sichuan, Chine.
5. E.O. Göbel, président de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Postfach 3345, 38023 Braunschweig, Allemagne.
6. E.S.R. Gopal, scientifique honoraire, Department of Physics of the Indian Institute of Science, Bangalore 560 012, Inde.
7. K. Iizuka, c/o National Research Laboratory of Metrology, 1-1-4 Umezono, Tsukuba 305, Japon. *Vice-président*.
8. L.K. Issaev, sous-directeur du VNIIMS, Gossandart of Russia, Leninsky Prospect 9, 117049 Moscou, Féd. de Russie.
9. R. Kaarls, Klaverwydenstraat 13, 2381 VX Zoeterwoude, Pays-Bas. *Secrétaire désigné*.
10. S. Leschiutta, président de l'Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Corso Massimo d'Azeglio 42, I-10125 Turin, Italie.
11. G. Moscati, Instituto de Fisica, Université de São Paulo, Caixa Postal 66318, 05315-970 São Paulo SP, Brésil.
12. P. Pâquet, directeur de l'Observatoire royal de Belgique, 3 avenue Circulaire, B-1180 Bruxelles, Belgique.

13. H. Ugur, directeur du Tubitak Ulusal Metroloji Enstitüsü, P.O. Box 21, 41470 Gebze-Kocaeli, Turquie.
14. J. Valdés, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Sede Central, Leandro N. Alem. 1067, Piso 7, 1001 Buenos Aires, Argentine.
15. R. VanKoughnett, 58 Centrepark Drive, Blackburn Hamlet, Gloucester ON, Canada K1B 3C1.
16. A.J. Wallard, sous-directeur du National Physical Laboratory, Teddington TW11 0LW, Royaume-Uni.
17. …
18. …

Membres honoraires

1. E. Ambler, The Belvedere (No. 626), 1600 N. Oak Street, Arlington, VA 22209, États-Unis.
2. J. de Boer, Institut de physique, Université d’Amsterdam, Valckenier-straat 65, Amsterdam-C, Pays-Bas.
3. L.M. Branscomb, Box 309, Concord, Massachusetts 01742, États-Unis.
4. J.V. Dunworth, Apt. 902, Kings Court, Ramsey, Isle of Man, Royaume-Uni.
5. M. Kersten, Am Hohen Tore 4A, 3300 Braunschweig, Allemagne.
6. D. Kind, Knappstrasse 4, 38116 Braunschweig, Allemagne.
7. H. Preston-Thomas, 1109 Blasdell Avenue, Ottawa K1K 0C1, Canada.
8. J. Skákala, professeur à l'Université technique slovaque, Nám. Slobody 17, 812 31 Bratislava, Slovaquie.

LISTE DU PERSONNEL DU
BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

au 1er janvier 2000

Directeur : M. T.J. Quinn

Longueurs : M. J.-M. Chartier
M. R. Felder, Mme S. Picard, M. L. Robertsson
Mme A. Chartier, M. J. Labot

Masse : M. R.S. Davis
Mlle H. Fang*, Mme C. Goyon-Taillade, M. A. Picard, M. L.F. Vitouchkine
Mme J. Coarasa, M. J. Hostache

Temps : Mme E.F. Arias
MM. J. Azoubib, Z. Jiang*, W. Lewandowski, G. Petit, P. Wolf
Mlle H. Konaté, M. P. Moussay, Mme M. Thomas

Électricité : M. T.J. Witt
MM. F. Delahaye, D. Reymann, A. Zarka
MM. D. Avrons, R. Chayramy, A. Jaouen

Radiométrie et photométrie : M. R. Köhler
MM. R. Goebel, M. Stock
MM. L. Le Mée, R. Pello

Rayonnements ionisants : Mme P. Allisy-Roberts
M. D.T. Burns, Mlle C. Michotte, M. G. Ratel
MM. C. Colas, M. Nonis, P. Roger, C. Veyradier

Publications : M. P.W. Martin
Mlle J.R. Miles

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

Secrétariat : Mme F. Joly
Mmes L. Delfour, D. Le Coz**, G. Negadi

Finances, administration : Mme B. Perent
Mmes D. Spelzini Etter, M.-J. Martin, D. Saillard**

Gardiens : M. et Mme Dominguez, M. et Mme Neves
Femmes de ménage : Mmes R. Prieto, R. Vara
Jardiniers : MM. C. Dias-Nunes, A. Zongo***

Atelier de mécanique : M. J. Sanjaime
MM. P. Benoit, F. Boyer, M. de Carvalho, J.-B. Caucheteux, J.-P. Dewa, P. Lemartrier, D. Rotrou,
MM. E. Dominguez****, C. Neves****

Directeur honoraire : M. P. Giacomo

Métrologiste principal honoraire : M. G. Leclerc

---

* Chercheur associé(e).
** Également aux publications.
*** Également à l'atelier.
**** Également gardien.

Comité international des poids et mesures

Procès-verbaux des séances de la 88^{e} session

(7–15 octobre 1999)

Ordre du jour

1 Ouverture de la session ; quorum ; ordre du jour.

2 Rapport du secrétaire et activités du bureau du Comité (octobre 1998 – septembre 1999).

3 Composition du Comité international.

4 Recherche d'un nouveau directeur pour le BIPM, afin de remplacer T.J. Quinn lors de son départ à la retraite en 2003.

5 Vingt et unième Conférence générale des poids et mesures.

6 Organisation mondiale du commerce.

7 Arrangement de reconnaissance mutuelle.

8 Groupe de travail commun à l'OIML et à la Convention du Mètre.

9 Comités consultatifs :

- Composition des Comités consultatifs ;
- Rapport du CCQM ;
- Rapport du CCTF ;
- Rapport du CCM ;
- Rapport du CCPR ;
- Rapport du CCRI ;
- Rapport du CCAUV ;
- Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés ;
- Groupe de travail du CCL sur la métrologie dimensionnelle ;
- Groupe de travail *ad hoc* sur la viscosité ;
- Groupe de travail sur le débit de fluides ;
- Groupe de travail *ad hoc* sur la dureté ;
- Présidence du CCT et du CCAUV ;
- Réunions à venir.

10 Travaux du BIPM : rapport du directeur.

11 Questions administratives et financières.

12 Journée mondiale de la métrologie et célébration du 125e anniversaire de la Convention du Mètre en l’an 2000.

13 Questions diverses.

14 Élection du bureau du Comité.

15 Prochaine session du Comité international.

1 OUVERTURE DE LA SESSION ; QUORUM ; ORDRE DU JOUR

Le Comité international des poids et mesures (CIPM) s'est réuni pour sa 88^{e} session le jeudi 7 et le vendredi 8 octobre 1999 au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, et a tenu une brève séance au Collège de France, à Paris, le vendredi 15 octobre.

Étaient présents : MM. W.R. Blevin, Chung Myung Sai, Gao Jie, Mme K.B. Gebbie, MM. E.O. Göbel, E.S.R. Gopal, K. Iizuka, L.K. Issaev, R. Kaarls, J. Kovalevsky, S. Leschiutta, O.V. Lounasmaa (le 8 octobre), G. Moscati, H. Ugur, J. Valdés, R. VanKoughnett, A.J. Wallard et T.J. Quinn (directeur du BIPM).

Assistaient aussi à la session : M. P. Giacomo (directeur honoraire du BIPM, le 7 octobre) ; Mme F. Joly et Mlle J.R. Miles (secrétariat).

Excusé : M. P. Pâquet.

M. Kovalevsky, président du Comité international, ouvre la 88^{e} session et accueille les participants, en particulier les trois nouveaux membres : MM. Issaev, Ugur et Valdés.

Il note que le quorum est atteint conformément à l'Article 12 du Règlement annexé à la Convention du Mètre.

Il exprime ensuite sa sympathie à M. Ugur et à son laboratoire à la suite du récent tremblement de terre qui affecta la Turquie, et il présente ses félicitations à M. Kind, membre honoraire du CIPM, à l'occasion de son soixante-dizième anniversaire.

L'ordre du jour est adopté, et M. Kovalevsky précise que seront évoquées, à la rubrique « Questions diverses », les relations éventuelles avec le Comité sur les barrières techniques au commerce de l'Organisation mondiale du commerce, une Journée mondiale de la métrologie, et une proposition du Pakistan concernant une nouvelle échelle de température.

Le président invite ensuite le secrétaire du Comité, M. W.R. Blevin, à présenter son rapport.

2 RAPPORT DU SECRÉTAIRE ET ACTIVITÉS DU BUREAU DU COMITÉ
(octobre 1998 – septembre 1999)

Le bureau du Comité s'est réuni trois fois d'octobre 1998 à septembre 1999, deux fois au Pavillon de Breteuil et une fois à Tsukuba (Japon), à l'occasion de la conférence internationale d'IMEKO.

2.1 États membres de la Convention du Mètre

Les États membres de la Convention du Mètre sont toujours au nombre de quarante-huit. Compte tenu des retards de paiement de l'Argentine et du Chili, et d'un arrangement spécial avec le Cameroun pour un paiement échelonné de ses arriérés sur dix années, nous estimons qu'il n'y aura que sept États membres en retard de plus de trois ans sur le paiement de leur contribution en l'an 2000, alors qu'il y en avait neuf au début de l'année 1999. Les sept États en question sont le Cameroun, la République populaire démocratique de Corée, la République dominicaine, l'Indonésie, l'Iran, le Pakistan et le Venezuela. Des discussions sont en cours avec l'Indonésie, le Pakistan et le Venezuela, par l'intermédiaire de leur ambassade à Paris ou de leur laboratoire national de métrologie. À la suite des discussions qui ont eu lieu au Comité international lors de la session de 1998, il a été demandé au ministère des Affaires étrangères de France de prendre des mesures pour supprimer la République dominicaine et l'Iran de la liste des États membres. Pour le moment aucune action n'a été prise et la question est toujours à l'étude. Le ministère a répondu qu'il incombe au Comité international lui-même de décider s'il convient de supprimer des États de la liste des membres de la Convention du Mètre. Le ministère transmettra ces décisions à tous les États membres.

2.2 Composition et bureau du Comité international

Trois nouveaux membres ont été élus au Comité international depuis octobre 1998 afin de pourvoir les sièges laissés vacants par la démission de MM. Kai Siegbahn et Yuri Tarbéev en août 1998 et de Rafael Steinberg en décembre 1998. Les nouveaux membres sont Lev Issaev (Gosstandart, Moscou, Fédération de Russie), Hüseyin Ugur (UME, Gebze-Kocaeli, Turquie) et Joaquín Valdés (INTI, Buenos Aires, Argentine).

Rafael Steinberg était membre du Comité international depuis 1977 ; il a établi des liens solides entre le Comité et les pays d'Amérique du Sud pendant de nombreuses années. Bien qu'il ait pris sa retraite depuis longtemps, il reste très actif dans le domaine de la métrologie en Argentine.

Le bureau du Comité continue à rechercher des candidats susceptibles d'être membres du Comité international ; il présentera le curriculum vitae de certains d'entre eux au Comité.

Katharine Gebbie a annoncé qu'elle avait l'intention de quitter le Comité international peu après la 21^{e} Conférence générale. Son départ laissera un siège vacant au Comité et aussi un poste de vice-président.

M. Blevin rappelle que lorsqu'il avait été élu secrétaire du Comité en 1996 pour remplacer Luigi Crovini, il avait alors déclaré qu'il avait l'intention de quitter le Comité peu après la 21^{e} Conférence générale. Il confirme son intention de quitter le Comité en juin 2000.

D'ici la prochaine session du Comité international, il y aura donc au moins deux sièges vacants au Comité et le poste de secrétaire et un poste de vice-président seront à pourvoir ; le bureau fera des propositions à ce sujet. De toute manière, le Comité doit élire son bureau lors de la brève séance du Comité qui aura lieu le vendredi 15 octobre, juste après la clôture de la Conférence générale.

2.3 Prochain directeur du BIPM

Terry Quinn atteindra l'âge de 65 ans le 19 mars 2003, l'âge du départ à la retraite du personnel du BIPM. Le bureau propose au Comité de commencer dès maintenant la recherche de son successeur. Il propose de créer un comité de recherche et de distribuer à la 21^{e} Conférence générale un avis de vacance de poste, qui sera publié largement dans la presse scientifique internationale. Un projet sera soumis au Comité.

La 22^{e} Conférence générale aura lieu en octobre 2003. Pour éviter de changer de directeur quelques mois seulement avant la Conférence générale, le bureau propose que le Comité international prolonge le mandat de directeur de Terry Quinn jusqu'à la fin de 2003 au plus tard.

2.4 Vingt et unième Conférence générale des poids et mesures

Le bureau a participé étroitement à la préparation de la Conférence générale. Le document « Programme de travail et budget du Bureau international des poids et mesures pour les quatre années 2001-2004 » a été examiné et approuvé avant d'être envoyé aux Gouvernements des États membres en avril 1999. Il a été décidé de demander aux présidents des Comités consultatifs de présenter leur rapport d'activité différemment des années passées afin de rendre cette présentation plus attractive aux participants. Le bureau a étudié le projet de résolution supplémentaire sur le katal, recommandé par le CCU et par le CCQM, et a décidé de recommander au CIPM de le présenter à la Conférence générale. Le bureau a été tenu informé des discussions avec le ministère des Affaires étrangères de France au sujet du changement de lieu de la Conférence générale.

2.5 Arrangement de reconnaissance mutuelle

Au cours de l'année 1999, le bureau du Comité a suivi de près les progrès du projet d'arrangement de reconnaissance mutuelle des étalons nationaux de mesure et des certificats d'étalonnage et de mesurage émis par les laboratoires nationaux de métrologie. Les membres du Comité international ont été tenus informés des progrès en cours et le texte définitif, destiné à être soumis à la signature des directeurs le 14 octobre 1999, a été distribué aux membres du CIPM et aux directeurs de laboratoires nationaux de métrologie le 21 juillet 1999.

2.6 Systèmes de référence terrestres

Le directeur du BIPM a été contacté par le président du Bureau des longitudes (Paris) qui a demandé au BIPM de coordonner les discussions en vue de l'éventuelle adoption d'un système de référence terrestre conventionnel commun. Le Bureau des longitudes a évoqué la nécessité qu'une organisation intergouvernementale mène les discussions au cas où le système de référence en question serait recommandé pour un usage étendu. Cette question a été discutée par le bureau du Comité et il a été décidé que le CCTF serait préalablement consulté. En juin 1999, le bureau du Comité, ayant été informé des discussions tenues lors de la 14e session du CCTF, a décidé que le directeur du BIPM devrait contacter l'Union géodésique et géophysique internationale (UGGI) pour lui demander de collaborer avec le

BIPM à une étude préliminaire de la question, ce qui fut fait. Lors de la réunion de l'UGGI d'août 1999, il a été décidé d'entreprendre une étude préliminaire avant de répondre officiellement au directeur du BIPM.

2.7 Questions relatives au BIPM : nouveau bâtiment

Le permis de construire du nouveau bâtiment a finalement été délivré par les autorités françaises le 11 mai 1999 et les préparatifs relatifs à la construction sont en cours. Nous espérons commencer les travaux de démolition du bâtiment des neutrons et de construction du nouveau bâtiment au début de l'année 2000, l'achèvement des travaux étant prévu pour l'été 2001. Les changements demandés par les autorités françaises, et décrits par le Comité international lors de sa session de 1998, ont entraîné un dépassement du budget initial. Le montant original des travaux approuvé par le Comité en 1997 était estimé à 12,6 millions de francs français. Les autorités françaises ont demandé de changer l'orientation du bâtiment (pour un coût de 1 million de francs français) et de modifier la toiture et les façades (pour un coût de 1,7 million de francs français) ; la nouvelle estimation globale est maintenant de 15,3 millions de francs français. De plus, il nous a été demandé de modifier les garages et de construire un bâtiment assurant la liaison entre les deux, ce qui entraîne une dépense supplémentaire de 2,6 millions de francs français. Ces modifications diverses satisfont les autorités françaises et augmentent de manière importante l'espace disponible au BIPM. Si nous ajoutons une augmentation des coûts de construction d'environ 0,6 million de francs français depuis 1997, nous arrivons à une estimation révisée de 18,5 millions de francs français pour l'ensemble du projet. Cependant, le retard engendré par les difficultés d'obtention du permis de construire nous ont permis d'économiser suffisamment sur les budgets de 1997 et 1998 pour faire face à l'augmentation des dépenses. Nous disposons de 17,9 millions de francs français au Compte V, le compte pour les bâtiments, soit pratiquement la totalité du montant estimé actuellement.

En réponse à une demande de M. Wallard, M. Quinn confirme que l'augmentation du coût de la construction du nouveau bâtiment n'aura aucune incidence négative sur les travaux scientifiques du BIPM. L'un des objectifs de la construction de ce nouveau bâtiment est d'améliorer les locaux mis à la disposition de l'atelier.

2.8 Célébration du 125e anniversaire de la Convention du Mètre

Le bureau a discuté de la célébration du 125e anniversaire de la Convention du Mètre en l'an 2000. Il a décidé de proposer au Comité international d'organiser à l'Académie des sciences de Paris un symposium spécial au cours de la semaine où se tiendra le Comité international et d'y inviter des personnes ayant reçu le prix Nobel dans le domaine de la métrologie.

2.9 Indications financières

Le tableau ci-dessous donne la situation de l'actif du BIPM, en francs-or, au 1er janvier des années portées en tête de colonne.

	Comptes	1996	1997	1998	1999
I.	Fonds ordinaires	17 897 217,00	23 662 921,48	23 990 225,29	18 494 175,33
II.	Caisse de retraite	23 364 621,76	24 823 425,05	26 652 840,07	27 359 350,60
III.	Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique	111 382,41	113 004,08	115 883,76	114 069,27
IV.	Caisse de prêts sociaux	482 970,09	518 237,39	554 508,01	591 451,46
V.	Fonds de réserve pour les bâtiments	0,00	1 911 246,70	5 635 646,30	9 383 731,19
VI.	Metrologia	0,00	0,00	0,00	0,00
VII.	Fonds de réserve pour l'assurance maladie	1 668 467,95	1 789 192,08	1 918 336,70	1 966 053,11
	Total	**43 524 659,21**	**52 818 026,78**	**58 867 440,13**	**57 908 830,96**

M. Kovalevsky remercie M. Blevin de son rapport et ouvre la discussion.

M. Göbel demande un complément d'information sur le projet relatif aux systèmes de référence terrestres. M. Kovalevsky explique que, outre le système de référence terrestre international utilisé pour la plupart des activités scientifiques, d'autres systèmes de référence sont aussi utilisés (par exemple, le système WGS 84). Tous ces systèmes sont étroitement liés et le Bureau des longitudes français a demandé au BIPM de coordonner les discussions avec l’UGGI en vue de l’adoption éventuelle d’un système de référence terrestre unique. Il a été décidé qu’une telle décision devait être prise au niveau des gouvernements ; l’UGGI n’étant pas un organisme intergouvernemental, le BIPM pourrait y participer utilement. L’UGGI effectue maintenant une étude préliminaire de la question et nous attendons ses conclusions.

3 COMPOSITION DU COMITÉ INTERNATIONAL

M. Kovalevsky suggère que le Comité international revoie ses règles d’appartenance et invite M. Quinn à rappeler au Comité les règles actuelles. M. Quinn rappelle les règles établies lors de la 86e session du Comité international et qui ont été publiées dans le rapport de cette session, ainsi que sur le site Internet du BIPM. Il confirme que la distribution régionale actuelle des membres du Comité reflète correctement la contribution financière des États membres à la Convention du Mètre.

M. Wallard suggère qu’il serait préférable, pour assurer la continuité, que les membres nouvellement élus aient la cinquantaine, voire moins. M. VanKoughnett commente que ce sont souvent des responsables administratifs, et non des scientifiques, qui sont directeurs des laboratoires nationaux de métrologie. Ils sont en général plus âgés et restent moins longtemps à leur poste. Il serait peut-être préférable pour le Comité international d’étudier la possibilité de choisir des candidats à un niveau hiérarchique inférieur. M. Kaarls note qu’il faut bien sûr que les membres du CIPM aient suffisamment d’influence pour que le Comité puisse prendre des décisions.

M. Kaarls ajoute aussi que les Comités consultatifs jouent un rôle important dans les activités du Comité international, et comme les présidents des Comités consultatifs sont généralement choisis parmi les membres du Comité international, il faudra tenir compte du profil scientifique des candidats au Comité international au regard des postes de présidents de Comités consultatifs susceptibles d’être vacants. Il faudra ajouter de nouveaux critères officiels aux règles actuelles pour en tenir compte.

M. Quinn rappelle au Comité la procédure officielle, selon la Convention du Mètre, relative à l’élection ou la réélection de neuf de ses membres à la

Conférence générale. La liste des « candidats » comprend les membres élus provisoirement depuis la précédente Conférence générale (au nombre de huit dans le cas présent), elle est complétée, par tirage au sort parmi les autres membres, pour arriver à neuf. Le tirage au sort a eu lieu et a désigné M. Lounasmaa.

M. Kovalevsky rappelle au Comité que l'élection du bureau du Comité aura lieu le vendredi 15 octobre 1999, juste après la 21e Conférence générale.

4 RECHERCHE D'UN NOUVEAU DIRECTEUR POUR LE BIPM, AFIN DE REMPLACER T.J. QUINN LORS DE SON DÉPART À LA RETRAITE EN 2003

Il est demandé à M. Quinn de quitter la salle pendant la discussion sur la date de son départ à la retraite. Le Comité vote à l'unanimité la prolongation de son mandat de directeur jusqu'à la fin de l'année 2003, de manière à ce qu'il soit toujours directeur du BIPM pendant la préparation et au moment de la prochaine Conférence générale. M. Quinn aurait normalement dû partir à la retraite à la fin du mois de mars 2003, date à laquelle il atteindra l'âge de 65 ans.

M. Kovalevsky propose qu'un petit comité, dont M. Quinn ne ferait pas partie, soit créé pour rechercher des candidats convenables. Il propose que le bureau s'en charge, bien que l'engagement d'un nouveau directeur incombe à l'ensemble des membres du Comité international. La rédaction de l'annonce de vacance de poste est discutée et quelques changements mineurs sont suggérés ; il est décidé de distribuer cette annonce à la Conférence générale la semaine prochaine et d'en faire la plus grande publicité possible.

Le Comité exprime le souhait que le nouveau directeur reste en poste au moins pendant une période couverte par deux Conférences générales, pour assurer la continuité. La question de sa nationalité est évoquée ; M. Kovalevsky confirme que le directeur du BIPM, le président et le secrétaire du Comité international doivent être de nationalité différente. Si l'on choisissait un candidat français, M. Kovalevsky serait prêt à quitter la présidence du Comité international.

M. Wallard demande si les membres du Comité international peuvent se porter garants des candidats. M. Kovalevsky répond qu'à partir du moment où ils forment le jury de sélection, il ne convient pas qu'ils se portent garants des candidats ; ceux qui se portent garants doivent être extérieurs au Comité et indépendants.

5 VINGT ET UNIÈME CONFÉRENCE GÉNÉRALE DES POIDS ET MESURES

5.1 Dispositions générales relatives à la Conférence

M. Kovalevsky annonce que, le lieu de réunion habituel de la Conférence générale (le Centre de conférences internationales, avenue Kléber) étant fermé temporairement pour travaux, le président de l'Académie des sciences de Paris a usé de ses bons offices pour permettre à la 21^{e} Conférence générale de se réunir exceptionnellement au Collège de France.

La Conférence sera ouverte par le Professeur Guy Ourisson, président de l'Académie des sciences, mais étant pris par d'autres obligations, il ne pourra y assister que lors de la séance inaugurale, le matin du premier jour. À son départ, M. Christian Bordé (membre de l'Académie) le remplacera en qualité de président de la Conférence.

M. Kovalevsky présente ensuite le programme de la réunion. Le mardi soir, Mesdames et Messieurs les Délégués seront invités à une réception offerte par l'ambassade d'Italie. Le Groupe de travail sur la dotation se réunira le mercredi matin et les délégués seront invités à visiter les laboratoires du BIPM l'après-midi, une réception sera offerte par le BIPM en soirée. Les directeurs des laboratoires nationaux de métrologie des États membres de la Convention du Mètre se réuniront le jeudi 14 octobre. La discussion des autres points de l'ordre du jour et le vote des Résolutions auront lieu le vendredi. Le Comité international se réunira immédiatement après la clôture de la Conférence pour élire son bureau.

M. Quinn rappelle au Comité que tous les États membres sont invités à envoyer des délégués. Ces derniers doivent présenter la lettre d'accréditation de leur Gouvernement, attestant de leur droit de vote.

M. Kovalevsky informe ensuite le Comité qu'il a reçu une lettre du ministère des Affaires étrangères de France l'informant que le Comité international a autorité pour appliquer l'Article 6 (1921) du Règlement annexé à la Convention du Mètre au regard des États « déficitaires ». Les mesures en question comprennent l'exclusion de la Convention du Mètre des États débiteurs depuis plus de six ans. M. Quinn note que cela représente un changement significatif de politique de la part du Gouvernement français. Il dit que le Comité doit maintenant considérer quels sont les États débiteurs de plus de trois années dont les avantages doivent être suspendus (conformément à la Convention du Mètre), et quelle attitude adopter au cas où un délégué de ces pays se présenterait à la Conférence générale. Il mentionne aussi le cas spécial de la nouvelle Yougoslavie ; l'ancienne Yougoslavie était membre de la Convention du Mètre, mais le Gouvernement français n'a pas encore pris de décision quant à la reconnaissance officielle du nouvel État. Pour le moment, le ministère des Affaires étrangères de France a conseillé au BIPM de placer l'argent reçu de la Yougoslavie sur un compte spécial.

M. Quinn rappelle au Comité que, suite à la décision prise par le Comité l'an passé, il a contacté l'Iran et la République dominicaine ; ces deux États ne lui ayant pas répondu, il semble qu'ils devraient être exclus de la Conférence générale. Les quatre autres États débiteurs seront à nouveau contactés et toute décision relative à leur exclusion éventuelle sera prise par le Comité international l'an prochain. Le Comité décide qu'aucun des six États débiteurs ne doit être admis à assister à la réunion des directeurs, ni à signer l'arrangement de reconnaissance mutuelle. M. Blevin devra être informé si un délégué de l'un de ces États, ou de la Yougoslavie, souhaitait participer à la Conférence générale.

M. Issaev demande si les États débiteurs doivent être pris en compte pour le calcul du quorum lors de la Conférence générale. M. Kovalevsky répond par la négative ; le quorum sera calculé sur la base des deux-tiers de 42, et non de 48.

M. Moscati demande si un État exclu de la Convention peut demander à nouveau à en être membre sans avoir payé ses dettes, et M. Göbel demande si un tel État peut devenir immédiatement associé de la Conférence générale. M. Kovalevsky dit que ce point sera discuté aux questions diverses.

Enfin, M. Quinn dit que le ministère des Affaires étrangères de France est d'avis de faire une dernière tentative pour obtenir le paiement des arriérés avant d'exclure un État débiteur, en exposant clairement les conséquences d'un défaut de paiement.

5.2 Projet de résolution M sur la dotation

M. Kovalevsky rappelle au Comité international qu’il est important que la Conférence générale approuve la dotation du BIPM pour les quatre années à venir ; sinon la Conférence générale devrait être à nouveau convoquée l’année prochaine. Un seul vote contraire au projet de résolution entraîne son rejet, aussi un vote blanc initial aura-t-il lieu avant le vote définitif. Un Groupe de travail sur la dotation sera établi pour examiner ce projet, et M. Blevin présentera le texte révisé du projet de résolution M à la Conférence pour discussion.

La composition du Groupe de travail est ensuite discutée. M. Kovalevsky rappelle au Comité que le Groupe de travail comprend tous les États membres payant la contribution maximale, et au moins un représentant des membres payant la contribution minimale. Il propose que le Brésil, l’Inde et la Pologne, qui avaient participé au groupe de travail lors de la 20^{e} Conférence générale, soient cette fois remplacés par l’Argentine, Singapour et la République tchèque, et que tous les pays intéressés par la question de la dotation soient aussi invités à s’y joindre. Cette proposition est approuvée.

M. Kovalevsky demande ensuite aux membres présents autour de la table d’exprimer le point de vue de leur Gouvernement sur le projet de dotation. MM. Kovalevsky (France), Kaarls (Pays-Bas), Leschiutta (Italie), Chung Myung-Sai (Rép. de Corée), Ugur (Turquie), Valdés (Argentine), VanKoughnett (Canada), et Wallard (Royaume-Uni) ont reçu un avis favorable de leur Gouvernement.

M. Iizuka indique que le Gouvernement du Japon est disposé à accepter le projet de dotation, à moins d’une forte opposition. M. Gopal dit que le Gouvernement indien discute toujours des avantages qui pourraient en résulter, mais approuve une augmentation liée à l’inflation de l’ordre de 2 % à 3 %. M. Moscati dit que le Gouvernement brésilien reste un fervent partisan de la Convention du Mètre.

M. Gao Jie (Chine) dit que son Gouvernement n’a fait aucun commentaire.

M. Blevin (Australie) dit que son Gouvernement était en faveur d’une augmentation nulle en monnaie constante, la question étant de savoir s’il acceptera les 2 % demandés au titre de l’inflation.

M. Göbel (Allemagne) dit que son Gouvernement, ayant tout d’abord donné le feu vert, lui a maintenant demandé de rechercher un accord au Comité afin de ne pas augmenter la dotation. Puisque le Comité n’est pas parvenu à un tel accord, la délégation allemande s’abstiendra lors du vote. Mme Gebbie dit que les États-Unis adopteront une position analogue : sa délégation n'émettra pas d'avis contraire, mais s'abstiendra.

M. Issaev (Russie) mentionne qu'il s'efforce de convaincre son Gouvernement.

5.3 Présentations à la Conférence générale

M. Kovalevsky dit qu'il présentera des extraits du Rapport du président du Comité. Il rappelle aux présidents des Comités consultatifs qu'ils ont vingt minutes chacun pour présenter leur rapport, le but étant de stimuler la discussion. Les présidents des Comités consultatifs qui présentent un projet de résolution devront lire ce projet (en anglais ou en français) et en expliquer brièvement les motivations. M. Blevin, secrétaire du Comité, présentera les projets de résolution A et M, et les projets de résolution B, C et D seront lus par M. Quinn et par M. Kovalevsky.

6 ORGANISATION MONDIALE DU COMMERCE

M. Quinn dit au Comité international qu'il a rencontré à plusieurs reprises le secrétaire du Comité sur les barrières techniques au commerce de l'Organisation mondiale du commerce. L'arrangement de reconnaissance mutuelle est très important, et il pourrait être utile que le BIPM obtienne le statut d'observateur à ce comité. Il demande à M. Kaarls ses commentaires.

M. Kaarls dit qu'il a fait, au nom du BIPM, un exposé au Comité de l'Organisation mondiale du commerce en juin 1999. Ce comité est composé de représentants des Gouvernements, et le statut d'observateur est ouvert aux organisations internationales intéressées. Il propose que le BIPM demande le statut d'observateur. Le comité se réunit environ deux fois l'an ; cela donnerait au BIPM une possibilité d'exprimer son point de vue.

Le Comité approuve cette proposition.

7 ARRANGEMENT DE RECONNAISSANCE MUTUELLE

M. Quinn dit que la réunion du Comité mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM, qui s'est tenue à Charlotte, NC, en juillet 1999, a remporté un franc succès. Plusieurs modifications mineures au texte de l'arrangement de reconnaissance mutuelle ont été apportées à la lumière des discussions, y compris le remplacement du mot « accord » par celui d' « arrangement » de reconnaissance mutuelle. Le document sera soumis à signature le jeudi 14 octobre 1999 pendant la réunion des directeurs de laboratoires nationaux de métrologie des États membres. Le document original sera conservé au BIPM, et chaque directeur en conservera une copie reliée portant sa signature, celle de M. Quinn et le tampon du BIPM.

M. Quinn envisage de présenter à la réunion des directeurs, à laquelle des représentants des organisations régionales de métrologie ont été invités, un rapport sur la réunion du Comité mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM, de décrire la base de données du BIPM sur les comparaisons clés, et de discuter de l'avenir de l'arrangement.

M. Quinn dit que, pendant la période qui a précédé la signature officielle de l'arrangement de reconnaissance mutuelle, la situation a bien progressé. Plus de cent comparaisons clés ont été décidées et l'Annexe B est tenue à jour par Mme C. Thomas (coordinatrice de la base de données du BIPM sur les comparaisons clés), qui assiste à toutes les réunions des Comités consultatifs. Le Groupe de travail du CCL sur la métrologie dimensionnelle a récemment approuvé le nom de quelque quatre-vingts activités qui doivent figurer à l'Annexe C. M. Quinn dit qu'il est important que cette annexe ne demeure pas vide, et il félicite les Comités consultatifs et les organisations régionales de métrologie pour les progrès réalisés.

M. Quinn rappelle au Comité que la base de données du BIPM sur les comparaisons clés a été conçue par le NIST en collaboration avec le BIPM. Elle contient uniquement les données des comparaisons clés des Comités consultatifs et des organisations régionales de métrologie. M. Kovalevsky dit que le bureau du Comité, après considération, a proposé que le texte d'introduction à la base de données soit rédigé en anglais et en français, mais que les données figurant dans les tableaux des annexes B et C soient rédigées uniquement en anglais. Cette proposition est approuvée par le Comité pour des raisons pratiques. Il ajoute que le Bureau national de métrologie français étudie la possibilité de traduire en français une partie des informations de la base.

En ce qui concerne la liaison des résultats des comparaisons clés des Comités consultatifs à ceux des organisations régionales de métrologie, M. Wallard suggère que les directives sur les comparaisons clés du CIPM devraient « encourager les participants aux comparaisons clés du Comité international à participer aussi aux comparaisons clés des organisations régionales de métrologie ». M. Quinn note que si, pour des raisons techniques, certaines comparaisons clés des Comités consultatifs ne peuvent comprendre qu'un nombre limité de participants, pour les mêmes raisons, il pourrait être demandé à tous les participants de faire la liaison avec les comparaisons clés des organisations régionales. M. Göbel commente que cela risquerait d'entraîner une lourde charge pour certains laboratoires, mais il pense qu'on pourrait les y « encourager ». M. Kaarls recommande d'encourager les principaux laboratoires nationaux de métrologie à effectuer des comparaisons bilatérales avec des laboratoires plus petits des États associés. M. Quinn et M. Kovalevsky notent qu'il leur semble qu'il y a déjà beaucoup d'interactions entre les laboratoires de différentes tailles au sein des organisations régionales de métrologie.

Le Comité approuve l'invitation faite par M. Quinn à l'AIEA et à l'IRMM de signer l'arrangement de reconnaissance mutuelle.

M. Göbel commente qu'il est difficile d'unifier les activités dans le domaine de la quantité de matière. M. Quinn pense aussi que la métrologie en chimie est un domaine nouveau, qui demande une approche légèrement différente. M. Kaarls dit que le sujet sera discuté ultérieurement lors de la prochaine session du CCQM. Des réunions des groupes de travail du CCQM se tiendront préalablement au BIPM avant la fin de 1999.

8 GROUPE DE TRAVAIL COMMUN À L'OIML ET À LA CONVENTION DU MÈTRE

M. Kovalevsky dit que le dernier événement marquant a été la Conférence qui s'est tenue à Braunschweig en juin 1997, et qu'il n'a pas été possible d'organiser une réunion cette année. Il a discuté avec M. Faber en Inde en février 1999 et ils se sont mis d'accord pour que les bureaux du CIPM et du

CIML se réunissent à nouveau prochainement. Il sollicite des sujets de discussion.

M. Wallard et M. Iizuka suggèrent qu'une réunion pourrait être consacrée à une discussion sur l'arrangement de reconnaissance mutuelle.

M. Issaev note que l'OIML n'est pas favorable à rejoindre la Convention du Mètre mais continue à préférer un « rapprochement » avec le Comité international. Il faudra d'abord régler la question des membres et des contributions avant de reprendre des discussions sur « l'unification ».

M. Blevin commente que le Comité international et l'OIML ont tous deux accueilli favorablement la participation de l'ILAC à leurs discussions. La prochaine réunion du groupe de travail commun se tiendra au BIPM en février 2000.

9 COMITÉS CONSULTATIFS

9.1 Composition des Comités consultatifs

M. Quinn commente que l'on pouvait s'attendre à une augmentation du nombre de laboratoires nationaux de métrologie demandant un statut de membre ou d'observateur des Comités consultatifs. Il suggère que le Comité international étudie avec soin les critères d'appartenance aux Comités consultatifs et considère la manière dont il convient de traiter les demandes. Il suggère aussi de demander aux candidats des documents probants, et que les candidatures soient étudiées par le président du Comité consultatif, avec le secrétaire exécutif et le directeur du BIPM. Le Comité international décide de remettre à sa prochaine session l'étude des candidatures, lorsqu'il discutera aussi des critères pour être membre des Comités (les documents devront être diffusés préalablement).

M. Quinn craint une augmentation éventuelle du nombre des comparaisons clés. Il dit qu'il est conscient du problème, mais qu'il espère que leur nombre se stabilisera (sauf peut-être en chimie). M. Wallard commente que les comparaisons clés incitent à un examen attentif des méthodes d'analyse des incertitudes : elles ont donc l'effet désiré sans qu'il soit nécessaire d'étendre le domaine des Comités consultatifs.

9.2 Comité consultatif pour la quantité de matière

M. Kaarls, président du Comité consultatif pour la quantité de matière (CCQM), présente brièvement le rapport sur la cinquième session du CCQM, réunion fructueuse qui a eu lieu durant trois jours en février 1999. Il félicite le BIPM pour la publication rapide de son rapport. Les participants ont entendu les rapports des groupes de travail du CCQM et ont centré leurs discussions sur les comparaisons clés. La traçabilité internationale dans le domaine de l'analyse de gaz est maintenant établie, et le nombre de comparaisons clés devrait atteindre la cinquantaine. Il est important pour les activités du CCQM d'accueillir des représentants de laboratoires autres que les laboratoires nationaux de métrologie, ce qui se reflète dans la composition de ses groupes de travail.

Le Comité international approuve la demande du CCQM d'accorder à l'AIEA et à l'IFCC, auparavant observateurs, le statut de membre.

Une réunion sur la question des incertitudes de mesure aura lieu au BIPM les 1er et 2 décembre 1999, et le CCQM tiendra sa prochaine session en avril 2000.

9.3 Comité consultatif du temps et des fréquences

M. Leschiutta, président du Comité consultatif du temps et des fréquences (CCTF), présente son rapport. La réunion des représentants des laboratoires qui participent au TAI a suscité de vives discussions. Vingt-sept étalons primaires sont en cours d'étude dans quinze laboratoires et l'on devrait atteindre bientôt un niveau d'incertitude de 10^{-16} s.

M. Quinn a écrit à un certain nombre d'organisations internationales au sujet des secondes intercalaires. C'est une question très difficile et M. Leschiutta suggère que le Comité international demande l'avis d'une organisation intergouvernementale à ce sujet.

Il remercie Mme Thomas pour sa contribution aux travaux du CCTF ; il sera heureux de travailler avec Mme Arias.

Le CCTF a adopté sept recommandations, deux concernent l'exactitude des étalons de fréquence. Il est parfois difficile d'appliquer le *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure* de l'ISO aux mesures du temps et des fréquences. M. Quinn signale que cette question est étudiée par le Comité commun pour les guides en métrologie. Il ajoute que la *Circulaire T* ne donne pas actuellement les incertitudes, mais le CCTF a invité le BIPM à examiner cette question et l'étude est en cours. M. Leschiutta dit qu'un groupe de travail du CCTF a été créé à cet effet.

M. Quinn donne ensuite lecture d'une lettre sur les échelles de temps pour la navigation par satellite et les systèmes de communication électronique, qu'il a envoyée en juin 1999 à un grand nombre d'utilisateurs de satellites. Il dit que ce sujet est lié de près à la Recommandation S 6 (1999) du CCTF, et il suggère que le Comité international devrait adopter cette recommandation, qui démontre l'importance du travail du CCTF. Après un changement mineur suggéré par M. VanKoughnett (faisant référence à une recommandation précédente du Comité international au lieu d'une recommandation du CCDS) la recommandation est adoptée comme Recommandation 1 (CI-1999).

9.4 Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées

M. Iizuka, président du Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées (CCM), distribue un bref rapport sur la 7e session du CCM qui s'est tenue en mai 1999 et résume les travaux accomplis. M. Quinn ajoute que de nombreux travaux sont en cours sur une nouvelle définition du kilogramme. De tels travaux sont importants, bien qu'il soit peu probable qu'une nouvelle définition voie le jour dans un proche avenir.

9.5 Comité consultatif de photométrie et radiométrie

M. Wallard, président du Comité consultatif de photométrie et radiométrie (CCPR), dit que le CCPR a discuté en détail des résultats des comparaisons clés et qu'il a hautement confiance dans les valeurs de référence approuvées par le CCPR. De nombreuses comparaisons clés sont en cours et une réunion sur ces comparaisons devrait avoir lieu pendant la conférence NEWRAD'99 à Madrid en octobre. La CIE a demandé que le CCPR participe au prochain projet sur les incertitudes ; la collaboration avec la CIE s'avère très productive.

M. Issaev signale que les agences spatiales aimeraient que des laboratoires participent à un projet à long terme de la Russie visant à contrôler le rayonnement solaire. M. Wallard le remercie de lui rappeler ce projet intéressant et attire aussi l'attention sur une note de M. Quinn, parue dans *Nature* (28 octobre 1999, **401**, 841), demandant aux agences spatiales de mettre en œuvre un projet à long terme pour mesurer le rayonnement solaire à l'aide de technologies modernes.

M. Moscati est préoccupé par l'indépendance des mesures primaires : si un équipement d'un même fabricant est utilisé par plusieurs laboratoires, cela n'entraîne-t-il pas une corrélation ? M. Wallard rappelle des discussions antérieures, au sein du Comité international, sur la question des étalons intrinsèques et l'article sur ce sujet qu'il a rédigé avec M. Quinn. M. Quinn pense que les laboratoires nationaux de métrologie doivent effectuer des étalonnages primaires. Un lien entre la radiométrie cryogénique et le SI est établi au moyen de la constante de Stefan-Boltzmann, mais il est important de répéter de telles expériences pour vérifier que l'équipement n'a pas été modifié au cours des années.

9.6 Comité consultatif des rayonnements ionisants

M. Moscati, président du Comité consultatif des rayonnements ionisants (CCRI), dit que le CCRI s'est réuni une demi-journée après les réunions de ses Sections I, II et III. MM. Hohlfeld (PTB) et Simpson (NAC) resteront présidents des Sections I et II, respectivement, mais la Section III changera de président d'ici la prochaine réunion : M. Lewis (NPL) s'en va et sera probablement remplacé par M. Klein (PTB) (ou par M. Guillan, NIST).

Le CCRI a discuté de nombreuses questions, qui sont résumées dans le rapport du président à la Conférence générale. Il dit que la plupart des comparaisons clé choisies seront répétées tous les dix ans, et note que le projet d'arrangement de reconnaissance mutuelle incite à l'unification des méthodes d'analyse des résultats. Il dit aussi que l'espace disponible pour la section des rayonnements ionisants du BIPM a été réduit pour offrir des locaux à la nouvelle section de chimie, ce qui signifie que certains détecteurs devront être rapprochés des sources.

M. Kaarls demande ce qu'il en est du transfert des valeurs de référence dans le domaine des rayonnements ionisants, notant que toutes les organisations régionales de métrologie ne sont pas représentées au CCRI. M. Moscati dit que les isotopes les plus importants sont largement disponibles, mais certains isotopes plus spécialisés seront aussi mis à la disposition des organisations régionales de métrologie intéressées. Seulement 20 % de la population mondiale est directement couverte par les comparaisons clés du CCRI, et il reconnaît et accueille favorablement le rôle important joué par l'AIEA dans le transfert des valeurs de référence au reste du monde.

9.7 Comité consultatif de l’acoustique, des ultrasons et des vibrations

M. Wallard, président du Comité consultatif de l’acoustique, des ultrasons et des vibrations (CCAUV), dit que la première session du CCAUV a été fructueuse. Cinq comparaisons clés ont été identifiées : on établit maintenant les protocoles et les listes de participants. Bien que le BIPM n’ait pas d’activité dans ce domaine, Mme Allisy-Roberts est une secrétaire exécutive très efficace. La prochaine session du CCAUV devrait avoir lieu en 2001 et le Comité international doit établir la liste des membres du CCAUV lors de la présente session.

M. Göbel demande si les laboratoires militaires conservent leurs propres étalons. M. Wallard dit que, dans bien des cas, les laboratoires militaires conservent l’étalon national, et il note que parfois ces étalons ne sont pas traçables au SI mais sont uniquement en accord avec les étalons du pays en question. M. Kaarls commente que le CCAUV pourrait se trouver dans une situation analogue à celle du CCQM, c’est-à-dire que plusieurs laboratoires du même pays désirent participer aux activités du Comité consultatif. Il ajoute que le CCQM gère cette situation dans le cadre des activités de ses groupes de travail. M. Quinn note qu’un membre d’un Comité consultatif peut aussi déléguer un autre laboratoire pour le remplacer. Le Comité international est en relation avec le laboratoire national de métrologie, et les relations internes doivent être gérées par chaque pays.

Après discussion, la liste des membres du CCAUV est établie.

9.8 Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés

M. Göbel, président du Comité consultatif d’électricité et magnétisme (CCEM), dit que le Groupe de travail du CCEM a recommandé un certain nombre de comparaisons clés du CCEM et du BIPM ; quarante d’entre elles sont en cours ou terminées. Huit comparaisons clés du BIPM sont des comparaisons permanentes. Le groupe de travail a aussi discuté du projet B du rapport sur les résultats de la comparaison de condensateurs de 10 pF et a suggéré quelques changements, conformément aux directives sur les comparaisons clés.

Le président du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés sera désigné lors de la prochaine réunion de ce groupe qui doit se tenir à Sydney pendant la CPEM. Les spécialistes dans le domaine des mesures magnétiques ont envisagé de se réunir pour discuter des comparaisons clés dans ce domaine.

9.9 Groupe de travail du CCL sur la métrologie dimensionnelle

M. Chung, président du Comité consultatif des longueurs (CCL), présente un bref rapport sur la quatrième réunion du Groupe de travail du CCL sur la métrologie dimensionnelle, qui s'est tenue les 21 et 22 septembre 1999 au BIPM. Les discussions étaient centrées sur les comparaisons clés et les données à insérer dans l'Annexe C de l'arrangement de reconnaissance mutuelle ; un document sur la classification des services dans le domaine des longueurs sera rédigé, il donnera des directives pour l'harmonisation des listes figurant à l'Annexe C.

M. Issaev demande si le groupe de travail a discuté de la nanométrologie. M. Quinn répond qu'il existe un groupe de discussion sur la nanométrologie au sein du Groupe de travail du CCL sur la métrologie dimensionnelle, mais comme le CCL a déjà mis en œuvre un certain nombre de comparaisons clés, il est réticent à en ajouter d'autres dans le domaine de la nanométrologie.

9.10 Groupe de travail *ad hoc* sur la viscosité

M. Kaarls dit qu'un certain nombre d'experts dans le domaine de la viscosité se sont réunis au Pavillon de Breteuil en septembre 1999. Plusieurs exposés intéressants y ont été présentés et la discussion a porté principalement sur les fluides non newtoniens et les méthodes primaires de mesure. Il a été décidé qu'un groupe de travail, présidé par M. H. Øye de l'université des sciences et techniques de Norvège, devrait être créé pour *a*) étudier la possibilité de mettre en œuvre des méthodes primaires de mesure de la viscosité au niveau de 1000 mPa · s et *b*) organiser un atelier sur les incertitudes des mesures de viscosité, et en particulier de la viscosité de l'eau. L'atelier se réunira en novembre 1999 et le groupe de travail en mai 2000.

9.11 Groupe de travail sur le débit de fluides

M. Göbel dit que les participants à la réunion sur le débit de fluides, qui a eu lieu à Denver dans le cadre d'une conférence internationale, étaient nombreux. La réunion a démontré le haut niveau de priorité donné par de nombreux laboratoires nationaux de métrologie à ce domaine d'activités, qui intéresse aussi beaucoup l'OIML. M. Kaarls commente qu'il est important que le groupe de travail se concentre sur la traçabilité des mesures de fluides, plutôt que sur les étalonnages de routine de compteurs de volume de gaz par exemple. M. Iizuka pense aussi que la mesure du débit de fluides est une question fondamentale et indique qu'il accueille chaleureusement son entrée au sein du CCM. Le Comité international approuve la création d'un Groupe de travail sur le débit de fluides sous les auspices du CCM, et M. Göbel mentionne que M. G. Mattingly (NIST) a accepté d'assurer la présidence de ce groupe.

9.12 Groupe de travail *ad hoc* sur la dureté

Le Comité international décide que le Groupe de travail *ad hoc* sur la dureté devient un groupe de travail permanent du CCM.

9.13 Présidence du CCT et du CCAUV

M. Kovalevsky propose que M. Ugur remplace Mme Gebbie comme président du CCT lorsqu'elle quittera le Comité international et que M. Wallard continue à assurer la présidence du CCAUV. Le Comité international approuve sa proposition. Le Comité international élira un président du CCAUV lors de sa prochaine session, en octobre 2000.

9.14 Réunions à venir des Comités consultatifs

Les réunions des Comités consultatifs sont fixées aux dates suivantes :

CCAUV	2001
CCEM	septembre 2000
CCL	début 2001
CCM	mai 2002
CCPR	24-26 avril 2001
CCQM	6-7 avril 2000
CCRI	mai-juin 2001
CCT	12-14 avril 2000
CCTF	début 2001
CCU	aucune date n'est fixée

10 TRAVAUX DU BIPM ; RAPPORT DU DIRECTEUR

10.1 Travaux du BIPM

M. Quinn présente brièvement le rapport du directeur. M. Göbel demande au directeur de dire quelques mots sur les nouvelles activités du BIPM dans le domaine de la chimie. M. Quinn répond que le BIPM se prépare à commencer des activités sur l'analyse de gaz, comme convenu. Les conclusions du Groupe de travail sur le programme de travail en chimie ont été très utiles. Un espace, en cours d'aménagement dans le bâtiment des rayonnements ionisants, occupera la moitié du sous-sol. Un avis de recrutement pour le poste de responsable de la section de chimie a été diffusé, les candidatures devant être envoyées avant le 15 décembre 1999. Les trois autres membres de la section seront recrutés par le nouveau responsable de la section et par M. Quinn. On espère que le projet pourra débuter en l'an 2000. M. Kaarls remercie MM. Quinn et Davis pour leur participation à ce projet.

M. Valdés félicite la section d'électricité du BIPM pour ses travaux, et en particulier M. Witt pour son étude sur la détection des différents types de bruit dans les séries de mesures.

M. Moscati félicite à son tour M. Quinn pour la mise en œuvre de l'arrangement de reconnaissance mutuelle et pour le travail effectué au BIPM. Il note que la CEI a publié une nouvelle norme sur les multiples de deux et demande si le récent ajustement des constantes de CODATA a eu une répercussion sur le SI. M. Quinn répond que la mise à jour de CODATA affecte les incertitudes des réalisations pratiques de l'ampère et de la candela ; les incertitudes qui y sont associées devront être mises à jour.

M. Gopal le félicite à son tour et s'enquiert des progrès de la mesure de *G*. M. Quinn répond que M. Speake et lui-même ont organisé une conférence à Londres en décembre 1998 à ce sujet, à laquelle ont assisté tous les principaux intervenants du domaine. Depuis, des progrès considérables ont été faits au BIPM sur cette expérience, qui a été mise en œuvre de manière excellente par M. Richman pendant qu'il était chercheur associé au BIPM. Le moment de torsion peut être mesuré à environ 5×10^{-5} près et M. Quinn espère bientôt que l'incertitude associée à la valeur de G sera inférieure à 1×10^{-4}.

M. Gao Jie dit qu'il a été particulièrement impressionné par les activités de la section du temps du BIPM, et cite les travaux de M. Petit sur les pulsars et sur les liaisons utiles établies avec les radio-observatoires.

Considérant le nombre restreint de personnes employées au BIPM, M. VanKoughnett demande s'il ne risque pas d'y avoir un problème au moment où une personne clé viendrait à quitter le Bureau. M. Quinn dit qu'il y a eu beaucoup de départs à la retraite l'an passé. Les chefs de section actuels sont tous suffisamment jeunes pour rester en poste encore quelques années, et en général il n'y a pas de problème à retenir le personnel, car le Bureau lui fournit de bonnes conditions de travail et, de plus, le personnel est très motivé et sait qu'il peut compter sur le soutien du Comité international. Il se dit aussi préoccupé par l'imposition à venir d'un « système de qualité », disant qu'il ne veut pas augmenter la charge de travail administratif imposée aux chefs de section. Le personnel du BIPM travaille dur et a beaucoup à faire ; il est aussi important d'avoir de bons contacts avec les laboratoires extérieurs.

M. Blevin dit que, depuis qu'il est venu au BIPM pour la première fois en 1959, la différence la plus notable concerne l'esprit du Bureau : autrefois le BIPM exerçait une activité de service, il est maintenant devenu un laboratoire de recherche. Il est persuadé que la force du BIPM réside dans son activité de recherche.

M. Kaarls suggère que, compte tenu des nombreux progrès qui ont eu lieu depuis la publication du rapport intitulé *Besoins nationaux et internationaux dans le domaine de la métrologie*, il faudra peut-être entreprendre une autre étude sur les besoins futurs. M. Wallard appuie la suggestion de M. Kaarls et dit qu'il serait intéressant d'établir un plan sur sept à quinze ans ; ce serait une garantie pour les Gouvernements des États membres. M. Kovalevsky accepte que le bureau du Comité étudie cette question.

M. Lounasmaa dit qu'il est important que le personnel du BIPM publie ses travaux dans des journaux à grande diffusion, et qu'il faut encourager et poursuivre les efforts de publication. M. Quinn dit que, en réponse à une remarque faite l'an passé au Comité international, le personnel du BIPM s'est efforcé de publier ses travaux dans des journaux à grande diffusion, puis M. Quinn distribue un certain nombre d'articles de recension.

M. Kovalevsky félicite ensuite M. Quinn et tout le personnel du BIPM, soulignant combien leur travail est particulièrement remarquable, compte tenu du nombre restreint de scientifiques travaillant au BIPM. Au nom du Comité international, il exprime sa gratitude au directeur du BIPM pour avoir su animer le travail de laboratoire de manière aussi efficace, pratique et utile. M. Quinn remercie le Comité international de ses commentaires et dit qu'il en fera part au personnel.

10.2 Dépôt des prototypes métriques

La visite du dépôt des prototypes métriques a eu lieu le 13 octobre 1999. Du fait de la 21e Conférence générale des poids et mesures, le compte rendu rédigé à l'issue de cette visite sera publié dans les *Comptes rendus de la vingt et unième Conférence générale*.

11 QUESTIONS ADMINISTRATIVES ET FINANCIÈRES

Le président accueille Mme Perent, administrateur du BIPM, qui présente au Comité le *Rapport annuel aux Gouvernements des hautes parties contractantes sur la situation administrative et financière du Bureau international des poids et mesures en 1998*, ainsi que le rapport de l'expert comptable pour 1998.

Ces deux rapports sont approuvés par le Comité et quitus est donné au directeur et à l'administrateur du BIPM pour l'exercice 1998.

11.1 État d'avancement du projet de construction

M. Quinn rappelle que le permis de construire du Pavillon du Mail a été accordé en mai 1999 et que le projet final a été mis au point, de manière à pouvoir établir des contrats avec les entreprises de construction. La démolition du bâtiment des neutrons et la construction du nouveau bâtiment devraient commencer au début de l'année 2000 et nous espérons que le bâtiment pourra être inauguré pour la sesssion du Comité international en 2001.

11.2 État d'avancement du budget en 1999

L'état d'avancement du budget pour l'exercice 1999 est présenté.

M. Quinn remarque que l'Italie n'a pas payé ses contributions de 1998 et de 1999, et le BIPM n'a reçu que 92 % des contributions dues.

M. Wallard demande ce que recouvre la rubrique « Recettes diverses ». M. Quinn explique qu'elle recouvre plusieurs choses : les étalons du kilogramme vendus aux États membres, le pourcentage sur les bénéfices provenant de la fabrication des lasers à 633 nm par une société américaine etc. M. Wallard demande comment le prix des étalons du kilogramme est déterminé ; M. Quinn répond que le platine est toujours vendu à prix coûtant, selon les règles du Comité international. Une petite somme additionnelle est ajoutée pour les accessoires tels que l'étui de transport, mais la fabrication et l'étalonnage ne sont pas facturés.

11.3 Projet de budget pour l'an 2000

M. Quinn explique que l'augmentation demandée dans le projet de budget pour l'an 2000 à la rubrique « Dépenses de personnel » correspond au salaire de Mme Arias et à celui de quatre personnes pour la nouvelle section de chimie. Les dépenses de laboratoire comprennent l'achat d'une nouvelle source de ^{60}Co et de la tête destinée à la recevoir, ainsi que les frais de fonctionnement et d'investissement de sept sections scientifiques au lieu de six.

M. Göbel demande quel est le budget prévisionnel de la nouvelle section de chimie. M. Quinn dit que les frais d'installation correspondent à ceux qui avaient été prévus l'an passé, auxquel viennent s'ajouter des frais de fonctionnement et d'investissement égaux à un septième du budget total des laboratoires.

M. Blevin demande s'il est possible de recevoir du matériel en cadeau de sociétés industrielles pour la section de chimie. M. Kaarls répond que c'est envisageable, et que l'on en discutera lorsque le nouveau responsable de la chimie sera en poste.

M. Iizuka suggère que les dépenses liées à la Conférence générale soient mentionnées séparément des dépenses liées aux voyages.

Le projet de budget pour l'an 2000 est approuvé.

Budget pour 2000

Recettes		
		francs-or
Recettes budgétaires :		
1. Contributions des États		30 976 000
2. Intérêts des fonds		1 300 000
3. Recettes diverses		400 000
Total		**32 676 000**

Dépenses		
A. *Dépenses de personnel* :		
1. Traitements	12 871 000	
2. Allocations familiales et sociales	2 751 000	
3. Assurance maladie	1 306 000	20 595 000
4. Assurance accidents	50 000	
5. Caisse de retraite	3 617 000	
B. *Dépenses de fonctionnement* :		
1. Laboratoires et ateliers	1 260 000	
2. Chauffage, eau, énergie électrique	459 000	
3. Assurances	84 000	
4. Impressions et publications	438 000	
5. Frais de bureau	559 000	4 914 000
6. Voyages et transports de matériel	1 091 000	
7. Entretien courant	517 000	
8. Bibliothèque	430 000	
9. Bureau du Comité	76 000	
C. *Dépenses d'investissement* :		5 186 000
D. *Bâtiments* (entretien et rénovation) :		1 115 000
E. *Frais divers et imprévus* :		866 000
Total		**32 676 000**

11.4 Prévisions jusqu'en 2010

Mme Perent décrit une étude qu'elle a menée en se fondant sur un budget constant en monnaie réelle. Elle dit que les fonds ordinaires peuvent être maintenus à leur niveau actuel, correspondant à environ 50 % du budget annuel, jusqu'en 2004, mais après, si l'on n'augmente pas le budget, il faudra diminuer les fonds ordinaires pour faire face aux dépenses. En 2008 ils devraient représenter environ 30 % du budget annuel.

11.5 Promotion du personnel du BIPM

M. Kovalevsky rappelle aux membres du Comité international qu'ils doivent donner leur accord pour toutes les nominations du personnel du BIPM au grade de *physicien principal* ou à un grade supérieur. M. Quinn demande au Comité d'approuver l'engagement de Mme E.F. Arias, la nouvelle responsable de la section du temps, au grade de *physicien principal*, et propose de promouvoir aussi au grade de *physicien principal* MM. R. Felder, G. Petit et L.F. Vitouchkine.

Les quatre propositions sont approuvées, et les trois promotions prennent effet au 1er janvier 2000.

12 JOURNÉE MONDIALE DE LA MÉTROLOGIE ET CÉLÉBRATION DU 125e ANNIVERSAIRE DE LA CONVENTION DU MÈTRE EN L'AN 2000

MM. Iizuka et Issaev proposent d'enregistrer la journée du 20 mai auprès de l'UNESCO comme Journée mondiale de la métrologie. M. Quinn dit qu'une telle journée serait l'occasion d'organiser des activités au niveau national, même si le BIPM n'y participe pas directement. M. Kovalevsky accepte de présenter cette proposition à la Conférence générale.

M. Kovalevsky présente ensuite une idée, discutée au bureau du Comité, de célébrer le 125e anniversaire de la Convention du Mètre en organisant un symposium à l'Académie des sciences de Paris pendant une journée. Des exposés seraient présentés par des personnes ayant reçu le prix Nobel pour leur contribution aux progrès de la métrologie ; MM. Quinn et Kovalevsky leur adresseront des invitations. Pour limiter les déplacements, ce symposium pourrait avoir lieu la même semaine que les réunions du Comité international et des directeurs des laboratoires nationaux de métrologie des États membres de la Convention du Mètre.

M. Kovalevsky propose l'ordre du jour suivant :

- réunion du bureau du Comité : lundi 16 octobre, le matin
- réception à l'Académie des sciences : lundi 16 octobre, l'après-midi
- symposium : mardi 17 octobre
- réunion des directeurs : mercredi 18 octobre, le matin
- visite du BIPM : mercredi 18 octobre, l'après-midi
- session du Comité international : jeudi 19 et vendredi 20 octobre.

Le Comité approuve cette proposition, mais certains membres estiment que deux journées ne suffiront pas pour la réunion du Comité international, et ils suggèrent que la réunion se poursuivre le samedi matin si nécessaire. M. Kovalevsky dit que le bureau du Comité étudiera cette question, et demande aux membres du Comité de réserver provisoirement la journée du samedi 21 octobre au Comité.

M. Kaarls demande si le personnel scientifique du BIPM présentera ses travaux lors de la session du Comité international en l'an 2000. M. Moscati suggère que le personnel pourrait aussi présenter ses travaux aux directeurs, mais M. Wallard dit qu'il n'est pas commode de combiner les deux types de présentation : le public étant différent, la présentation devrait l'être aussi. M. Kovalevsky dit que le bureau étudiera cette suggestion.

M. Leschiutta mentionne ensuite trois événements qui auront lieu en Italie à la fin de l'an 2000 pour célébrer le 125e anniversaire de la Convention. Ce seront respectivement une étude sur l'histoire de la métrologie, une journée sur le BIPM et la Convention du Mètre vus d'Italie, et une exposition sur les progrès des laboratoires italiens de métrologie.

13 QUESTIONS DIVERSES

M. Kovalevsky dit que le Comité international a reçu un courrier du Pakistan proposant une nouvelle échelle de température. M. Quinn dit qu'il est peu probable que le CCT désire modifier la mise en pratique de l'EIT-90. Le Comité international pense aussi qu'il n'est pas nécessaire de demander l'avis du CCT à ce sujet et demande à M. Quinn de répondre à M. Kazi.

M. Quinn annonce aussi qu'il a obtenu le dépôt légal pour les deux logos du BIPM auprès de l'Organisation mondiale de la propriété intellectuelle.

M. Wallard annonce que l'on peut consulter sur le site Internet du NPL les *Proceedings from the third International symposium on humidity and moisture, April 1998*, les annonces d'un International workshop on neutron field spectrometry et d'une réunion des Radiotherapy standards users.

M. Issaev dit que la 11e Conférence internationale de métrologie légale, organisée par l'OIML, se tiendra à Londres (Royaume-Uni), du 9 au 13 octobre 2000. Les membres du Comité international seront invités à y assister.

M. Blevin dit que le bureau du Comité se réunira juste après son élection, lors de la dernière séance du Comité international, qui aura lieu le vendredi 15 octobre après la clôture de la Conférence générale.

14 ÉLECTION DU BUREAU DU COMITÉ

M. Quinn rappelle aux membres que le bureau du Comité est élu à bulletin secret au cours de la brève séance qui suit la Conférence générale.

M. Kovalevsky quitte la salle, cédant la présidence à M. Blevin, qui appelle au vote pour le poste de président du Comité international. M. Iizuka nomme M. Kovalevsky, qui est ré-élu à l'unanimité.

M. Kovalevsky regagne la salle et appelle au vote pour élire les vice-présidents. Mme Gebbie ayant présenté sa démission, M. Kovalevsky la remercie pour son soutien sans faille et sa collaboration active au Comité international. M. Quinn la remercie à son tour, disant que Mme Gebbie l'a beaucoup aidé, en particulier ces deux dernières années. M. Kovalevsky demande ensuite à MM. Iizuka et VanKoughnett de quitter la salle. Il dit qu'il est heureux que M. Iizuka ait accepté de rester vice-président du Comité : sa présence au bureau du Comité aidera à assurer la continuité et à minimiser les changements. Il dit, qu'après avoir consulté de nombreux membres, le bureau a décidé de proposer que M. VanKoughnett remplace Mme Gebbie au poste de vice-président. MM. Iizuka et VanKoughnett sont élus à l'unanimité, par vote à bulletin secret, vice-présidents du Comité international.

M. Kovalevsky annonce ensuite l'élection au poste de secrétaire du Comité. Comme M. Blevin quittera le Comité au cours de l'an 2000, il faut aussi élire un secrétaire désigné pour lui succéder. M. Kovalevsky demande à M. Blevin et à M. Kaarls de quitter la salle ; ils sont élus à l'unanimité secrétaire et secrétaire désigné du Comité, respectivement. À leur retour, M. Kovalevsky remercie M. Blevin pour ses nombreuses contributions aux travaux du Comité, et en particulier pour le rapport du CIPM sur les besoins à long terme dans le domaine de la métrologie. Il est heureux que M. Blevin accepte de continuer à assurer le secrétariat du Comité pendant quelques mois encore. M. Quinn le remercie à son tour, disant qu'il a sollicité l'avis de M. Blevin à maintes occasions.

M. Blevin dit qu'il est heureux de rester au Comité quelques mois de plus, pour aider à assurer la continuité après la Conférence générale et pour assurer un recouvrement avec le futur secrétaire lors des réunions du bureau du Comité. Il a tout d'abord participé aux travaux du Comité consultatif de photométrie (CCP, devenu le CCPR) il y a quarante ans, et fut ensuite membre du Comité international pendant dix-huit ans et membre du bureau pendant huit ans. Il a beaucoup apprécié de pouvoir contribuer à l'œuvre commune dans toutes ces fonctions, et espère avoir le plaisir d'accueillir le bureau du Comité lors de sa réunion à Sydney en mai 2000, lors de la CPEM.

M. Kovalevsky déclare la session close en félicitant les membres élus au bureau et en remerciant tous les membres du Comité pour leur participation active à cette double réunion. Il rappelle au Comité que, parmi les nombreuses tâches qui l'attendent l'an prochain, l'une des plus importantes sera le choix d'un nouveau directeur pour le BIPM.

15 DATE DE LA PROCHAINE SESSION DU COMITÉ INTERNATIONAL

La 89^{e} session du Comité international se tiendra le jeudi 19 et le vendredi 20 octobre 2000, et éventuellement le samedi 21 au matin. Cette session sera coordonnée avec les célébrations pour la commémoration du 125^{e} anniversaire de la signature de la Convention du Mètre.

RECOMMANDATION ADOPTÉE PAR LE COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES À SA 88e SESSION

Recommandation 1 (CI-1999) : Futurs systèmes satellitaires de navigation à couverture globale

Le Comité international des poids et mesures,

considérant

- que le Comité international a déjà recommandé que « les temps de référence (modulo 1 seconde) des systèmes satellitaires de navigation à couverture globale soient synchronisés aussi étroitement que possible avec l'UTC » et que le repère de référence de ces systèmes soit conforme à l'ITRF, Recommandation 1 (CI-1996),
- que les systèmes GPS et GLONASS suivent déjà ces instructions,
- que ces systèmes sont maintenant largement utilisés pour les comparaisons de temps et de fréquences,

recommande

- que tous les systèmes satellitaires de navigation à couverture globale soient conçus de telle façon qu'il soit possible d'utiliser leurs signaux pour les comparaisons de temps et de fréquences,
- que ces systèmes diffusent en plus de leur temps spécifique (ST) :
  1. la différence entre ST et une réalisation en temps réel de l'UTC et du TAI,
  2. une prévision des différences de temps entre ST, TAI et UTC,
- que les fabricants étudient des récepteurs et des systèmes de traitement spécifiquement conçus pour servir aux comparaisons de temps et de fréquences.

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

(octobre 1998 – septembre 1999)

1 INTRODUCTION GÉNÉRALE AUX TRAVAUX SCIENTIFIQUES DU BUREAU INTERNATIONAL

Les publications sont une des composantes essentielles des activités scientifiques du BIPM ; elles concernent les résultats des mesures, des idées nouvelles ou les progrès relatifs aux instruments. Ces publications s'effectuent dans des journaux scientifiques soumis à un comité de lecture, des comptes rendus de conférences et des rapports BIPM. De plus, le BIPM publie des rapports sur les réunions du Comité international, de ses Comités consultatifs, et les comptes rendus de la Conférence générale. Afin d'étendre largement ce service à la communauté des métrologistes, le BIPM publie aussi la revue *Metrologia*, qui constitue un moyen de diffusion important des travaux essentiels dans le domaine de la métrologie.

Les activités du BIPM sont aussi portées à l'attention des membres du personnel scientifique des laboratoires nationaux de métrologie par le biais de visites du personnel scientifique des laboratoires nationaux au BIPM et du personnel du BIPM dans les laboratoires nationaux, un mécanisme bénéfique à tous. La plupart de ces visites sont de courte durée, mais de temps à autre des membres du personnel du BIPM effectuent des séjours de durée prolongée pouvant atteindre un an dans les laboratoires nationaux, et le BIPM accueille des membres des laboratoires nationaux de métrologie pour des stages d'une durée similaire. Pendant les réunions des Comités consultatifs (il y en a eu six cette année), le BIPM organise des visites de ses laboratoires si l'emploi du temps le permet. Tout cela est nécessaire, d'une part pour fournir aux laboratoires nationaux les résultats des travaux scientifiques du BIPM, et d'autre part pour maintenir un niveau scientifique suffisamment élevé sans lequel le BIPM ne pourrait pas remplir le rôle qui lui est imparti par les Conférences générales successives.

J'attire donc votre attention sur les informations détaillées concernant les rubriques publications, visites et stagiaires figurant dans ce rapport. Les publications extérieures comprennent, notamment, les articles publiés dans des revues à comité de lecture, au nombre de vingt-six cette année, et dans les comptes rendus de conférence (sans comité de lecture), au nombre de douze. Il faut ajouter dix-huit rapports BIPM, dont la plupart sont de brefs comptes rendus de comparaisons bilatérales avec des laboratoires nationaux de métrologie. Une centaine de visites de membres du personnel du BIPM et une trentaine de visites du directeur du BIPM sont mentionnées, certaines dans le cadre de conférences mais la plupart pour des réunions de groupes de travail des Comités consultatifs et de nombreux autres comités extérieurs au Bureau où le BIPM est représenté. Une centaine de personnes ont visité les laboratoires du BIPM, dont douze stagiaires et étudiants. Cette année, nous avons constaté une augmentation importante du nombre des délégués et des observateurs présents aux Comités consultatifs. Lors de la plupart des réunions, on comptait environ quarante-cinq participants, alors que dans le passé ce nombre excédait rarement la trentaine. En comptant les quatre-vingt-cinq délégués des laboratoires nationaux de métrologie présents à la réunion sur les comparaisons clés en février 1999, environ cinq cents personnes au total ont participé à des réunions au BIPM depuis octobre 1998.

Le BIPM a publié cette année les rapports de cinq Comités consultatifs ainsi que celui du Comité international de 1998, ce qui représente au total huit cents pages environ. Ces rapports sont bilingues français-anglais. Nous prenons grand soin de nous assurer que le texte anglais correspond de près au texte français, ce qui prend du temps et explique en partie les délais de publication de ces rapports. *Metrologia* est maintenant dans sa trente-cinquième année et un événement remarquable fut la publication de son millième article en 1999. Nous avons aussi publié cette année les comptes rendus de la conférence NEWRAD qui s'est tenue à Tucson (États-Unis) en octobre 1997. Ce volume comporte environ cinq cents pages, ce qui représente une charge éditoriale très lourde, à la limite de nos possibilités. C'est toutefois une excellente source d'informations récentes sur un vaste domaine de sujets relatifs à la radiométrie ; aussi la publication régulière de la série de comptes rendus des conférences NEWRAD dans *Metrologia* est-elle très appréciée des spécialistes de la radiométrie.

Enfin, en ce qui concerne le travail en général, figure pour la première fois un bref rapport sur nos activités liées à la base de données du BIPM sur les comparaisons clés. La base de données du BIPM, qui contiendra les résultats des comparaisons clés et les listes des aptitudes des laboratoires nationaux de métrologie en matière d'étalonnage et de mesurage, constitue une part importante de l'arrangement de reconnaissance mutuelle des étalons de mesure et des certificats d'étalonnage et de mesurage émis par les laboratoires nationaux de métrologie (en préparation). Cette base de données a été créée à l'initiative du NIST, et nous travaillons en commun avec le NIST pour produire un outil facile à utiliser et accessible à tous. J'espère offrir un accès préliminaire à cette base de données sur le serveur Internet du BIPM le 1er novembre 1999. Une liste complète des comparaisons clés et des comparaisons supplémentaires des Comités consultatifs y figure déjà.

Je vais maintenant mettre l'accent sur certaines activités des laboratoires du BIPM.

Dans la section des longueurs, les comparaisons internationales ont concerné principalement les lasers fonctionnant aux longueurs d'onde recommandées, $\lambda \approx 3{,}39\ \mu m$ et $\lambda \approx 633\ nm$. Le laser du BIPM à $\lambda \approx 3{,}39\ \mu m$, construit par l'Institut Lebedev (Féd. de Russie), a été comparé au JILA (États-Unis) à un autre laser de l'Institut Lebedev. Le BIPM a participé, avec ce laser, à une série de comparaisons visant à étalonner de manière absolue la fréquence de systèmes transportables à (He-Ne)/CH_4, principalement des lasers fabriqués à l'Institut Lebedev, et à comparer les chaînes de fréquence de la PTB (Allemagne) et du BNM-LPTF (France). Les premières comparaisons de diodes laser à cavité étendue asservies sur l'iode à $\lambda \approx 633\ nm$, annoncées l'année précédente, ont été effectuées en janvier 1999 ; huit laboratoires nationaux y ont pris part. La stabilité de la fréquence de ces diodes laser, quand elles sont asservies sur des transitions très intenses de l'iode, est meilleure que celle obtenue habituellement avec les lasers à He-Ne. La stabilité de fréquence mesurée par battements entre nos deux lasers à YAG du commerce dans l'infrarouge, et exprimée au moyen de l'écart-type d'Allan relatif, est de 2×10^{-13} pour une durée moyenne de 100 ms. Cependant, les instabilités aux basses fréquences de ces lasers sont inquiétantes. Le travail dans le domaine de l'infrarouge a été suspendu puisque nos deux lasers à YAG présentent des défauts auxquels les fabricants ne sont pas encore en mesure de remédier. Dans le domaine de la nanométrologie, une comparaison internationale préliminaire d'étalons à traits très serrés a commencé entre l'OFMET (Suisse), la PTB et le BIPM. Suite à la cessation des activités au BIPM dans le domaine des étalons à traits et à bouts, nous avons fait don, avec plaisir, des deux principaux instruments que nous avions utilisés pendant de nombreuses années, c'est-à-dire le comparateur photoélectrique et interférentiel de la SIP et l'interféromètre TSUGAMI, respectivement au CENAM (Mexique) et au NIS (Égypte). Les deux instruments ont été expédiés à ces laboratoires. Nous avons consacré beaucoup de temps à la préparation de la publication concernant la mise en pratique de la définition du mètre, révisée en 1997. Ce travail a été effectué en collaboration avec le tout nouveau groupe de travail du CCL sur la mise en pratique. Le texte définitif et ses annexes sont publiés dans le rapport du CCDM (1997) et dans *Metrologia* (1999, **36**, 211-244).

Dans la section des masses, le projet B du rapport sur la comparaison clé d'étalons de 1 kg en acier inoxydable organisée par le BIPM a été approuvé par les participants et un résumé a été présenté au CCM, à sa session de mai 1999. Le CCM a demandé de commencer les préparatifs en vue de la répétition de cette comparaison dont le laboratoire pilote sera à nouveau le BIPM. Une nouvelle balance de portée 1 kg a été achetée pour conserver et disséminer l’unité de masse. Notre balance prototype, FB2, continue à bien fonctionner et a été utilisée pour des études sur la masse volumique de l’air et sur la stabilité d’objets en silicium. Les mesures de la constante newtonienne *G* se sont régulièrement améliorées. Pour répondre à l’accroissement de la charge de travail relative aux services de base dans le domaine des masses et de la masse volumique, la section des masses a été renforcée par le transfert, en avril 1999, de M. L.F. Vitouchkine, précédemment à la section des longueurs, qui, cependant, consacre encore une partie importante de son temps à la gravimétrie. De plus, une nouvelle assistante a été recrutée et a rejoint la section des masses du BIPM en septembre 1999 (*voir* à la section 12.2 de ce rapport, qui concerne le personnel).

Dans la section du temps, la stabilité à moyen terme du Temps atomique international (TAI), exprimée au moyen de l’écart-type d’Allan, est estimée à environ $0{,}6 \times 10^{-15}$ pour des durées moyennes de 20 à 40 jours. L’exactitude du TAI est fondée sur six étalons primaires de fréquence : les trois étalons classiques PTB CS1, CS2 et CS3, qui fonctionnent en continu, et les trois étalons à pompage optique CRL-01, NIST-7 et NRLM-4. En raison de l’augmentation du nombre des étalons primaires de fréquence et de l’amélioration de leur stabilité, l’unité d’échelle du TAI correspond, selon nos estimations, à la seconde du SI à 5×10^{-15} près depuis le début de 1998. Nos activités de recherche ont été en grande partie consacrées à l’étude des comparaisons de temps et de fréquences à l’aide de systèmes de navigation par satellite tels que le GPS et le GLONASS. Un intérêt tout particulier a été porté aux techniques de réception simultanée des signaux de plusieurs de ces systèmes en mode multi-canal. Nous avons aussi travaillé à l’utilisation des mesures de phase de la porteuse des signaux du GPS. D’autres activités de recherche furent consacrées aux systèmes de référence spatio-temporels, en particulier à la définition et à la réalisation des temps-coordonnées dans le cadre relativiste. Les autres thèmes de recherche concernent les pulsars, les projets d’utilisation d’horloges dans l’espace et l’interférométrie atomique. Suite à la nomination de Mme C. Thomas au nouveau poste de coordinatrice de la base de données du BIPM sur les comparaisons clés, en novembre 1998, le BIPM a recruté une nouvelle responsable pour la section du temps ; cette personne prendra ses fonctions en novembre 1999 (*voir* à la section 12.2 de ce rapport, qui concerne le personnel).

Dans la section d’électricité, les travaux de cette année se distinguent par une augmentation considérable du nombre de comparaisons. La cinquième comparaison sur place d'étalons de résistance de Hall quantifiée au plus haut niveau d'exactitude a été réalisée au NIST et s'est révélée être un grand succès. L'analyse préliminaire des résultats indique une différence de $1{,}2 \times 10^{-9}$, en valeur relative, entre les mesures de la résistance d'un étalon de $100\ \Omega$ par rapport à la résistance de Hall quantifiée ; l'incertitude-type composée sur cette valeur est de 2×10^{-9}. La vingt-deuxième comparaison sur place d'étalons de Josephson a eu lieu au SMU (Slovaquie) en mai 1999. Notre programme de comparaisons bilatérales au moyen d'étalons de transfert à diodes de Zener a été très chargé cette année : une demi-douzaine de comparaisons bilatérales ont été effectuées, la plupart au moyen de diodes de Zener appartenant au BIPM. Nous avons ainsi établi, durant ces deux dernières années, des liens solides avec quatre organisations régionales de métrologie, l'APMP, le COOMET, l'EUROMET et le SIM/NORAMET, dans le domaine des étalons de tension en courant continu. Nos études sur la résistance de Hall quantifiée à des fréquences de l'ordre du kilohertz ont confirmé l'existence d'une petite dépendance linéaire en fonction de la fréquence. Cependant, des travaux très récents, réalisés au BIPM en collaboration avec M. B. Kibble (chercheur invité), montrent qu'il est possible de la faire disparaître. De sérieuses améliorations ont permis de réduire les effets thermiques qui limitent l'amplitude maximale utilisable du courant alternatif pour les mesures de la résistance de Hall quantifiée de la plus haute exactitude. Des études sur le bruit et la stabilité des étalons de tension à diodes de Zener et des nanovoltmètres ont révélé la présence de corrélations, ce qui nous a incités à utiliser la variance d'Allan pour décrire la dispersion des mesures. Nous avons aussi commencé à appliquer un certain nombre de méthodes différentes d'analyse des séries temporelles, afin de déceler et d'évaluer quantitativement les corrélations entre les mesures individuelles successives ou les groupes de mesures successifs d'une série de résultats. Ces méthodes peuvent être appliquées à un vaste domaine de la métrologie.

Dans la section de radiométrie et photométrie, nos activités ont été à nouveau centrées sur les comparaisons internationales. La comparaison de radiomètres cryogéniques et les deux comparaisons clés de photométrie sont achevées ; les valeurs de référence des deux comparaisons clés ont été approuvées par le CCPR. Le BIPM sera le laboratoire pilote de la comparaison clé de sensibilité spectrale dans le visible, dont les préparatifs sont en cours. Un nouvel équipement de mesure utilisant le rayonnement d'un corps noir a été mis en place (ses caractéristiques sont en cours de détermination), ainsi qu'un système de mesure des aires d'ouverture. Le BIPM a aussi pris part à la comparaison clé du CCT de thermomètres à résistance de platine étalons à longue tige et à la comparaison du CCM de mesures de moyennes pressions.

Dans la section des rayonnements ionisants, cette année a été active dans le domaine des comparaisons de dosimétrie photonique. Une des conséquences de l'arrangement de reconnaissance mutuelle est que tous les laboratoires nationaux de métrologie, membres de la Section I du CCRI, ont demandé à effectuer une comparaison bilatérale avec le BIPM. Cette année, onze comparaisons de ce type ont été achevées pour le kerma dans l'air et deux pour la dose absorbée. De plus, vingt-six étalonnages ont été réalisés pour des laboratoires conservant des étalons secondaires. Dans le domaine de la dosimétrie photonique, des calculs de Monte-Carlo ont été effectués afin d'évaluer les facteurs de correction pour la perte d'électrons et pour la dispersion des photons dans les chambres à paroi d'air, dans le domaine situé entre 10 kV et 300 kV. Une grande partie des équipements pour la dosimétrie est considérée comme ancienne, aussi a-t-on commencé à la renouveler. En particulier une série de chambres d'ionisation étalons en graphite est en cours de construction. Nous attendons toujours la livraison d'une nouvelle source de ^{60}Co ; le délai prolongé pour obtenir l'accord des autorités françaises pour le transport de la source au BIPM est un ennui majeur. Dans le domaine des radionucléides, la comparaison internationale de mesures d'activité du ^{204}Tl est terminée et ses résultats ont été présentés à la réunion de la Section II du CCRI en juin 1999. La comparaison internationale pilote de mesures d'activité du ^{152}Eu a commencé et les ampoules ont été mesurées dans le Système international de référence (SIR) avant d'être envoyées aux participants. Un grand nombre de résultats nouveaux a été ajouté au SIR cette année et nous finissons de mettre au point une monographie contenant tous les résultats du SIR enregistrés depuis sa création en 1975. Ces données seront utilisées comme source d'informations sur l'équivalence des étalons nationaux dans ce domaine dans le cadre de l'arrangement de reconnaissance mutuelle. Diverses études ont été terminées, ou sont en voie de l'être, sur divers aspects du fonctionnement du SIR et sur son extension aux émetteurs de rayonnement β à l'aide de la méthode de comptage par scintillation liquide. Parmi celles-ci, nous pouvons mentionner la détection des impuretés radioactives dans les ampoules soumises au SIR et la mise en pratique de la méthode de comptage du rapport des coïncidences triples aux coïncidences doubles.

1.1 Publications, conférences et voyages ne concernant pas directement une section particulière

1.1.1 Publications extérieures

1. Kind D., Quinn T.J., Metrology: Quo Vadis?, *Physics Today*, 1999, **52**, n° 8 (Pt 2, Buyer's Guide), BG13-15 (texte révisé de l'article paru l'an passé).
2. Quinn T.J., International Report: News from the BIPM, *Metrologia,* 1999, **36**, 65-69.
3. Quinn T.J., Editorial on the occasion of Metrologia's one thousandth article, *Metrologia*, 1999, **36**, 77-78.
4. Speake C.C., Quinn T.J., Editorial on the Conference on the Gravitational Constant: Theory and Experiment 200 Years After Cavendish, *Meas. Sci. Technol.*, 1999, **10**, L33.

1.1.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

T.J. Quinn s'est rendu :

- à Turin (Italie), le 15 octobre 1998, pour une réunion du Conseil scientifique de l'IMGC.
- à Londres (Royaume-Uni), le 22 octobre 1998, pour une réunion du Paul Instrument Fund Committee.
- à Derby (Royaume-Uni), le 23 octobre 1998, pour visiter les ateliers Rolls Royce.
- au LGC, Teddington (Royaume-Uni), les 26 et 27 octobre 1998, avec R.S. Davis, pour discuter du programme à venir du BIPM dans le domaine de la métrologie en chimie.
- à Londres (Royaume-Uni), le 29 octobre 1998, pour une réunion d'IEE sur les systèmes de mesure internationaux.
- à Bruxelles (Belgique), le 3 novembre 1998, pour la conférence organisée à l'occasion du 25e anniversaire du BCR.
- à Sharm-el-Sheik (Égypte), du 6 au 10 novembre 1998, pour une réunion relative à la création de MENAMET.
- à Londres (Royaume-Uni), les 23 et 24 novembre 1998, pour assister à la conférence intitulée « The Gravitational Constant: Theory and experiment

200 years after Cavendish » ; les 2 et 3 décembre 1998, pour un exposé au Physical Society Club.

- à Ottawa (Canada), du 8 au 12 janvier 1999, comme président du « peer review of the NRC-INMS ».
- à Oxford (Royaume-Uni), le 1er février 1999, pour rencontrer M. K. Burnett et visiter le département de physique de l'université.
- au NMi, Delft (Pays-Bas), le 4 février 1999, pour le départ à la retraite de M. Kaarls.
- à Londres (Royaume-Uni), le 25 février 1999, pour une réunion du Paul Instrument Fund Committee.
- au NIST, Gaithersburg (Maryland, États-Unis), du 8 au 10 mars 1999, pour discuter de l'arrangement de reconnaissance mutuelle avec le directeur du NIST et de la Conférence générale au Département d'État.
- à Turin (Italie), le 17 mars 1999, pour une réunion du Conseil scientifique de l'IMGC.
- à la PTB, Berlin (Allemagne), les 29 et 30 mars 1999, pour un symposium organisé à l'occasion du centenaire des travaux de Max Planck.
- à la PTB, Braunschweig (Allemagne), les 29 et 30 avril 1999.
- à Turin (Italie), le 3 mai 1999, pour un exposé dans le cadre d'une conférence du CCM sur le vide et les pressions.
- à Ral, près d'Oxford (Royaume-Uni), le 17 mai 1999, pour une réunion STEP au Rutherford Appleton Laboratory.
- à Prague (Rép. tchèque), du 19 au 21 mai 1999, pour une réunion du comité d'EUROMET.
- au NMi, Delft (Pays-Bas), pour un exposé à TEMPMEKO, le 7e International Symposium on Temperature and Thermal Measurements.
- à Prague (Rép. tchèque), le 7 juin 1999, pour un exposé à la réunion de l'ICRM'99.
- à Londres (Royaume-Uni), le 10 juin 1999, pour une réunion du Paul Instrument Fund Committee.
- à Osaka (Japon), du 13 au 17 juin 1999, pour l'assemblée générale d'IMEKO.
- à Tokyo (Japon), du 18 au 21 juin 1999, pour le bureau du Comité et un exposé à une réunion organisée par le MITI.
- au NPL, Teddington (Royaume-Uni), les 24 et 25 juin 1999, pour un exposé au Frontiers of Science Meeting.

- à Charlotte, Caroline du Nord (États-Unis), du 13 au 16 juillet 1999, pour la 3e réunion du Comité mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM.
- à Birmingham (Royaume-Uni), le 17 septembre 1999, pour un exposé à la Physics Teachers' Conference.

1.2 Activités en liaison avec des organisations extérieures

M. Quinn assiste régulièrement aux réunions du Conseil scientifique de l'IMGC ; il est membre du CODATA Task Group on Fundamental Constants, vice-président de la Commission SUN-AMCO de l'UIPPA, et membre de l'Interdivisional Committee on Nomenclature and Symbols de l'UICPA. Il représente la Royal Society au Paul Instrument Fund Committee. Il préside le Comité mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM et le Comité commun pour les guides en métrologie.

2 **LONGUEURS** (J.-M. CHARTIER)

2.1 Lasers

2.1.1 Laser à Nd:YAG doublé à $\lambda \approx 532$ nm (L. Robertsson, S. Picard, assistés de J. Labot)

Ce laser a donné d'excellents résultats et il est de plus en plus utilisé dans les laboratoires nationaux. Sa puissance élevée et son bruit faible le rendent particulièrement intéressant pour les expériences faisant appel aux techniques utilisant des oscillateurs paramétriques optiques, des générateurs actifs à balayage de fréquence et des dispositifs de division de fréquence, techniques qui sont toutes liées aux mesures absolues de fréquence.

Le BIPM construit une série de systèmes de référence de deux types à cette longueur d'onde, l'un transportable, l'autre stationnaire et pouvant servir de référence interne. Des mesures préliminaires de stabilité de fréquence ont débuté avec ces deux systèmes, mais elles ont été interrompues et reportées à une date ultérieure car la source du laser à infrarouge du commerce présente des défauts. On a cependant observé une stabilité de fréquence caractérisée par un écart-type d'Allan relatif de 2×10^{-13} pour une durée moyenne de 100 ms. Les travaux sur les calculs et les mesures de la structure hyperfine ont été publiés [4].

La qualité du profil de résonance de l'iode est un facteur décisif pour obtenir une bonne reproductibilité pour ce type de lasers. En collaboration avec le BNM-LPL, l'ILP (Féd. de Russie) et le BNM-INM, la radiation des lasers à Nd-YAG à fréquence doublée du BIPM sera utilisée pour étudier les décalages de fréquence des cuves à iode (*voir* aussi 2.1.6).

2.1.2 Lasers à He-Ne asservis sur l'iode à $\lambda \approx 633$ nm en cuve interne (J.-M. Chartier, assisté de A. Chartier et J. Labot)

Les deux lasers portables BIPMP1 et BIPMP3, utilisés actuellement pour les comparaisons internationales en dehors du BIPM, ont été comparés au laser stationnaire de référence BIPM4. Leur fréquence était, en moyenne, inférieure de 4 kHz à celle du laser BIPM4 avec une incertitude-type de type A, u (écart-type de la moyenne des résultats), égale à 0,5 kHz.

Du 7 au 11 septembre 1998, une comparaison internationale de lasers à He-Ne a été effectuée au MIKES (Finlande). Les lasers ont été asservis sur $^{127}I_2$ à $\lambda \approx 633$ nm en utilisant la technique des troisième et cinquième dérivées. Les laboratoires participants étaient le CMA/MIKES, le CMI, le NIM, le VNIIM et le BIPM. L'objet de cette comparaison était d'évaluer les propriétés de la technique de la cinquième dérivée, en particulier pour la reproductibilité de la fréquence et les écarts de fréquence, par comparaison à la technique de la troisième dérivée. Les résultats préliminaires montrent que la reproductibilité de fréquence de chaque laser est meilleure que 5 kHz et que toutes les différences de fréquence entre lasers sont aussi inférieures à 5 kHz lorsqu'on utilise la technique de la cinquième dérivée. Une différence de fréquence d'environ 30 kHz a été constatée entre certains lasers utilisant la technique de la cinquième dérivée et d'autres celle de la troisième.

Du 17 au 24 septembre 1998, une comparaison a été effectuée au JILA (États-Unis) entre le JILA, le NIST (Boulder) et le BIPM ; les résultats sont les suivants :

$$f_{\mathrm{JILA145}} - f_{\mathrm{BIPMP3}} = +\,7{,}3\ \mathrm{kHz}, \qquad u = 0{,}5\ \mathrm{kHz}$$

$$f_{\mathrm{NIST126}} - f_{\mathrm{BIPMP3}} = +\,4{,}9\ \mathrm{kHz}, \qquad u = 0{,}9\ \mathrm{kHz}.$$

Du 30 août au 3 septembre 1999, une comparaison a été effectuée au BEV (Autriche) entre le BEV, le CMI (Rép. tchèque), l'OMH (Hongrie), le GUM (Pologne), le NIPLPR (Roumanie) et le BIPM.

La stabilité de la fréquence des deux lasers Winters Electro Optics du BNM-LCIE et de l'École et Observatoire des sciences de la Terre (Strasbourg, France) a aussi été vérifiée.

2.1.3 Lasers à diode à cavité étendue asservis sur l'iode à $\lambda \approx 633$ nm (A. Zarka, J.-M. Chartier)

Ces deux dernières années, la disponibilité de lasers à diode fiables à $\lambda \approx 633$ nm a constitué un problème majeur pour la conservation de ce type d'étalon, ce qui a retardé maintes fois l'organisation d'une comparaison internationale. Quand tous les systèmes lasers à semiconducteur des laboratoires susceptibles de participer à la comparaison ont été prêts, nous avons organisé la première comparaison internationale de lasers à diode (International Comparison on Laser Diodes, ICLAD'99) qui s'est déroulée au BIPM en janvier 1999 pendant deux semaines.

Cette comparaison de huit lasers à semiconducteur asservis sur $^{127}I_2$ a impliqué huit laboratoires. Cinq d'entre eux étaient des lasers à cavité étendue utilisant la spectroscopie par saturation en cavité externe (BNM-INM, DFM, ISI, NPL, BIPM). Un autre utilisait une diode laser dont la monture à micro-lentille avait été modifiée pour réduire la réaction due à la rétro-réflexion, mais utilisait la même technique de stabilisation (HUT). Le septième était asservi en utilisant la technique de spectroscopie à modulation de fréquence (PTB). Le dernier était un laser à diode simple asservi sur une raie d'absorption linéaire de l'iode (BIPM/COPL). La répétabilité de la fréquence mesurée pendant une durée d'une semaine était de l'ordre de quelques dizaines de kilohertz. Ces écarts importants de fréquence résultaient d'un mauvais réglage du dispositif d'asservissement électronique des deux lasers. Pour les lasers bien corrigés, la répétabilité était de quelques kilohertz. La transition 6-3, P(33), de $^{127}I_2$ a été utilisée pour étalonner les lasers à semiconducteur par rapport au laser à He-Ne asservi sur l'iode. La stabilité relative de la fréquence se situait entre 5×10^{-11} et 7×10^{-12} pour une durée moyenne de 1 s, le meilleur résultat étant inférieur à 2×10^{-13} sur 1000 s. Nous avons terminé une étude de l'asservissement sur les transitions intenses 8-4, R(60), 9-4, R(125) et 8-4, P(54), situées à environ -12 GHz de la transition 11-5, R(127). Nous avons obtenu pour la première fois avec ce type de laser une stabilité de la fréquence à court terme meilleure que celle des lasers à He-Ne classiques, l'écart-type d'Allan relatif étant de 4×10^{-12} pour une durée moyenne de 1 s.

L'asservissement électronique numérique, étudié en collaboration avec le COPL, a été utilisé conjointement au système mécanique BIREL2 pendant la comparaison. L'écran numérique permet d'observer l'absorption linéaire avant d'asservir le laser à semiconducteur. Il reste cependant beaucoup à faire pour obtenir le rapport signal sur bruit nécessaire pour s'asservir sur la structure hyperfine de l'iode.

Cette activité a été suspendue temporairement après le transfert d'A. Zarka à la section d'électricité.

2.1.4 Lasers à diode asservis sur le rubidium à $\lambda \approx 778$ nm en utilisant les composantes hyperfines des transitions 5S-5D à deux photons (R. Felder)

La construction de nos lasers à diode portables asservis sur le rubidium se poursuit. Nous avons reçu un second collecteur de lumière pour la détection du signal de fluorescence. Les récepteurs optiques nécessaires à l'asservissement des cavités ont été assemblés avec l'aide de nos collègues de la section de radiométrie du BIPM. La cuve à rubidium achetée l'année passée au JILA sera bientôt installée dans une cavité Perot-Fabry conçue et fabriquée au BIPM.

En mars 1999, au cours d'une visite au NRLM, nous avons eu des discussions fructueuses avec M. Onae et ses collègues. Les progrès de nos systèmes respectifs ont été analysés en détail afin d'y apporter des améliorations. Un projet de coopération à venir a aussi été discuté. À cette occasion, nous voulons remercier MM. Matsumoto et Onae pour l'organisation parfaite de cette visite et pour leur aide financière.

Nous avons rapporté du NRLM une cuve à rubidium que nous envisageons de comparer dans un proche avenir à celles que nous possédons déjà.

2.1.5 Lasers à He-Ne asservis sur le méthane à $\lambda \approx 3{,}39$ µm en cuve interne et externe (R. Felder, assisté de D. Rotrou)

La construction et l'étude de tubes de lasers à He-Ne et de cuves à méthane se poursuit. Nous avons commencé la mise au point de nouveaux prototypes pour des systèmes laser fondés sur la technique de deux modes.

Les tubes de lasers et les cuves à méthane que nous avons achetés à l'Institut Lebedev (Moscou, Féd. de Russie) seront utilisés pour réaliser un second laser de référence à deux modes, analogue à celui que nous avons acheté récemment, mais qui soit de plus vraiment portable (de plus petite taille que le premier). Dans un premier temps, nous avons conçu et construit deux nouvelles cavités qui seront bientôt vérifiées.

Le laser que nous avions reçu l'année passée de l'Institut Lebedev a été utilisé dans le cadre d'une collaboration internationale afin d'étalonner la fréquence absolue de systèmes transportables à (He-Ne)/CH_4 et de comparer les chaînes de fréquence de la PTB et du BNM-LPTF. Les autres lasers qui ont participé à cette expérience appartenaient à l'Institut Lebedev ou au NPL.

Notre laser (BIDM1) a été étalonné en fréquence au BNM-LPTF du 21 au 29 octobre et à la PTB du 3 au 14 novembre 1998. Une analyse préliminaire des résultats obtenus en juillet et en novembre 1998 à la PTB, et en octobre 1998 au BNM-LPTF, a donné les résultats suivants :

juillet 1998 (PTB)	f_{BIDM1} = 88 376 181 600 323 Hz,	u = 9 Hz
octobre 1998 (BNM-LPTF)	f_{BIDM1} = 88 376 181 600 281 Hz,	u = 25 Hz
novembre 1998 (PTB)	f_{BIDM1} = 88 376 181 600 320 Hz,	u = 7 Hz

où u est l'écart-type de la moyenne des résultats.

Ces résultats montrent que la fréquence de notre laser de référence se maintient dans une limite de 5 Hz (6×10^{-14} en valeur relative) sur une période de trois mois et demi. Ils montrent aussi que, avec des chaînes de fréquence modernes, on peut déterminer la fréquence d'un tel dispositif avec une incertitude inférieure à 50 Hz (6×10^{-13} en valeur relative).

2.1.6 Cuves à iode (J.-M. Chartier, S. Picard, L.F. Vitouchkine, assistés de A. Chartier et J. Labot)

Cette année huit cuves à iode saturées et dix cuves non saturées de 100 mm ont été remplies. Six cuves appartenant à des laboratoires nationaux, ayant une longueur située entre 100 mm et 300 mm et un diamètre situé entre 25 mm et 15 mm, ont aussi été remplies. La fréquence de vingt-sept cuves a été vérifiée ; douze cuves ont été vérifiées par fluorescence induite par laser, dont trois cuves appartenant au KRISS et une au DFM.

En collaboration avec F. Duburck (BNM-LPL), A.N. Goncharov (ILP, Féd. de Russie), J.-P. Wallerand et Y. Millerioux (BNM-INM), nous avons étudié les effets des impuretés sur les cuves à iode : largeur des raies, intensité de la fluorescence induite par le laser en fonction de la pression et fréquence des composantes hyperfines aux longueurs d'onde de 633 nm et de 532 nm. Quatre cuves du BIPM et une cuve du BNM-LPL ont été vérifiées dans ce but.

Une nouvelle cuve ayant une épaisseur interne de 5 mm a été fournie par la société HELLMA. La forme du signal de fluorescence d'une raie de l'iode à 532 nm observée dans une cuve mince, a fait l'objet d'une étude préliminaire au JILA par MM. J.L. Hall et L.F. Vitouchkine en mars 1999.

De plus une nouvelle cuve mince, une cuve en verre poreux, et une cuve de 5 mm d'épaisseur ont été remplies de $^{127}I_2$.

2.2 Mesures de longueur : nanométrologie

2.2.1 Diffractomètre interférométrique à laser : méthode des trois longueurs d'onde (L.F. Vitouchkine)

Une règle périodique de courte longueur, référence GH-Au-d, portant un réseau doré de 5 mm × 5 mm, a été mesurée au BIPM à l'aide de la méthode des trois longueurs d'onde, après des mesures à la PTB et à l'OFMET. En améliorant les techniques d'alignement, on a obtenu un pas de 277,46 nm avec une incertitude-type composée de 0,04 nm.

L'étude théorique de la diffractométrie interférométrique à laser par la méthode des trois longueurs d'onde, pour la mesure des pas de réseaux, se poursuit.

2.2.2 Interférométrie laser pour les mesures de déplacement (L.F. Vitouchkine, J.-M. Chartier)

Pour la mise en pratique de la définition du mètre, un interféromètre laser d'exactitude élevée serait utile pour les mesures de déplacement de l'ordre du micromètre et inférieurs au micromètre. Le laser à solide pompé par diode et à fréquence doublée, délivrant la radiation à $\lambda \approx 532$ nm recommandée par le CIPM, est celui qui correspond le mieux aux besoins en matière de source de lumière cohérente pour l'interférométrie laser appliquée aux mesures de déplacement. Les avantages d'un tel laser par rapport aux lasers à He-Ne traditionnels à $\lambda \approx 633$ nm sont une puissance plus élevée et une meilleure résolution des mesures de déplacement due à la longueur d'onde plus courte utilisée. Cette application ne nécessite pas le recours à des étalons de fréquence primaires. Comme il n'existe pas d'équipements du commerce bon marché, trois lasers à solide pompé par diode et à fréquence doublée (deux lasers à cavité en anneau et un à cavité rectiligne) ont été construits à l'Institut de physique des lasers (Saint-Pétersbourg, Féd. de Russie) en collaboration avec le BIPM. Ces lasers ont été vérifiés au BIPM par M. O.A. Orlov (Institut de physique des lasers).

Le laser à cavité en anneau (type ILP-532-10S-02) utilise un cristal de Nd:YAG comme milieu actif, pompé par un laser à diode à 807 nm. Un cristal de $KTiOPO_4$ (KTP) est utilisé à l'intérieur de la cavité en anneau pour le doublage de la fréquence de la radiation du cristal de Nd:YAG à $\lambda \approx 1064$ nm. Le décalage de la fréquence de la radiation du laser à $\lambda \approx 532$ nm, que l'on obtient quand on fait varier la température du cristal de KTP, a été mesuré à l'aide d'un lambdamètre de Fizeau. Le domaine d'accord de la radiation en mode unique s'est avéré être d'environ 450 GHz (de 562 950 GHz à 563 400 GHz).

Un second laser à cavité en anneau de construction similaire à celle du laser ILP-532-10S-02 a aussi été étudié.

Un laser à solide pompé par diode à cavité rectiligne et hémisphérique et à fréquence doublée dans un cristal de KTP interne à la cavité a été soumis à des essais avec deux cristaux actifs différents, de Nd:YVO_4 et de Nd:LSB. Le laser à cristal de Nd:YVO4 fonctionne dans le domaine situé entre 562 843 GHz et 563 400 GHz.

2.3 **Gravimétrie** (L.F. Vitouchkine, L. Robertsson, J.-M. Chartier)

2.3.1 Comparaisons internationales (L. Robertsson)

Depuis 1980, une série de comparaisons internationales de gravimètres absolus (ICAG) est organisée par le BIPM environ tous les quatre ans, pour évaluer l'état actuel des performances dans le domaine de la gravimétrie absolue. Conjointement à ces mesures, des comparaisons de gravimètres relatifs sont aussi organisées. La cinquième comparaison ICAG a eu lieu au BIPM en novembre 1997 ; quinze gravimètres absolus y ont pris part. On a trouvé une valeur moyenne de l'accélération due à la pesanteur à la station A du BIPM, à une hauteur de 0,9 m par rapport au sol, de 980 925 707,8 µGal (1 µGal = 1×10^{-8} m · s^{-2}) avec une incertitude-type de type A de 4,2 µGal. Ce résultat est en accord avec celui obtenu lors de la précédente comparaison ICAG. Ce qui est particulièrement précieux dans la présente comparaison, c'est le nombre plus élevé de participants et la plus grande variété des types de gravimètres utilisés, par rapport aux comparaisons précédentes.

Les résultats obtenus pour chaque gravimètre et transférés à la station A (0,9 m) figurent au tableau 1, avec leur incertitude-type respective u et l'écart d par rapport à la moyenne du groupe.

La série de comparaisons ICAG fournit une estimation expérimentale de l'exactitude que l'on peut obtenir lors de mesures gravimétriques absolues, ce qui constitue une source d'informations unique.

Compte tenu de l'augmentation du nombre de gravimètres participant à chaque comparaison, il convient d'étudier une organisation qui assurerait des comparaisons régionales supplémentaires. Les résultats combinés de ces comparaisons, ainsi que ceux des comparaisons bi- ou trilatérales et des comparaisons ICAG, devraient fournir des informations pour améliorer notre connaissance des mesures de gravimétrie absolue.

Tableau 1. Valeurs de *g* mesurées lors de la cinquième comparaison internationale de gravimètres absolus en novembre 1997. Les valeurs ci-dessous correspondent à la moyenne des mesures effectuées aux sites A, A2 et A3. Elles sont données sous forme de l'écart, *d*, par rapport à la valeur moyenne prise comme référence, g_A (0,9 m) = 980 925 707,8 µGal, et de son incertitude-type de type A, *u*.

	d/µGal	*u*/µGal
JILA2	0,9	2,2
JILA3	5,4	3,1
JILA5	0,5	6,5
JILA6	-5,2	3,5
FG5/101	-2,7	1,1
FG5/103	-1,3	3,5
FG5/105	-2,6	1,9
FG5/107	2,5	6,4
FG5/108	-1,8	1,8
FG5/202	2,2	1,8
FG5/206	-5,1	1,7
Gable	3,2	4,9
IMGC	9,7	5,9
NIMA2	-0,2	5,6
ZZB	-5,5	6,9

2.3.2 Le gravimètre absolu FG5-108 (L.F. Vitouchkine)

Des mesures régulières hebdomadaires ont été effectuées avec le gravimètre absolu FG5-108 de décembre 1997 à janvier 1999 au site A (situé dans l'Observatoire du BIPM) inclus dans le réseau gravimétrique international. De mars à mai 1999, le gravimètre FG5-108 a été envoyé à la société Micro-g Solutions Inc. pour réparation et pour modification de l'électronique de chronométrage.

2.4 Publications, conférences et voyages : section des longueurs

2.4.1 Publications extérieures

1. Navratil V., Fodreková A., Gàta R., Blabla J., Balling P., Ziegler M., Zeleny V., Petrû F., Lazar J., Veselá Z., Gliwa-Gliwinski J., Walczuk J., Bánréti E., Tomanyiczka K., Chartier A., Chartier J.-M., International comparisons of He-Ne lasers stabilized with $^{127}I_2$ at $\lambda \approx 633$ nm (July 1993 to September 1995), Part III: Second comparison of Eastern European Laser at $\lambda \approx 633$ nm, *Metrologia*, 1998, **35**, 799-806.
2. Hilico L., Felder R., Touahri D., Acef O., Clairon A., Biraben F., Metrological features of the rubidium two-photon standards of the BNM-LPTF and Kastler Brossel laboratories, *Eur. Phys. J. AP*, 1998, **4**, 219-225.
3. Darnedde H., Rowley W.R.C., Bertinetto F., Millerioux Y., Haitjema H., Wetzels S., Pirée H., Prieto E., Mar Pérez M., Vaucher B., Chartier A., Chartier J.-M., International comparisons of He-Ne lasers stabilized with $^{127}I_2$ at $\lambda \approx 633$ nm (July 1993 to September 1995), Part IV: Comparison of Western European lasers at $\lambda \approx 633$ nm, *Metrologia,* 1999, **36**, 199-206.
4. Jun Ye, Robertsson L., Picard S., Long-Sheng Ma, Hall J.L., Absolute frequency atlas of molecular I_2 lines at 532 nm, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1999, **48**, 544-549.
5. Vitushkin L.F., Chartier J.-M., Measurements of free-fall acceleration at the site A of the gravity micronetwork of the BIPM, *Abstracts of the IUGG General Assembly* (week A, 19-24 July 1999), 1999, A431.
6. Vitushkin L.F., Three-wavelength interferometric diffractometry: accur-acy in measurement of spacings of diffraction gratings, *PTB Bericht*, December 1998, PTB-F-34, 12-19.
7. Cliche J.F., Zarka A., Têtu M., Chartier J.-M., Automatic locking of a 633 nm semiconductor laser on iodine, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1999, **48**, 596-599.
8. Quinn T.J., Practical realization of the definition of the metre (1997), *Metrologia*, 1999, **36**, 211-244.
9. Acef O., Clairon A., Rovera G.D., Ducos F., Hilico L., Kramer G., Lipphardt B., Shelkovnikov A., Kovalchuk E., Petrukhin E., Tyurikov D., Petrovskiy M., Gubin M., Felder R., Gill P., Lea S., Absolute frequency measurements with a set of transportable methane optical frequency standards, *Proc. 1999 Joint Meeting EFTF/IEEE FCS*, 1999, 742-745.

2.4.2 Rapport BIPM

10. Zarka A., Simonsen H., Abou-Zeid A., Imkenberg F., Report on the first meeting of the group on laser diode heads 17-18 April 1997, *Rapport BIPM*-98/18, 1998, 12 p.

2.4.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

J.-M. Chartier s'est rendu :

- au GUM, Varsovie (Pologne), les 19 et 20 octobre 1998, pour une réunion des personnes chargées des relations dans le domaine des longueurs au sein d'EUROMET.
- au BNM-LPL, Paris (France), le 30 octobre 1998, pour assister à une présentation sur les balances de torsion et visiter le laboratoire.
- à l'IEN, Turin (Italie), le 1er juillet 1999, pour une présentation orale en qualité d'invité intitulée « Wavelength recommended for the practical realization of the metre: frequency links ».
- à l'INMETRO, Rio de Janeiro (Brésil), du 11 au 18 juillet 1999, où il a été invité à visiter le laboratoire et à préparer une comparaison de lasers à $\lambda \approx 633$ nm avec les laboratoires nationaux membres du SIM, dont font partie pour la première fois l'INMETRO et l'INTI (Argentine), et pour une présentation orale intitulée « Results of international comparisons of the He-Ne/I_2 lasers at 633 nm ».

L. Robertsson s'est rendu :

- au Luxembourg, invité pour une présentation orale intitulée « Results from the 5th International Comparison of Absolute Gravimeters, ICAG'97 », au JLG meeting, qui a eu lieu à l'European Centre for Geodynamics and Seismology, Luxembourg, du 16 au 18 novembre 1998.
- chez KOM-dagarna, Borås (Suède), du 15 au 18 mars 1999, invité pour une présentation orale intitulée « Internationell utveckling inom längdområdet ».
- au NRLM, Tsukuba (Japon), du 24 au 31 mai 1999, invité par le NRLM pour une présentation orale « Wavelength standards at the BIPM ».

L. Robertsson et S. Picard ont rendu visite à M. I. Freitag de la société InnoLight GmbH à Hanovre (Allemagne), le 13 avril 1999, pour des discussions sur les lasers à Nd:YAG.

L. Robertsson et S. Picard ont rendu visite à MM. H. Schnatz et J. Helmcke à la PTB (Allemagne), le 14 avril 1999, pour des discussions sur les lasers à Nd:YAG.

R. Felder s'est rendu :

- au BNM-LPTF, Paris (France), du 21 au 29 octobre 1998, pour participer à une comparaison internationale d'étalonnage de la fréquence absolue de lasers à hélium-néon asservis sur le méthane.
- à la PTB, Braunschweig (Allemagne), du 3 au 14 novembre 1998, pour participer à une comparaison internationale d'étalonnage de la fréquence absolue de lasers à hélium-néon asservis sur le méthane.
- au BNM-LPTF, Paris (France), du 16 novembre au 3 décembre 1998, pour participer à une comparaison internationale d'étalonnage de la fréquence absolue de lasers à hélium-néon asservis sur le méthane.
- au BNM-LPTF, Paris (France), du 14 au 16 décembre 1998, pour des discussions techniques.
- au NRLM, Tsukuba (Japon), du 17 au 31 mars 1999, pour visiter le laboratoire, participer à des discussions techniques au sujet de la collaboration à venir sur les lasers à diode asservis sur le rubidium à $\lambda \approx 778$ nm et pour donner un exposé intitulé « The BIPM length/laser section and its activity ».

L.F. Vitouchkine s'est rendu :

- à Copenhague (Danemark), les 5 et 6 novembre 1998, pour un exposé intitulé « Three-wavelength interferometric diffractometry: accuracy in measurement of spacings of diffraction gratings » lors du 3e Seminar on Quantitative Microscopy.
- à Boulder (États-Unis), du 1er au 21 mars 1999, pour participer aux essais du gravimètre FG5-108 effectués par la société Micro-g Solutions Inc. et à l'expérience sur les cuves à iode ultra-minces au JILA avec J.L. Hall.
- à Saint-Pétersbourg (Féd. de Russie), du 12 au 19 décembre 1998, pour des comparaisons de diodes de Zener.
- au NRLM, Tsukuba (Japon), du 16 au 21 et du 23 au 25 juin 1999, invité par le NRLM à présenter les recherches effectuées au BIPM dans le domaine de la nanométrologie et de la gravimétrie et à participer à des discussions techniques sur la nanométrologie et les domaines connexes.
- à la Japan Quality Assurance (JQA) Organisation, Tokyo (Japon), le 19 juin 1999, invité à visiter le département de mesures et d'étalonnages et

voir le diffractomètre laser, ainsi que participer à des discussions techniques.

- à Misuzawa (Japon), les 22 et 23 juin 1999, invité à visiter l'observatoire astronomique national.
- à Kharkov (Ukraine), le 19 août 1999, invité par l'association d'État sur la métrologie à présenter un exposé sur les activités du BIPM dans le domaine de la nanométrologie et de la gravimétrie.
- à Kiev (Ukraine), le 1er septembre 1999, invité par l'institut de physique de l'Académie des sciences d'Ukraine à faire un exposé sur les activités du BIPM dans le domaine de la nanométrologie ; le 2 septembre 1999, invité par l'université d'État Taras Shevchenko à une discussion sur l'emploi de verre poreux en spectroscopie et en chromatographie.

A. Zarka s'est rendu à la PTB, Braunschweig (Allemagne), du 9 au 15 novembre 1998, pour des mesures préliminaires de nouveaux lasers à diode.

2.5 Activités liées au travail des Comités consultatifs

J.-M. Chartier est secrétaire exécutif du CCL et membre, avec L.F. Vitouchkine, du Groupe de travail du CCL sur la métrologie dimensionnelle. Il est aussi membre du Groupe de travail du CCL sur la mise en pratique de la définition du mètre.

L. Robertsson préside le Groupe de travail 6 de l'International Gravity Commission.

L.F. Vitouchkine est président du groupe de discussion sur la nanométrologie (DG7) du Groupe de travail sur la métrologie dimensionnelle.

2.6 Visiteurs de la section des longueurs

- MM. O. Acef (BNM-LPTF), S. Shelkovnikov et E. Kovalchuk (Institut Lebedev), le 6 octobre 1998.
- MM. T. Gevert et J. Lausmaa (SP), le 13 octobre 1998.
- Cercle des conseillers scientifiques, le 12 novembre 1998.
- M. N. Mechakra (Micro Solutions, Kouba, Algérie), le 13 novembre 1998.
- M. Ngo Huy Van (Vietnam), le 27 novembre 1998.
- M. S. Shelkovnikov (Institut Lebedev), le 2 décembre 1998.
- M. P. Cerez (BNM-LHA), le 14 janvier 1999.

- M. M. Têtu (COPL), les 15 janvier et 6 avril 1999.
- MM. H. Simonsen (DFM), J.-P. Wallerand et Y. Millerioux (BNM-INM), le 19 janvier 1999.
- M. E. Ikonen (HUT), le 20 janvier 1999.
- M. C.A. Massone (INMETRO), le 21 janvier 1999.
- M. H. Matsumoto (NRLM), le 21 janvier 1999.
- M. Y. Domnin (VNIIFTRI), le 21 janvier et du 20 au 22 avril 1999.
- M. M. Viliesid (CENAM), le 21 janvier 1999.
- M. R. Guidi (SIP), le 21 janvier 1999.
- MM. Y. Millerioux et J.-P. Wallerand (BNM-INM), le 21 janvier 1999.
- MM. A. Goncharov (ILP) et F. Duburck (BNM-LPL), le 28 janvier 1999.
- M. A. Guerich (Observatoire de Meudon), le 1er février 1999.
- M. H. Kato (NRLM), le 15 février 1999.
- M. M. Gubin (Institut Lebedev), le 2 mars 1999.
- MM. Y. Millerioux, J.-P. Wallerand et D. Chagniot (BNM-INM), du 2 au 5 mars 1999.
- M. J. Decker (NRC), le 10 mars 1999.
- M. Ehab Hamdy Naem (NIS), les 16 mars et 10 mai 1999, et du 14 au 18 juin 1999.
- MM. G. Trapon et J.-C. Lacueille (BNM-LCIE), le 6 avril 1999.
- M. Mao Shenh Huang (CMS), le 15 avril 1999.
- M. Ho Seong Lee (KRISS), le 21 avril 1999.
- M. S. Ohshima (NRLM), le 22 avril 1999.
- MM. M. Amalvict et B. Luc (École et Observatoire des sciences de la Terre, Strasbourg), le 30 avril 1999.
- NPL Advisory Board, le 7 mai 1999.
- M. M. Annaheim (SIP), du 17 au 19 mai et du 7 au 18 juin 1999.
- M. M.T. Knowles (Royaume-Uni), le 22 juin 1999.
- M. P. Juncar (BNM-INM), le 20 juillet 1999.
- M. N. Brown (CSIRO-NML), le 17 septembre 1999.
- Les participants au Groupe de travail sur la métrologie dimensionnelle du CCL, le 22 septembre 1999.
- M. Cheon Il Eom (KRISS), le 23 septembre 1999.

2.7 Stagiaires

- M. J.F. Cliche (COPL), du 1er octobre 1998 au 22 janvier 1999, pour la conception et la construction d'un asservissement électronique numérique.
- MM. H. Simonsen (DFM), M. Merimaa (HUT), A. Lassila (MIKES), Y. Millerioux, D. Chagniot, J.-P. Wallerand (BNM-INM), C. Edwards (NPL), F. Imkenberg, A. Abou-Zeid, B. Kabel (PTB), J. Lazar, O. Ĉíp, P. Jedliĉka (ISI), du 11 au 22 janvier 1999, pour participer à la comparaison de lasers à diode à $\lambda \approx 633$ nm.
- M. O.A. Orlov (Institut de physique des lasers, Féd. de Russie), du 1er au 29 avril 1999, pour participer aux recherches sur les lasers à solide à $\lambda \approx 532$ nm.
- M. M. Viliesid (CENAM), du 7 au 18 juin 1999, pour participer à l'enlèvement du comparateur photoélectrique et interférentiel du BIPM.

3 MASSE ET GRANDEURS APPARENTÉES (R.S. DAVIS)

3.1 Étalons en acier inoxydable (R.S. Davis, assisté de J. Coarasa et J. Hostache)

La comparaison internationale d'étalons de 1 kg en acier inoxydable est terminée. Bien que les mesures aient débuté avant que le concept de « comparaison clé » n'ait été formulé, elle a été reconnue comme comparaison clé. Les résultats ont été présentés et approuvés à la dernière session du CCM en mai 1999. Un rapport final aux participants est en préparation ainsi qu'une brève publication des résultats. Quatorze laboratoires et le BIPM y ont participé. Lors de la session du CCM, il a été décidé que cette comparaison devrait être répétée d'ici quelques années, le BIPM agissant encore en qualité de laboratoire pilote. Les préparatifs de la prochaine comparaison commenceront par l'acquisition de nouveaux étalons de masse dont on étudiera la stabilité à long terme.

Les comparaisons internationales et les étalonnages d'étalons de 1 kg reposent sur l'utilisation de notre comparateur de masses Mettler HK 1000 MC. Cette balance n'est plus fabriquée, c'est pourquoi nous avons acheté un second comparateur de masses de 1 kg à la société Metrotec (Zurich). Le fabricant a apporté à cette balance plusieurs adaptations spécifiques qui la rendent mieux adaptée à nos besoins. La balance a été placée dans une enceinte sous vide construite au BIPM. Les essais de mise en service de cette balance sont en cours et progressent. La répétabilité des mesures d'objets en acier inoxydable de 1 kg de construction identique est meilleure que 0,5 µg. Un certain nombre de mesures visant à vérifier la reproductibilité de la balance n'ont pas encore été effectuées.

Des étalonnages d'étalons de masse en acier inoxydable ont été faits pour le CENAM (Mexique), le NCM (Bulgarie) et l'INN/CESMEC (Chili). Nous avons aussi effectué une comparaison bilatérale d'étalons de 1 kg en acier inoxydable avec le NRLM (Japon).

3.2 **Nouvelle balance à suspensions flexibles** (A. Picard)

La nouvelle balance à suspensions flexibles est complètement fonctionnelle et utilisée pour des mesures de la plus haute exactitude métrologique depuis plus d'un an. Nous avons obtenu avec la balance FB2 des résultats très satisfaisants quant à sa fiabilité et son exactitude (l'écart-type de la moyenne est généralement inférieur à 0,1 µg dans l'air et dans le vide). Jusqu'à maintenant, nous avons effectué plus de 31 000 pesées dans l'air ou dans le vide sans rencontrer de problème sérieux. Un certain nombre de délégués à la 6e session du CCM ont manifesté leur intérêt pour cette balance si bien que nous cherchons un moyen pour pouvoir en fournir d'autres exemplaires. Nous avons engagé des recherches pour trouver une compagnie qui accepte de construire la balance et en assurer le service après vente.

3.3 **Objets pour la détermination de la poussée de l'air** (A. Picard)

L'année passée, nous avions envisagé de mesurer la différence de masse dans le vide entre deux objets étalons dans le cadre de notre participation au projet 144 d'EUROMET sur la mesure directe de la masse volumique de l'air.

Le travail que nous effectuons actuellement consiste à déterminer, dans le vide et dans l'air, la différence de masse entre deux objets de 1 kg en acier inoxydable, nommés A3C et A3B et fournis par la PTB. Ces objets ont la même surface (194 cm^2) mais leur volume est différent ($V_{\text{A3C}} = 205\ \text{cm}^3$ et $V_{\text{A3B}} = 124\ \text{cm}^3$). Ces mesures pourraient permettre de déterminer expérimentalement la masse volumique de l'air et de la comparer à celle calculée à partir de la formule pour la détermination de la masse volumique de l'air humide (1981/91) adoptée par le CIPM.

Cinq comparaisons dans l'air (31 séries) et quatre comparaisons dans le vide (22 séries) ont été effectuées en alternance avec la balance FB2. La différence de masse mesurée entre les deux objets est de 96 455,7 µg dans le vide, avec une incertitude-type composée $u_c = 0{,}2$ µg, et de 96 454,2 µg dans l'air avec une incertitude-type composée $u_c = 8{,}5$ µg, après correction à l'aide de la formule pour la détermination de la masse volumique de l'air humide. Les résultats pour la différence de masse à la pression atmosphérique et dans le vide sont cohérents à mieux que 2 µg près, valeur largement plus faible que l'incertitude obtenue.

On a fait varier la masse volumique nominale de l'air à l'intérieur de l'enceinte de la balance de $1{,}10\ \mathrm{kg \cdot m^{-3}}$ à $1{,}20\ \mathrm{kg \cdot m^{-3}}$ pendant ces mesures. La différence maximale entre les valeurs de la masse volumique de l'air obtenues par chacune des méthodes, c'est-à-dire calculée à partir de la formule recommandée ou déterminée expérimentalement, est d'environ $4 \times 10^{-5}\ \mathrm{kg \cdot m^{-3}}$ et la reproductibilité de cette différence se situe dans la limite de $1{,}7 \times 10^{-5}\ \mathrm{kg \cdot m^{-3}}$.

Compte tenu de ces résultats spécifiques, on estime que l'incertitude sur la différence de masse entre un étalon de masse de 1 kg en platine iridié et un étalon de masse de 1 kg en acier inoxydable ne devrait pas excéder 1 µg si nous utilisons la méthode expérimentale pour déterminer la masse volumique de l'air. Il reste encore à déterminer la stabilité à long terme des objets.

L'étude se poursuivra à l'avenir avec les objets en acier inoxydable de 1 kg pour la détermination de la poussée de l'air, qui appartiennent au BIPM.

3.4 **Objets en silicium** (A. Picard)

Dans le cadre de l'aide apportée au Groupe de travail du CCM sur la constante d'Avogadro, nous avons commencé une étude sur la stabilité de la masse d'objets en silicium. Nous avons comparé avec la balance FB2 deux objets en silicium dont la masse est proche de 115 g mais ayant une surface différente. La différence de volume entre les deux objets est inférieure à 15 mm^3 afin de réduire la correction de poussée de l'air. Le but est de suivre l'évolution de la différence de masse entre les objets en fonction de l'humidité relative, de la pression atmosphérique et de la température de l'air. Les objets nous ont été fournis par le CSIRO-NML.

Pour étudier ces effets de surface, un des objets a la forme d'une lentille double d'une surface égale à environ 77 cm^2 ; l'autre est fait de deux lentilles simples en silicium assemblées par trois billes de silicium, si bien que sa surface totale est d’environ 120 cm^2.

Les résultats préliminaires, sur une période d’un mois et demi, montrent que la différence de masse entre les deux objets est reproductible à 0,3 µg près pour une variation de l’humidité relative de 46 % à 56 % et pour une variation de la pression atmosphérique de 98 500 Pa à 101 200 Pa. Comparativement aux objets en platine iridié, on parvient à stabiliser plus rapidement la différence de masse entre les deux objets après le nettoyage, mais la dispersion des résultats finaux est plus grande.

Cette étude se poursuivra dans l’air et sera complétée par l’évaluation de la reproductibilité de la différence de masse pour les mesures dans l’air et dans le vide.

3.5 Balance de torsion pour la mesure de *G* (S.J. Richman, T.J. Quinn, R.S. Davis, C.C. Speake*, assistés de J. Hostache)

En septembre 1998, la version « Mark II » de la balance de torsion pour la mesure de la constante gravitationnelle newtonienne, *G*, était achevée. Ce nouveau dispositif, conçu selon la même philosophie que la balance prototype, comprend une procédure d’étalonnage plus directe et permet d’obtenir un couple gravitationnel supérieur d’un ordre de grandeur. La balance a été utilisée en novembre 1998 pour des mesures préliminaires en mode de déflexion libre avec une incertitude-type relative de $1,7 \times 10^{-3}$, limitée par l’incertitude sur la mesure de l’angle de déflexion obtenue à l’aide d’un autocollimateur du commerce. Les caractéristiques du transducteur électrostatique ont été déterminées, un nouveau système d’auto-asservissement a été installé et la procédure de mesure en mode d’auto-asservissement a été rafinée.

Une optique à multiplication a été ajoutée pour obtenir une incertitude six fois inférieure dans les mesures en mode de déflexion libre (période d’oscillation constante, mesure de l’angle de rotation). Le chronométrage de la période fondamentale de la balance a été amélioré de façon à permettre la mise en œuvre de l’appareil en mode d’oscillations libres à période variable selon la configuration des masses. Ces mesures pourraient servir à déterminer *G* avec une incertitude-type relative d’environ 1×10^{-3} et donc à vérifier les mesures de *G* effectuées avec la balance auto-asservie. Un ensemble de masses source et de test montées de manière cinématique était prêt en mai 1999. Le montage

* Chercheur invité de l’université de Birmingham (Royaume-Uni).

cinématique assure la répétabilité du positionnement des masses et ainsi réduit la contribution à l'incertitude liée aux mesures dimensionnelles de qualité métrologique nécessaires à la détermination de *G*.

3.6 **Prototypes et étalons de 1 kg en platine iridié** (R.S. Davis, assisté de J. Coarasa et J. Hostache)

Le prototype n° 67, réservé à l'utilisation de la section des masses, a été transféré au CMI (Rép. tchèque) où il est devenu le prototype national de masse. La stabilité de ce prototype avait été mise en question suite aux résultats de la troisième vérification périodique des prototypes nationaux, mais cette hypothèse n'a pas été confirmée par les séries de mesures les plus récentes (Rapport du directeur, 1998, 74). Pour parer à toute éventualité, il a été décidé de remplacer le prototype n° 67 ultérieurement si nécessaire.

Le prototype n° 76 (IMGC, Italie) a été réétalonné. Il n'a pas été nettoyé ni lavé à cette occasion. Sa masse est de 1 kg + 0,161 mg avec une incertitude-type composée de 0,004 mg.

3.7 **Nouvelle balance hydrostatique** (R.S. Davis, assisté de J. Hostache)

Nous avons réalisé les premières mesures avec la nouvelle balance hydrostatique. Nous avons été aidés dans ce projet par notre collègue M. R. Spurný (SMU, Slovaquie). L'écart-type des résultats de comparaisons entre une masse imergée dans de l'eau distillée et une masse dans l'air est comparable à la répétabilité de la balance (20 µg). Ces résultats ont été obtenus avec un fil de suspension non traité pour réduire l'influence de la capillarité. Les résultats devraient être meilleurs avec un fil traité. Les mesures montrent que l'installation est très sensible aux courants d'air produits par le système de conditionnement d'air de la salle. C'est pourquoi une cabine a été construite pour protéger l'appareil. M. L.F. Vitouchkine a rejoint la section des masses en avril 1999 et a commencé à travailler sur ce projet.

3.8 **Mesure de la masse volumique de l'air par réfractométrie** (H. Fang)

L'indice de réfraction de l'air est étroitement lié à sa masse volumique. Cette dernière est un paramètre très important pour la métrologie des masses. Bien que la relation ne soit pas exactement établie, elle l'est suffisamment pour que, dans des domaines de pression, de température et d'humidité restreints, on puisse utiliser un réfractomètre pour contrôler les changements de la masse volumique de l'air. Les résultats peuvent être comparés à ceux calculés à partir de la formule pour la détermination de la masse volumique de l'air humide (1981/91) du CIPM et à ceux déduits de la différence de masse apparente entre deux objets.

Ce projet, qui a fait l'objet d'une collaboration avec le BNM-INM (France), a débuté en janvier 1999. Le réfractomètre est fondé sur un interféromètre double, constitué de deux interféromètres Perot-Fabry plans, ayant un miroir commun et des longueurs différentes. L'indice absolu de réfraction de l'air et ses fluctuations sont obtenus en temps réel par mesure d'une fréquence de battement optique. La méthode repose sur deux lasers à diode à bande spectrale étroite, mais accordables sur un large domaine de fréquence. La fréquence de l'une des diodes, asservie sur une composante hyperfine de la transition du rubidium, est utilisée comme référence. Cette étape de la construction est pour l'essentiel terminée et une comparaison avec le BNM-INM est prévue. La construction des composants restants progresse.

3.9 Publications, conférences et voyages : section des masses

3.9.1 Publications extérieures

1. Richman S.J., Giaime J.A., Newell D.B., Stebbins R.T., Bender P.L., Faller J.E., Multistage active vibration isolation system, *Rev. Sci. Instrum.*, 1998, **69**, 2531-2538.
2. Fang H., Juncar P., A new compact refractometer applied to measurements of air density fluctuations, *Rev. Sci. Instrum.*, 1999, **70**, 3160-3166.
3. Richman S.J., Quinn T.J., Speake C.C., Davis R.S., Preliminary determination of *G* using the BIPM torsion strip balance, *Meas. Sci. Technol.*, 1999, **10**, 460-467.
4. Speake C.C., Quinn T.J., Davis R.S., Richman S.J., Experiment and theory in anelasticity, *Meas. Sci. Technol.*, 1999, **10**, 430-434.
5. Fang H., Juncar P., A compact refractometer applied to measurements of the refractive index of air and its density fluctuations, *Proc. SPIE*, 1999, **3745**, 189-195.

3.9.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

R.S. Davis s'est rendu :

- au NPL, Teddington (Royaume-Uni), le 4 décembre 1998, pour assister à la dernière réunion en vue de l'organisation de la Conference on Advanced Mathematical and Computational Tools in Metrology 1999 (AMCTM 99) ; le 7 décembre 1998 pour assister à la réunion du Groupe de travail du CCQM sur l'analyse de gaz.
- au BNM-INM, Paris (France), le 9 décembre 1998, comme membre du jury pour la soutenance de thèse de Mlle H. Fang.
- au CMI, Brno (Rép. tchèque), du 17 au 20 mars 1999, pour donner des conseils sur la conservation et l'utilisation du prototype national du kilogramme. Note : ce voyage a été financé par la Commission européenne.
- à Oxford (Royaume-Uni), du 12 au 15 avril 1999, pour assister à AMCTM 99 et présenter un exposé en qualité d'invité intitulé « Water density measurements » au Special Interest Group on Data Fusion.
- à l'IMGC, Turin (Italie), du 24 au 28 septembre 1999, pour assister à une réunion du Groupe de travail du CCM sur la constante d'Avogadro, avec A. Picard.

A. Picard s'est rendu à l'UME, Istanbul (Turquie), du 16 au 19 février 1999, pour assister à la réunion des personnes chargées des relations dans le domaine des masses au sein d'EUROMET.

S.J. Richman s'est rendu :

- à Londres (Royaume-Uni), les 23 et 24 novembre 1998, pour la conférence en l'honneur du 200e anniversaire de Cavendish, avec R.S. Davis. Il y a présenté un exposé intitulé « A determination of *G* using the BIPM torsion balance » en qualité d'invité.
- aux Arcs, Bourg-Saint-Maurice (France), du 23 au 30 janvier 1999, pour les XXXIVe Rencontres de Moriond : Gravitational waves and experimental gravity. Il a été invité à y présenter un exposé intitulé « Recent laboratory determinations of *G* ».
- à Atlanta (États-Unis), du 21 au 26 mars 1999, pour la réunion annuelle de l'American Physical Society. Il y a donné un exposé intitulé « Progress on the determination of *G* with the BIPM torsion strip balance ».

H. Fang s'est rendue :

- au BNM-INM, Paris (France), le 11 mars 1999 et les 7 et 21 mai 1999, pour des discussions techniques avec M. P. Juncar.

- à Pultusk (Pologne), du 20 au 23 septembre 1999, pour une présentation intitulée « A compact refractometer applied to measurements of the refractive index of air and its density fluctuations » à la conférence Interferometry'99.

3.10 Activités liées au travail des Comités consultatifs

R.S. Davis est secrétaire exécutif du CCM et du CCQM.

3.11 Visiteurs de la section des masses

- M. J. Schwarz (JILA), le 5 novembre 1998.
- M. P. Juncar (BNM-INM), le 11 janvier 1999.
- M. Z. Zelenka (OMH), le 18 janvier 1999.
- M. Li Zhenmin (NIM), le 21 janvier 1999.
- M. I. Kríz (CMI), le 23 février 1999.
- M. T. Armstrong (MSL), le 20 avril 1999.
- M. M. Fitzgerald (MSL), le 10 mai 1999.
- M. L. Pendrill (SP), le 8 juin 1999.

3.12 Stagiaires

- M. L.O. Becerra (CENAM), du 19 au 30 octobre 1998 (pour observer les essais et l'étalonnage d'un étalon de masse de 1 kg en acier inoxydable).
- M. R. Spurný (SMU), du 19 avril au 7 mai 1999 (pour effectuer des essais avec un appareil pour la mesure de la masse volumique).
- M. C.C. Speake, du 28 juin au 27 août 1999 (pour participer à la mesure de la constante gravitationnelle).

4 TEMPS (C. THOMAS puis G. PETIT, par intérim)

4.1 Temps atomique international (TAI) et Temps universel coordonné (UTC)

Les échelles de temps de référence TAI et UTC ont été régulièrement établies et publiées chaque mois dans la *Circulaire T*. Les résultats définitifs de l'année 1998 sont disponibles depuis le 5 mars 1999 sous la forme de fichiers informatiques accessibles par le réseau Internet, sur le site du BIPM. Les volumes imprimés du *Rapport annuel de la section du temps du BIPM pour 1998* (volume 11) ont été distribués en avril 1999.

À la suite de la réunion des représentants des laboratoires qui contribuent au TAI et de la 14e session du CCTF qui s'est tenue au Bureau international en avril 1999, des modifications ont été mises en œuvre pour faciliter l'accès des utilisateurs aux données utilisées pour le calcul du TAI et aux résultats, pour rendre les méthodes de calcul plus transparentes et augmenter leur traçabilité.

4.2 Algorithmes pour les échelles de temps

Le travail de recherche sur les algorithmes utilisés pour établir les échelles de temps comprend des études dont le but est d'améliorer la stabilité à long terme de l'échelle de temps atomique libre (EAL) et l'exactitude du TAI.

4.2.1 Stabilité de l'EAL

Le remplacement d'horloges de conception ancienne par de nouvelles horloges du type HP 5071A se poursuit. Environ 75 % des horloges sont des horloges à césium du commerce de ce nouveau type et des masers à hydrogène auto-asservis actifs ; ensemble, ils contribuent pour 89 % du poids total et il en résulte une amélioration de la stabilité de l'EAL, qui est la première étape du calcul du TAI. Pour améliorer encore plus la stabilité de l'EAL, son algorithme a été révisé. Depuis le 1er janvier 1998, la méthode de pondération utilisée dans l'algorithme ALGOS a été modifiée par l'adoption d'un poids maximal relatif par horloge, poids dont la valeur a été fixée à l'origine à 0,7 %. L'intervalle de calcul du TAI a aussi été réduit de deux mois à un mois, de façon à ce que chaque *Circulaire T* mensuelle donne les résultats définitifs pour les échelles de temps de référence TAI et UTC.

La stabilité à moyen terme de l'EAL, exprimée au moyen de l'écart-type d'Allan, σ_y, est estimée à $0{,}6 \times 10^{-15}$ pour des durées moyennes de vingt à quarante jours, pendant la période de janvier 1997 à février 1999. La prédictabilité de l'UTC pour des durées moyennes d'un à deux mois s'en trouve améliorée ; c'est un caractère fondamental de l'échelle pour les institutions chargées de la dissémination des échelles de temps en temps réel.

Lors de la réunion des représentants des laboratoires qui contribuent au TAI, qui s'est tenue au BIPM le 19 avril 1999, le Groupe de travail sur le TAI a décidé de créer un groupe de travail sur les algorithmes pour étudier, mettre en œuvre et comparer les algorithmes pour les échelles de temps. Bien que l'objectif de ce groupe ne soit pas de proposer des modifications aux procédures actuellement utilisées pour produire le TAI, la section du temps sera très impliquée dans les activités de ce groupe.

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 du TAI et la seconde du SI telle qu'elle est produite, sur le géoïde en rotation, par les étalons primaires de fréquence. Depuis octobre 1998, six étalons primaires de fréquence ont délivré des mesures individuelles de la fréquence du TAI. Il s'agit de :

- NIST-7, qui est l'étalon primaire de fréquence à pompage optique mis au point au NIST, Boulder (Colorado, États-Unis). Durant la période considérée dans ce rapport, cet étalon a délivré trois mesures couvrant des périodes de trente jours, en octobre et décembre 1998, et en février 1999. L'incertitude-type relative de type B de NIST-7 déclarée par le NIST est de 1×10^{-14}.
- NRLM-4, qui est le nouvel étalon primaire de fréquence à pompage optique mis au point au NRLM, Tsukuba (Japon). Durant la période considérée dans ce rapport, cet étalon a délivré quatre mesures couvrant des périodes de dix jours en novembre et décembre 1998, et en janvier et février 1999. L'incertitude-type relative de type B de NRLM-4 déclarée par le NRLM est de $2{,}9 \times 10^{-14}$.
- PTB CS1, CS2 et CS3, qui sont des étalons primaires de fréquence classiques fonctionnant de manière continue, comme des horloges, à la PTB, Braunschweig (Allemagne). Durant la période considérée dans ce rapport (jusqu'à juillet 1999 pour CS1), ces étalons ont délivré des mesures

de fréquence en continu moyennées sur des périodes successives de un mois. Les incertitudes-type relatives de type B publiées sont respectivement égales à $0{,}7 \times 10^{-14}$, $1{,}5 \times 10^{-14}$ et $1{,}4 \times 10^{-14}$.

- LPTF-JPO, qui est l'étalon primaire de fréquence à pompage optique mis au point au BNM-LPTF, Paris (France). Durant la période considérée dans ce rapport, cet étalon a délivré deux mesures de fréquence couvrant une période de vingt jours en juin 1999 et une période de dix jours en juillet 1999. L'incertitude-type relative de type B de LPTF-JPO déclarée par le BNM-LPTF est de $6{,}3 \times 10^{-15}$.

Le traitement global des mesures individuelles conduit à des différences relatives mensuelles entre la durée de l'intervalle d'échelle du TAI et la seconde du SI sur le géoïde en rotation, allant de $-0{,}4 \times 10^{-14}$ à $+0{,}4 \times 10^{-14}$, avec une incertitude de $0{,}4 \times 10^{-14}$, depuis octobre 1998. Le processus mis en œuvre pour compenser l'écart consécutif à l'application uniforme de la correction pour le décalage de fréquence dû au rayonnement du corps noir, processus introduit en 1995 et arrivé à terme, a été abandonné ; la relation entre les fréquences des échelles de temps EAL et TAI est fixe depuis mars 1998, à l'exception d'un saut relatif de fréquence de 1×10^{-15} en mars 1999.

Le Groupe de travail du CCTF sur l'expression des incertitudes des étalons primaires de fréquence poursuit ses activités. Un rapport final a été présenté à la 14e session du CCTF en avril 1999, qui a conduit à l'adoption de deux recommandations par le CCTF. La section du temps est plus particulièrement concernée par la Recommandation S 3 (1999) sur l'utilisation des étalons de fréquence pour garantir l'exactitude du TAI, et l'on s'apprête à mettre en œuvre de nouvelles méthodes pour ce faire.

4.3 Liaisons horaires

Depuis de nombreuses années, la seule méthode de comparaison d'horloges utilisée pour le calcul du TAI (pour les liaisons horaires calculées au BIPM) est la méthode « classique » des vues simultanées des satellites du GPS utilisant des récepteurs à un seul canal et des mesures de code C/A. L'incertitude-type composée d'une comparaison de treize minutes entre des horloges distantes est d'environ 3 ns pour des mesures à l'échelle des continents et de 5 ns pour des mesures intercontinentales, à condition que les récepteurs du temps du GPS soient étalonnés de manière différentielle. La disponibilité de nouveaux récepteurs du commerce a stimulé l'intérêt pour étendre la méthode classique des vues simultanées aux observations effectuées à l'aide de récepteurs à canaux multiples, utilisant l'un ou l'autre code et un système mixte (GPS et

GLONASS), pour améliorer l'exactitude des comparaisons d'horloges. La section du temps du Bureau international s'intéresse aussi à d'autres méthodes de comparaison de temps et de fréquence, comme les mesures de phase et les comparaisons d'horloges par aller et retour sur des satellites géostationnaires.

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

i) Activités courantes

Le BIPM continue à produire, deux fois par an, des programmes internationaux de vues simultanées du GPS et du GLONASS. Le programme n° 31 du GPS et le programme n° 6 du GLONASS ont été implantés dans les récepteurs de temps le 1er octobre 1998 ; le programme n° 32 du GPS et le programme n° 7 du GLONASS ont été implantés le 30 mars 1999.

La collecte et le traitement des données brutes du GPS sont effectués régulièrement selon des procédés maintenant bien connus. Seules les vues simultanées strictes sont utilisées pour éliminer les effets liés à l'application de l'accès sélectif aux signaux des satellites. Le BIPM utilise un réseau international de liaisons par le GPS qui est constitué par des réseaux locaux en étoile à l'échelle des continents et deux liens à longue distance, entre le NIST et l'OP et entre le CRL et l'OP, dont les données sont corrigées à l'aide des mesures ionosphériques et des éphémérides précises des satellites produites après coup. Le BIPM effectue aussi la collecte et l'étude des données brutes du GPS et du GLONASS obtenues à l'aide de récepteurs à canaux multiples dans dix laboratoires de temps, mais ces données ne sont pas utilisées actuellement pour le calcul du TAI.

Le BIPM publie, dans sa *Circulaire T* mensuelle, une évaluation des différences de temps quotidiennes [*UTC – temps du GPS*] et [*UTC – temps du GLONASS*]. Ces différences sont obtenues en lissant les données du GPS, collectées à l'OP, et celles du GLONASS, collectées au NMi-VSL, d'une sélection de satellites à haute élévation. Les écarts-types journaliers caractéristiques du GPS et du GLONASS sont respectivement de l'ordre de 8 ns et 3 ns, les performances plus faibles du GPS résultant de la dégradation intentionnelle du signal par l'accès sélectif. L'incertitude-type composée sur les données quotidiennes du GLONASS n'est toutefois pas meilleure que quelques centaines de nanosecondes, comparée à 10 ns pour le GPS, car il n'existe pas de récepteurs du GLONASS étalonnés de manière absolue.

ii) Détermination des retards différentiels entre les récepteurs du GPS ou du GLONASS

Une part importante de nos activités courantes consiste en la vérification des retards différentiels entre les récepteurs du temps du GPS fonctionnant de manière continue dans les laboratoires qui participent au TAI. En juin 1997, nous avons débuté une série d'étalonnages différentiels d'équipements de réception du GPS entre l'OP et les laboratoires de temps européens équipés de stations pour les comparaisons horaires par aller et retour. Une quatrième campagne d'étalonnage s'est achevée récemment et une cinquième campagne est en préparation [3]. Les résultats de ces étalonnages successifs sont en accord avec les incertitudes estimées (quelques nanosecondes) pour la plupart des laboratoires en question. Dans certains cas, toutefois, nous avons observé des écarts plus grands.

Une autre série d'étalonnages différentiels entre des récepteurs du GPS et du GLONASS à canaux multiples, utilisant l'un ou l'autre code, a commencé en décembre 1998. Elle inclut six laboratoires en Europe, trois aux États-Unis, un laboratoire en Afrique du Sud, un laboratoire en Australie et un laboratoire au Japon.

iii) Normalisation des récepteurs du GPS et du GLONASS

Le personnel de la section du temps du BIPM participe activement aux activités du Sous-groupe de travail du CCTF sur la normalisation des comparaisons d'horloges utilisant le GPS et le GLONASS. Plusieurs propositions émises par ce sous-groupe ont pour origine certaines études menées au BIPM.

Les *Directives techniques*, agréées en 1993 par ce sous-groupe de travail, pour unifier les logiciels utilisés par les récepteurs horaires du GPS classiques, sont maintenant largement mises en œuvre (CGGTTS version 1). Le BIPM a joué un rôle clé dans l'adaptation des données du GPS au format normalisé pour les observations à l'aide de récepteurs utilisant les deux systèmes, les deux fréquences et l'un ou l'autre code. Ce format (CGGTTS version 2) est maintenant utilisé pour les récepteurs du commerce.

Le BIPM a aussi cherché comment réduire la sensibilité de certains types de récepteurs du GPS et du GLONASS, en service actuellement, aux variations de la température extérieure, et s'est équipé pour ce faire de trois antennes du commerce thermorégulées, du modèle TSA 100 de la société 3S Navigation. Leur utilisation avec les récepteurs 3S Navigation et Ashtech Z12T montre clairement une réduction des effets systématiques dans les comparaisons de temps et de fréquence. Des expériences utilisant des câbles peu sensibles aux variations de température ont aussi été réalisées avec succès [9, 10].

Le BIPM s'est aussi préoccupé du problème du « changement du numéro de semaine du GPS » qui a eu lieu le 22 août 1999 quand le numéro de semaine du GPS est passé de 1023 à 1024. Les fabricants de récepteurs horaires classiques ont distribué de nouvelles EPROMs pour remédier à ce problème de logiciel. Tous les récepteurs du BIPM ont été réactualisés, en partie grâce aux mises à jour fournies par le NIST. On a constaté des problèmes sur certains récepteurs, au BIPM et dans les laboratoires de temps, mais ils ont été résolus en quelques semaines. Le problème du passage à l'an 2000 avait aussi été résolu lors de la mise à jour du logiciel.

iv) Récepteurs à canaux multiples, utilisant l'un ou l'autre code et les deux systèmes

Plusieurs études ont été effectuées pour étendre la méthode classique de comparaison horaire par vues simultanées du GPS aux observations effectuées à l'aide de récepteurs du GPS et du GLONASS à canaux multiples. L'idée est de tirer profit de toutes les observations de chaque site pour calculer autant de vues simultanées que possible entre deux sites [4, 5, 7]. Le nombre de satellites du GPS et du GLONASS maintenant en orbite est tel que, pour des liaisons à courte distance (< 1000 km), il est possible d'obtenir cinq vues simultanées du GPS et trois du GLONASS par période de seize minutes. Le nombre des vues simultanées quotidiennes augmente ainsi d'un facteur 20 par rapport à la méthode classique, ce qui permet un gain en précision d'un facteur 4,5 environ dans les comparaisons d'horloges quotidiennes.

Le BIPM est actuellement équipé de quatre récepteurs horaires GPS/GLONASS ou GLONASS seul de la société 3S Navigation :

- un récepteur GLONASS à deux canaux, sur une seule fréquence, utilisant le code P ;
- un récepteur GPS/GLONASS à canaux multiples : douze canaux pour l'observation des signaux codés C/A du GPS et du GLONASS sur une seule fréquence, et deux canaux pour l'observation des signaux codés P du GLONASS sur deux fréquences (des récepteurs du même type sont en service dans certains laboratoires de temps, en particulier au NMi-VSL) ;
- deux récepteurs GPS/GLONASS à canaux multiples et utilisant l'un ou l'autre code : douze canaux, pour l'observation des signaux codés C/A du GPS et du GLONASS sur une seule fréquence, et huit canaux pour l'observation des signaux codés P du GLONASS sur deux fréquences.

Ces deux récepteurs à canaux multiples sont équipés d'antennes thermorégulées.

Une étude sur site, à partir de données codées P délivrées par des récepteurs du GLONASS à un seul canal, montre une réduction du bruit d'un facteur 5 par rapport aux résultats obtenus avec les récepteurs du GPS à un seul canal utilisant le code C/A [1, 4, 6]. La mise en œuvre de récepteurs du GLONASS à canaux multiples utilisant le code P devrait encore améliorer ce résultat [8].

Le BIPM étudie aussi l'emploi de récepteurs de poche bon marché du GPS à canaux multiples utilisant le code C/A : un logiciel capable de satisfaire les normes admises pour les comparaisons horaires est en préparation pour le récepteur Motorola Oncore à huit canaux [7].

Enfin, la section du temps a participé, dans le cadre d'un contrat avec le CNES, à l'évaluation technique d'une série de récepteurs (EURIDIS) conçus par le CNES pour le futur projet européen destiné à compléter le GPS.

v) Corrections ionosphériques estimées par l'IGS

Des études ont été effectuées sur l'utilisation des estimations des paramètres ionosphériques produits par l'IGS (International GPS Service) pour corriger les retards ionosphériques des récepteurs à une seule fréquence en service dans la plupart des laboratoires de temps. Ces études ont montré que les estimations de l'IGS présentent des avantages significatifs par rapport au modèle ionosphérique classique quant à la stabilité et à l'exactitude des liaisons à moyenne et longue distance. Ces estimations sont utilisées depuis juillet 1999 dans les calculs réguliers du TAI pour un certain nombre de liaisons à moyenne et longue distance pour lesquelles on utilisait avant uniquement le modèle ionosphérique classique, et pour les deux liaisons à longue distance (NIST-OP et CRL-OP). Le NIST, l'OP et le CRL disposent aussi de retards ionosphériques mesurés par des dispositifs à double fréquence, mais on préfère utiliser les estimations ionosphériques de l'IGS qui, bien que moins précises, sont plus exactes et disponibles régulièrement. Les retards ionosphériques mesurés sont stockés pour servir de sauvegarde.

4.3.2 Mesures de phase

Les comparaisons de temps et de fréquence utilisant le GPS et le GLONASS peuvent être effectuées avec des mesures de code, mais aussi avec des mesures de la phase des porteuses aux deux fréquences émises par ces systèmes. Cette technique, communément utilisée en géodésie pour le GPS, peut être adaptée aux besoins des comparaisons horaires : on espère obtenir une incertitude relative de 1×10^{-15} pour les comparaisons de fréquence moyennée sur un jour.

Un récepteur Ashtech Z12T a été acheté dans ce but ; il est en service au BIPM depuis décembre 1997. Une série d'études de deux récepteurs, placés côte à côte, a été effectuée en collaboration avec le BNM-LPTF, qui possède un récepteur du même type. Les premiers résultats sont les suivants :

- Dans la configuration d'une ligne à courte base (comparaison de deux récepteurs reliés à la même horloge, mais dont les antennes sont distantes de plusieurs mètres) le bruit observé est caractérisé par un écart-type de 3,4 ps pour des durées moyennes de 30 s. L'emploi d'antennes thermorégulées, de câbles à faible coefficient de température et de connecteurs de bonne qualité a réduit le bruit des mesures et permis d'obtenir un écart-type d'Allan modifié de 4×10^{-17} pour une durée moyenne de 60 000 s [9, 10, 11].
- Des comparaisons de fréquence ont été effectuées sur des distances de plusieurs dizaines à plusieurs milliers de kilomètres. Elles ont montré [12, 13] que les fréquences de deux masers à hydrogène à distance peuvent être comparées avec une incertitude relative de $1,5 \times 10^{-15}$ à 2×10^{-15} pour une durée moyenne d'un jour, ce qui est prometteur quant aux potentialités de cette technique pour les comparaisons des nouveaux étalons primaires de fréquence.
- Des expériences ont débuté pour étalonner les retards internes du récepteur Ashtech Z12T par comparaison à d'autres récepteurs du BIPM.

Ces études sont menées dans le cadre du projet pilote IGS/BIPM visant à étudier les comparaisons exactes de temps et de fréquence en utilisant les mesures de code et de phase du GPS, qui (après une première réunion générale au BIPM en juin 1998) a tenu une brève réunion à Reston (Virginie, États-Unis) pendant le 30e PTTI.

Les récepteurs 3S Navigation en service au BIPM délivrent des mesures de phase du GLONASS, et un logiciel peut être installé pour leur collecte automatisée. Grâce à ce dispositif, un récepteur 3S Navigation collecte des données pour l'International GLONASS Experiment, IGEX'98, organisée par l'AIG, l'IGS et l'ION, depuis le mois d'octobre 1998. L'objectif de ce projet est, entre autres, de fournir des éphémérides précises des satellites du GLONASS calculées après coup, comme cela est réalisé depuis plusieurs années pour les satellites du GPS.

4.3.3 Comparaisons horaires par aller et retour

Le Groupe de travail du CCTF sur les comparaisons d'horloges par aller et retour sur satellite s'est réuni pour la 6^{e} fois à San Fernando (Espagne), les 29 et 30 octobre 1998. Des réunions plus techniques des représentants des stations actives dans ce domaine ont eu lieu le 3 décembre 1998 à Reston (Virginie, États-Unis), à l'occasion du 30^{e} PTTI, et le 14 avril 1999 à Besançon (France), à l'occasion de la réunion commune EFTF/FCS. Les principaux points discutés lors de ces réunions étaient la comparaison des méthodes de liaison horaire par aller et retour et par vues simultanées du GPS, et la préparation à un fonctionnement de routine. Depuis mai 1998, le BIPM effectue la collecte régulière des données horaires par aller et retour de sept stations et il en a entrepris le traitement afin de comparer les horloges de certaines de ces stations. Un membre du personnel du BIPM assure le secrétariat du groupe de travail ; le BIPM participe aussi à l'étalonnage des liaisons horaires par aller et retour, en comparant les résultats à ceux obtenus par vues simultanées des satellites du GPS [2, 3]. En réponse aux discussions qui ont eu lieu lors de la 14^{e} session du CCTF, la section du temps du BIPM a décidé d'introduire dans le calcul du TAI les données des comparaisons d'horloges par aller et retour sur satellite entre le TUG et la PTB, à partir de la *Circulaire T* de juillet 1999.

4.4 Pulsars

Les pulsars-milliseconde peuvent être considérés comme des horloges stables, dont on peut traiter les données par un algorithme optimisé pour la stabilité [14]. La collaboration se poursuit avec différents groupes de radio-astronomes qui font des observations de pulsars et en analysent les résultats. La section du temps leur a fourni, en mars 1999, la dernière version de sa réalisation en temps différé du temps terrestre, TT(BIPM99).

Une nouvelle technique qui pourrait être utilisée dans les observatoires radioastronomiques pour obtenir des données de pulsars a été mise au point en collaboration avec le CNES. L'application de cette technique à la recherche de nouveaux pulsars a constitué le sujet de thèse de doctorat de B. Rougeaux [15], travail entrepris au BIPM en collaboration avec le CNES, l'Observatoire Midi-Pyrénées (OMP), Toulouse (France) et l'OP. L'efficacité du matériel et du logiciel constituant ce système a été validée par la détection de pulsars connus et un programme d'observations, couvrant un domaine limité du ciel, a débuté à Nançay (France). Le traitement des données de ces observations, qui a débuté au BIPM, se poursuivra à l'OMP, qui se charge de la suite de ce projet.

4.5 Références spatio-temporelles

Le Comité mixte BIPM/UAI sur les systèmes de référence spatio-temporels et la métrologie dans le cadre de la relativité générale, créé en 1997, et dont le président est G. Petit, poursuit ses activités. Un site Web a été créé, qui donne des informations générales sur ce Comité mixte et ses principales activités (http://www.bipm.fr/WG/CCTF/JCR).

Deux études ont été entreprises par le BIPM. La première concerne l'extension du cadre relativiste pour la réalisation du temps-coordonnée barycentrique. En 1991 l'UAI a défini plusieurs échelles de temps-coordonnée (y compris le temps-coordonnée barycentrique, TCB) ainsi que les transformations et paramètres qui les relient les unes aux autres. Les définitions de 1991 de l'UAI sont valables jusqu'aux termes d'ordre c^{-2} du développement post-Newtonien, mais peuvent entraîner des ambiguïtés si on les utilise à l'ordre c^{-4}. Les termes de cet ordre décrivent des effets qui peuvent atteindre plusieurs 10^{-16} en fréquence relative pour une horloge en fonctionnement dans le système solaire, et il faudra en tenir compte à l'avenir. Cela requiert l'adoption de nouvelles conventions, par exemple pour les jauges à utiliser. La seconde étude concerne la réalisation de temps-coordonnées géocentriques. Dans ce cas, il n'est pas nécessaire d'étendre la métrique mais des problèmes pratiques liés à la Terre doivent être pris en compte. Ils concernent principalement le traitement des effets des marées lorsqu'on combine des données (par exemple le modèle du géopotentiel, les coordonnées géométriques) d'origine différente pour déterminer la relation entre le temps propre d'une horloge et le temps-coordonnée. Il serait de plus souhaitable de changer la définition du temps terrestre pour supprimer la référence au géoïde, et éliminer ainsi l'incertitude associée à sa surface.

4.6 Autres études

En collaboration avec le BNM-LPTF, des scientifiques de la section du temps participent à des travaux d'évaluation sur l'utilisation éventuelle d'horloges très stables et très exactes dans l'espace pour la conservation internationale du temps, en particulier le TAI. Ces travaux concernent les horloges qui seront en service dans le cadre de l'expérience ACES (Atomic Clock Ensemble in Space) à bord de la station spatiale internationale en 2003. Dans un environnement de micro-gravité, des horloges refroidies par laser peuvent atteindre une incertitude relative de l'ordre de 10^{-16}, ce qui représente une amélioration d'au moins un ordre de grandeur par rapport aux étalons primaires classiques. Ces horloges présenteront donc un intérêt primordial pour établir l'exactitude du TAI. Une partie importante de ce travail concerne le calcul, au niveau d'exactitude requis, des corrections relativistes qui affectent les horloges elles-mêmes et les comparaisons entre les horloges situées dans l'espace et à terre.

Un autre domaine de recherche, qui fait l'objet d'une collaboration avec l'université Paris VI (Pierre et Marie Curie), concerne des interféromètres atomiques, et en particulier l'étude de certains effets systématiques quand ils sont utilisés pour des mesures gravimétriques [16]. Ces instruments sont fondés sur la transition hyperfine d'atomes de césium refroidis par laser lancés en mode fontaine, selon une technique identique à celle utilisée pour les horloges à fontaine atomique. Les progrès dans ces deux domaines sont donc étroitement liés.

4.7 Publications, conférences et voyages : section du temps

4.7.1 Publications extérieures

1. Azoubib J., Lewandowski W., A test of GLONASS Precise Code for high precision time transfer, *Proc. 30th PTTI*, 1998, 201-210.
2. Azoubib J., Kirchner D., Lewandowski W., Hetzel P., Klepczynski W., Matsakis D., Parker T., Ressler H., Soering A., de Jong G., Baumont F., Davis J., Two-way satellite time transfer using Intelsat 706 on a regular basis: status and data evaluation, *Proc. 30th PTTI*, 1998, 393-404.
3. Kirchner D., Ressler H., Hetzel P., Soering A., Lewandowski W., Calibration of three European TWSTFT stations using a portable station and comparison of TWSTF and GPS common-view measurements results, *Proc. 30th PTTI*, 1998, 365-376.
4. Lewandowski W., Azoubib J., GPS+GLONASS: Toward sub-nanosecond time transfer, *GPS World*, 1998, **9**, n° 11, 30-39.
5. Lewandowski W., Azoubib J., Klepczynski W.J., GPS: Primary Tool for Time Transfer, *IEEE Proc*., 1999, **27**, n° 1, 163-172.
6. Azoubib J., Lewandowski W., Nawrocki J., Matsakis D., Some tests of GLONASS precise-code time transfer, *Proc. 1999 Joint Meeting EFTF/ IEEE FCS*, 1999, 263-265.
7. Nawrocki J., Azoubib J., Lewandowski W., Multi-channel GPS time transfer and its application to the Polish atomic time scale, *Proc. 1999 Joint Meeting EFTF/IEEE FCS*, 1999, 190-193.

8. Azoubib J., Lewandowski W., A test of GLONASS P-Code Time Transfer, *Proc. ION-GPS*, 1998, 1729-1735.
9. Taris F., Uhrich P., Thomas C., Petit G., Jiang Z., Stability characterization of two multi-channel GPS receivers for accurate frequency transfer, *Journées 1998 Systèmes de référence spatio-temporels*, 1998, 267-268.
10. Thomas C., Accurate time and frequency transfer using GPS phase measurements, *Journées 1998 Systèmes de référence spatio-temporels*, 1999, 248-253.
11. Petit G., Thomas C., Jiang Z., Uhrich P., Taris F., Use of GPS Ashtech Z12T receivers for accurate time and frequency comparisons, *IEEE Trans. UFFC*, 1999, **46**, 4, 941-949.
12. Petit G., Jiang Z., Taris F., Uhrich P., Barillet R., Hamouda F., Processing strategies for accurate frequency comparison using GPS carrier phase, *Proc. 1999 Joint Meeting EFTF/IEEE FCS*, 1999, 235-238.
13. Taris F., Uhrich P., Petit G., Jiang Z., Barillet R., Hamouda F., Accurate frequency transfer: Progress in the implementation of the GPS carrier phase method at the BNM-LPTF, *Proc. 1999 Joint Meeting EFTF/IEEE FCS*, 1999, 239-242.
14. Petit G., The stability of atomic time scales versus millisecond pulsars, In *Pulsar timing, general relativity and the internal structure of neutron stars* (Arzoumanian Z., van der Hooft F., van den Heuvel E.P.J. eds), Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences, 1999, 3-12.
15. Rougeaux B., Une recherche de pulsars millisecondes à courte période et grande dispersion, thèse de doctorat, Université Paul Sabatier, 1999, 181 p.
16. Wolf P., Tourrenc P., Gravimetry using atom interferometers: Some systematic effects, *Phys. Lett. A*, 1999, **251**, 241-246.

4.7.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

J. Azoubib s’est rendu à Reston (Virginie, États-Unis), du 1er au 3 décembre 1998, pour la 30e réunion du PTTI et le forum sur la normalisation du GPS et du GLONASS organisé par le Sous-groupe de travail du CCTF sur la normalisation des comparaisons d’horloges utilisant le GPS et le GLONASS. Il a aussi participé à la réunion du projet pilote IGS/BIPM sur l’étude des comparaisons exactes de temps et de fréquences utilisant les mesures de phase et de code du GPS, et à une réunion des représentants des stations qui participent au Groupe de travail du CCTF sur les comparaisons d'horloges par aller et retour sur satellite.

J. Azoubib et W. Lewandowski se sont rendus à San Fernando (Espagne), les 29 et 30 octobre 1998, pour la 6^{e} réunion du Groupe de travail du CCTF sur les comparaisons d'horloges par aller et retour sur satellite.

Z. Jiang s'est rendu à Birmingham (Royaume-Uni), du 19 au 30 juillet 1999, pour présenter un poster à l'assemblée générale de l'UGGI intitulé « World-wide frequency and time comparison using GPS carrier phase ».

W. Lewandowski s'est rendu :

- à Reston (Virginie, États-Unis), du 1er au 3 décembre 1998, pour présider la session GPS/GLONASS II de la 30^{e} réunion du PTTI et pour une présentation intitulée « CGGTTS standard format Version 2.0 for GPS and GLONASS common-view multi-channel and multi-code observations » au forum sur la normalisation du GPS et du GLONASS organisé par le Groupe de travail du CCTF sur la normalisation des comparaisons d'horloges par le GPS et le GLONASS. Il a aussi participé à la réunion du projet pilote IGS/BIPM sur l'étude des comparaisons exactes de temps et de fréquences utilisant les mesures de phase et de code du GPS, et à une réunion des représentants des stations qui participent au Groupe de travail du CCTF sur les comparaisons d'horloges par aller et retour sur satellite.
- au GUM, Varsovie (Pologne), le 2 mars 1999, pour discuter de la coordination des laboratoires de temps de Pologne.
- à Alexandria (Virginie, États-Unis), du 15 au 18 mars 1999, pour présider le sous-comité sur le temps lors de la 33^{e} réunion du Civil GPS Service Interface Committee, et pour visiter l'US Coast Guard Navigation Center.
- à l'USNO, Washington DC (États-Unis), le 19 mars 1999, pour discuter des progrès récents du GPS et du GLONASS et des comparaisons d'horloges par aller et retour.
- à Besançon (France), du 12 au 16 avril 1999, pour la réunion commune du 13^{e} EFTF et du FCS 1999, pour une réunion des représentants des stations qui participent au Groupe de travail du CCTF sur les comparaisons d'horloges par aller et retour sur satellite et une réunion d'EUROMET.
- à Nashville (Tennessee, États-Unis), du 12 au 17 septembre 1999, pour présider le sous-comité sur le temps de la 34^{e} réunion du Civil GPS Service Interface Committee, pour présider la séance sur le temps à l'atelier IGEX et présenter un exposé intitulé « Recent progress in time metrology », et pour

présenter un exposé au 12e ION-GPS Technical Meeting, intitulé « Continental and intercontinental tests of GLONASS P-Code time transfer ».

G. Petit s'est rendu :

- à Münich (Allemagne), du 4 au 6 octobre 1998, pour le symposium IGGOS de l'AIG, où il était invité à présenter un exposé intitulé « Importance of a common framework for the realization of space-time reference systems ».
- à Nançay (France), les 15 et 16 octobre 1998, les 7 et 8 novembre 1998 et le 25 janvier 1999, pour l'observation de pulsars.
- à Reston (Virginie, États-Unis), du 1er au 3 décembre 1998, pour présider la session II sur la phase du signal de porteuse du GPS à la réunion du 30e PTTI et y présenter un exposé intitulé « Accurate frequency comparison using GPS carrier phase: recent results », et pour co-présider la réunion du projet pilote IGS/BIPM sur l'étude des comparaisons exactes de temps et de fréquences utilisant les mesures de phase et de code du GPS.
- à Toulouse (France), le 11 décembre 1998, pour visiter le CNES et l'OMP.
- à Paris (France), le 11 mars 1999, pour une réunion du conseil scientifique de l'IERS.
- à Vernon (France), le 1er avril 1999, pour des discussions sur l'étalonnage de récepteurs GPS.
- à Besançon (France), du 13 au 15 avril 1999, pour présenter un exposé à la réunion commune du 13e EFTF et du FCS 1999 intitulé « Processing strategies for accurate frequency comparison using GPS carrier phase ».
- à Ottawa (Canada), le 16 août 1999, pour visiter le laboratoire de temps du NRC.
- à Toronto (Canada), du 16 au 20 août 1999, pour présenter un poster à l'assemblée générale de l'URSI intitulé « A survey for fast and dispersed millisecond pulsars ».
- à Dresde (Allemagne), du 13 au 15 septembre 1999, pour présenter un exposé aux Journées 1999 Systèmes de référence spatio-temporels intitulé « A possible extension of the IAU'1991 framework for the realization of space-time reference systems », et pour assister à une réunion du Comité mixte BIPM/IAU sur les systèmes de référence spatio-temporels et la métrologie dans le cadre de la relativité générale.

P. Wolf s'est rendu :

- à Paris (France), les 9 et 10 février 1999, pour un atelier de l'ESA intitulé « Relativistic aspects of ACES » au BNM-LPTF.
- à Besançon (France), du 14 au 16 avril 1999, pour la réunion commune du 13^{e} EFTF et du FCS 1999.
- à Bad Honnef (Allemagne), du 23 au 27 août 1999, pour le 220^{e} WE-Heraeus-Seminar « Gyros, Clocks, and Interferometers: Testing General Relativity in Space ».

4.8 Activités en liaison avec des organisations extérieures

W. Lewandowski représente le BIPM au Civil GPS Service Interface Committee et préside le sous-comité sur le temps.

G. Petit participe aux travaux de l'UAI, il est vice-président de la Commission 31 sur le temps, président de son groupe de travail sur le temps des pulsars et président du Comité mixte BIPM/UAI sur les systèmes de référence spatio-temporels et la métrologie dans le cadre de la relativité générale. Il est co-président du projet pilote IGS/BIPM sur l'étude des comparaisons exactes de temps et de fréquences utilisant les mesures de phase et de code du GPS. Il est membre du conseil scientifique du GRGS (France) et du bureau central de l'IERS (France). Il est membre du Comité national français de géodésie et géophysique.

P. Wolf est membre du Comité mixte BIPM/UAI sur les systèmes de référence spatio-temporels et la métrologie dans le cadre de la relativité générale, membre du Groupe de travail 1 du Comité commun au BIPM, à la CEI, l'ISO, l'IFCC, l'OIML, l'UICPA et l'UIPPA sur les guides en métrologie, et il participe aux activités du GREX (Groupe de recherche du CNRS : gravitation et expériences).

4.9 Activités liées au travail des Comités consultatifs

J. Azoubib est membre du Groupe de travail du CCTF sur les comparaisons d'horloges par aller et retour sur satellite et du sous-groupe de travail du CCTF sur la normalisation des comparaisons d'horloges utilisant le GPS et le GLONASS.

W. Lewandowski est secrétaire du Groupe de travail du CCTF sur les comparaisons d'horloges par aller et retour sur satellite et du sous-groupe de travail du CCTF sur la normalisation des comparaisons d'horloges utilisant le GPS et le GLONASS.

G. Petit est secrétaire exécutif du CCTF et membre du Groupe de travail du CCTF sur le TAI et du sous-groupe de travail du CCTF sur la normalisation des comparaisons d'horloges utilisant le GPS et le GLONASS.

4.10 Visiteurs de la section du temps

- MM. H. Secrétan et M. Brunet (CNES), les 8 et 9 octobre 1998, et les 21 et 22 décembre 1998.
- M. E. Davoust (OMP), le 19 octobre 1998 et le 6 mai 1999.
- M. K. Okamoto (CRL), le 9 novembre 1998.
- Mme Ye Shuhua (SO), le 7 décembre 1998.
- MM. P. Uhrich et F. Taris (BNM-LPTF), M. A. Caigneault (LRBA), le 9 décembre 1998.
- MM. A. Job et J. Legenne (ESA), M. Brunet (CNES), J-M. Piéplu (Alcatel), le 12 janvier 1999.
- M. M. Imae (CRL), le 21 janvier 1999.
- Mme V. Molina-Lopez (CENAM), le 23 avril 1999.
- Mme E.F. Arias (ONBA), le 5 mai 1999.
- MM. C. Salomon (ENS), L. Blanchet (OP), P. Teyssandier (UPMC), le 11 mai 1999.
- M. P. Uhrich (BNM-LPTF), le 28 septembre 1999.
- MM. A. Dumurgier et J. Buquet (LRBA), le 30 septembre 1999.

4.11 Stagiaires et étudiants

- M. J. Nawrocki (AOS), du 9 mars au 30 avril, du 30 août au 10 septembre et du 27 septembre au 10 octobre 1999, pour travailler sur les liaisons horaires.
- Mlle B. Rougeaux, étudiante en thèse de doctorat, université de Toulouse (France), jusqu'au 11 janvier 1999, pour travailler sur les pulsars.
- Mme Z. Wang (CSAO), du 12 juillet au 10 août 1999, pour des travaux sur les échelles de temps et les liaisons horaires.

5 ÉLECTRICITÉ (T.J. WITT)

5.1 Potentiel électrique : effet Josephson (D. Reymann)

5.1.1 Comparaisons sur place

En mai 1999, nous avons envoyé notre étalon de tension de 10 V à réseau de jonctions de Josephson au SMU (Slovaquie) pour une comparaison sur place. Pour obtenir la meilleure précision possible dans ces comparaisons directes, nous devons utiliser un nanovoltmètre sensible comme détecteur de zéro. Pour une comparaison de 10 V, il faut que les tensions de sortie des deux réseaux soient égales à quelques microvolts près pendant les mesures. Ce type de fonctionnement n'est pas prévu pour les étalons de tension à réseau de jonctions de Josephson du commerce utilisés par le SMU. Nous ne pouvons pas effectuer de comparaisons sur place qui soient excellentes avec ces dispositifs s'ils ne reproduisent pas de manière répétitive la même tension en valeur absolue avec les deux polarités, tout au long des mesures. Puisque le dispositif du SMU ne permet pas de le faire, nous n'avons pas pu effectuer la comparaison directe de la manière habituelle, mais nous avons dû utiliser le dispositif du SMU pour mesurer la tension du réseau du BIPM comme s'il s'agissait d'un étalon de tension de Zener. La précision est donc limitée par celle du nanovoltmètre numérique du SMU qui mesure des tensions jusqu'à environ 5 mV. Le résultat préliminaire de la comparaison, exprimé sous la forme d'une différence entre les valeurs attribuées par les deux laboratoires à un étalon de 10 V et de son incertitude-type composée de type A et de type B, u_c, est

$$U_{\mathrm{SMU}} - U_{\mathrm{BIPM}} = +0{,}014\ \mu\mathrm{V},\ \ u_c = 0{,}011\ \mu\mathrm{V}.$$

Comme de coutume lors des comparaisons sur place, nous avons aussi comparé les résultats des étalonnages d'un étalon de tension de Zener au moyen des deux étalons de tension à réseau de jonctions de Josephson. Le résultat préliminaire de ces mesures est le suivant :

$$U_{\mathrm{SMU}} - U_{\mathrm{BIPM}} = +0{,}062\ \mu\mathrm{V},\ \ u_c = 0{,}036\ \mu\mathrm{V}.$$

Lors de ces deux mesures, le dispositif du SMU a produit occasionnellement des données erronées nettement incohérentes, avec des écarts de quelques microvolts par rapport aux valeurs prévues. Ces données ont été rejetées mais leur origine n'a pas été élucidée. Des données erronées de ce type peuvent passer inaperçues dans les étalonnages de routine de diodes de Zener et dans les comparaisons bilatérales au moyen de diodes de Zener. C'est un autre exemple qui permet de démontrer pourquoi nous croyons que les étalons de tension à réseau de jonctions de Josephson ne sont pas intrinsèquement exacts et qu'il est nécessaire de les comparer à d'autres dispositifs du même type. Le meilleur moyen de le faire est une comparaison directe sur place, semblable à celles effectuées par le BIPM.

Il vaut la peine de noter que l'incertitude aléatoire sur les comparaisons sur place d'étalons de Zener est environ d'un ordre de grandeur plus petite que celle des comparaisons bilatérales mentionnées à la section 5.4, qui utilisent deux étalons voyageurs à diode de Zener. La comparaison sur place présente une incertitude plus petite parce que les mesures sont faites alternativement avec chaque réseau de manière à suivre les variations à moyen terme des diodes de Zener pendant des périodes de plusieurs minutes. De plus, les comparaisons sur place constituent un moyen sensible pour identifier et rejeter des données erronées le cas échéant.

5.1.2 Projet 429 d'EUROMET : comparaison d'étalons de 10 V

Le BIPM a participé deux fois au projet 429 d'EUROMET qui est une comparaison d'étalons de 10 V appartenant à une vingtaine de laboratoires nationaux de métrologie, au moyen de quatre étalons voyageurs de Zener. Avant de commencer la comparaison, le BIPM a étudié les caractéristiques des dépendances en température et en presssion des diodes de Zener. Le BIPM jouera aussi un rôle particulier puisqu'il aidera à évaluer la stabilité des diodes de Zener en les mesurant quatre fois pendant la comparaison : en novembre 1998, en mars 1999, en septembre 1999 et en mai 2000. Les trois premières séries de mesures sont terminées.

5.2 Résistance électrique et impédance

5.2.1 Comparaisons sur place d'étalons de résistance à effet Hall quantique (F. Delahaye, T.J. Witt)

Cette année, nous avons transporté notre étalon de résistance à effet Hall quantique au NIST (Gaithersburg, États-Unis) et nous l'y avons comparé sur place. Cette comparaison est la cinquième de la série définie dans le programme de travail du BIPM visant à vérifier la cohérence internationale des étalons primaires de résistance par comparaison des étalons à effet Hall quantique des laboratoires nationaux à ceux du BIPM. L'incertitude sur ces comparaisons est bien inférieure à la limite imposée par le manque de stabilité des étalons voyageurs de résistance classiques. Nous avons suivi la procédure adoptée pour les quatre comparaisons précédentes. L'appareillage portable complet à effet Hall quantique, ainsi que trois étalons de résistance de 100 Ω, 1 Ω et 10 000 Ω, ont été transportés au NIST. Du 14 au 22 avril 1999, nous avons effectué des mesures de l'étalon de 100 Ω en fonction de la valeur recommandée pour la constante de von Klitzing, R_{K-90}, à l'aide des étalons à effet Hall quantique des deux laboratoires. Des mesures similaires de rapports 10 000 Ω/100 Ω et 100 Ω/1 Ω ont aussi été effectuées avec les instruments des deux laboratoires. Les résultats provisoires montrent que les mesures du NIST et du BIPM s'accordent de très près. Les mesures de l'étalon de 100 Ω en fonction de R_{K-90} sont en accord à environ 12×10^{-10} en valeur relative, avec une incertitude-type composée $u_c = 20 \times 10^{-10}$. La différence relative entre les mesures du rapport 10 000 Ω/100 Ω est d'environ 59×10^{-10} avec $u_c = 55 \times 10^{-10}$, alors qu'elle est de 38×10^{-10} pour le rapport 100 Ω/1 Ω avec $u_c = 35 \times 10^{-10}$.

5.2.2 Remise en état du pont de résistance en courant continu du BIPM fondé sur un comparateur cryogénique de courant (F. Delahaye et A. Zarka, assistés de D. Bournaud)

Cette année nous avons commencé la remise en état du comparateur cryogénique de courant du BIPM qui est utilisé depuis plus de dix ans pour l'étalonnage des étalons de résistance de 1 Ω en courant continu. Une partie critique de ce pont de résistance est le magnétomètre à SQUID utilisé pour détecter l'équilibre des forces magnétomotrices dans le comparateur de courant. Nous avons acquis et testé avec succès quatre nouvelles sondes à SQUID radiofréquence. L'une remplacera celle du comparateur actuel et une autre sera utilisée pour un nouveau comparateur. Pour réduire le niveau de bruit électromagnétique détecté au niveau du SQUID et venant de l'électronique du pont, nous avons construit une liaison par fibre optique pour contrôler à distance les trois différents relais utilisés dans le circuit du pont. Cette liaison comprend un émetteur à trois canaux contrôlé par ordinateur et un récepteur fonctionnant sur batterie pour piloter les relais.

5.2.3 Programmes d'acquisition des données pour les mesures de la résistance de Hall quantifiée en courant alternatif (A. Zarka)

Plusieurs programmes informatiques sont en préparation pour automatiser les mesures de la résistance de Hall quantifiée en courant alternatif. Le programme précédent d'acquisition des données était adapté à la mesure et au traitement aussi bien de la composante en phase que de la composante en quadrature de l'impédance de Hall. Un nouveau programme a été mis au point pour contrôler l'alimentation de notre aimant de 11 T au moyen de la sortie RS232 d'un ordinateur portable fonctionnant sous le système d'exploitation Linux. Un troisième programme sert à contrôler l'alimentation de notre aimant de 15 T au moyen d'un bus IEEE-488. Un programme d'essai a été écrit à cet effet pour vérifier et comprendre le fonctionnement de l'interface IEEE-488 de l'alimentation.

5.2.4 Mesures de la résistance de Hall quantifiée en courant alternatif (F. Delahaye, B.P. Kibble* et A. Zarka)

Nous avons poursuivi cette année nos recherches sur les mesures de la résistance de Hall quantifiée à des fréquences de l'ordre du kilohertz et à des températures allant de 4,2 K à 0,4 K. Une résistance de référence en courant alternatif et en courant continu est utilisée pour évaluer la dépendance en fréquence de la résistance de Hall quantifiée. Nous utilisons pour cela une résistance coaxiale spéciale de valeur nominale 1290,6 Ω dont la valeur ne devrait pas varier de plus de 1×10^{-8}, en valeur relative, quand on passe du courant continu à un courant alternatif à 1,6 kHz. Deux nouveaux échantillons, offerts par le BNM-LCIE et la PTB, ont été vérifiés. Les résultats sont semblables à ceux obtenus précédemment avec d'autres échantillons : la résistance de Hall quantifiée augmente légèrement en passant du courant continu au courant alternatif à 1,6 kHz. Pour les mesures à 0,4 K la variation relative de la résistance est, dans le meilleur des cas, de plusieurs 10^{-8} par kilohertz. Pour tous les échantillons vérifiés à une fréquence fixe et dans un bain à une température inférieure à 1 K, nous avons observé une légère augmentation de la résistance de Hall quantifiée en fonction du courant. Une variation de courant de 10 μA entraîne un changement de la résistance de Hall quantifiée de plusieurs 10^{-8} en valeur relative. Nous pensons que cet effet est principalement lié à la température : les expériences réalisées montrent que,

* Chercheur invité du NPL (Royaume-Uni).

pour des courants supérieurs à 10 µA, la température effective des électrons dans un gaz d'électrons à deux dimensions dépasse 1 K et est donc supérieure à la température du bain. Pour essayer de réduire cet effet, nous préparons des mesures où le courant sera injecté dans l'échantillon à travers quatre contacts différents. Nous pensons ainsi réduire la température effective des électrons pour une valeur donnée du courant total. Un autre sujet d'étude est la comparaison des résultats obtenus en utilisant deux techniques de connection différentes pour les mesures en courant alternatif : la connection série multiple et la connection classique à quatre paires de bornes. Nous n'avons observé aucune différence entre les mesures, effectuées avec les deux techniques, de la dépendance en fonction du courant de la résistance de Hall quantifiée. Cependant, il est plus difficile de tirer des conclusions quant à sa dépendance linéaire en fréquence, car on observe une dépendance quadratique en fréquence lorsque l'on utilise la technique de connection à quatre paires de bornes. Cet effet est assez important et il doit être soustrait des données brutes avant d'examiner la dépendance linéaire. Toutefois, une analyse théorique des deux techniques de mesure, fondée sur les conditions qui doivent être réalisées à chaque paire de bornes du dispositif de Hall, suggère fortement qu'elles doivent être équivalentes.

5.2.5 Mesures de capacité (F. Delahaye)

Nous avons participé l'année dernière à une comparaison d'EUROMET d'étalons de capacité de 10 pF et de 100 pF et à la comparaison clé CCEM-K4 du CCEM (autrefois dénommée CCE 92-1) d'étalons de capacité de 10 pF. Nos valeurs sont fondées sur la chaîne d'étalonnage, récemment achevée, qui permet la mesure d'étalons de capacité en fonction de la valeur recommandée de la constante de von Klitzing, $R_{\text{K-90}}$ (Rapport du directeur, 1998, 98-100). Les résultats de ces deux comparaisons sont maintenant disponibles. Pour la comparaison d'EUROMET d'étalons de 10 pF et de 100 pF, les résultats du BIPM à 1592 Hz sont les suivants :

– étalons de 10 pF :

$$C_{\text{BIPM}} = C_{\text{Ref}}\ (1 + 22 \times 10^{-9}),\ \ u_{\text{c}} = 41 \times 10^{-9}$$

où C_{BIPM} est la valeur de capacité mesurée au BIPM, C_{Ref} la valeur de référence provisoire de la comparaison d'EUROMET, en attendant la valeur de référence de la comparaison clé CCEM-K4, et u_{c} l'incertitude-type relative obtenue en faisant la somme quadratique de l'incertitude relative sur la valeur de référence

(18×10^{-9}) et de l'incertitude relative sur les mesures du BIPM en fonction de $R_{K\text{-}90}$ (37×10^{-9}).

– étalons de 100 pF :

$$C_{BIPM} = C_{Ref}\ (1 - 3 \times 10^{-9}),\ \ u_c = 42 \times 10^{-9}$$

où u_c est obtenue en faisant la somme quadratique de l'incertitude relative sur la valeur de référence (19×10^{-9}) et de l'incertitude relative sur les mesures du BIPM en fonction de $R_{K\text{-}90}$ (37×10^{-9}).

Pour la comparaison d'étalons de 10 pF CCEM-K4, le résultat du BIPM, à 1592 Hz, est le suivant :

$$C_{BIPM} = C_{Ref}\ (1 - 20 \times 10^{-9}),\ \ u_c = 56 \times 10^{-9}$$

où C_{BIPM} est la valeur de capacité mesurée au BIPM, $C_{Ref.}$ la valeur de référence provisoire de la comparaison clé CCEM-K4, et u_c l'incertitude-type relative obtenue en faisant la somme quadratique de l'incertitude relative sur la valeur de référence (40×10^{-9}) et de l'incertitude relative sur les mesures du BIPM en fonction de $R_{K\text{-}90}$ (40×10^{-9}).

Ces résultats confirment la validité de nos estimations des incertitudes sur les mesures des étalons de capacité de 10 pF et de 100 pF en fonction de $R_{K\text{-}90}$. Nous avons donc commencé des étalonnages d'étalons de capacité pour les laboratoires nationaux. Nous avons étalonné cette année au total six étalons de capacité pour deux laboratoires nationaux différents.

5.3 Détermination de la stabilité des étalons de tension (T.J. Witt)

Des diodes de Zener sont utilisées comme étalons voyageurs dans les comparaisons bilatérales classiques d'étalons de tension. En déterminant soigneusement la dépendance de leur tension de sortie en fonction de paramètres tels que la pression et la température, nous avons pu corriger certaines erreurs et donc réduire les incertitudes jusqu'à observer la stabilité intrinsèque des diodes de Zener. Nous allons donc maintenant nous intéresser à la description de celle-ci.

5.3.1 Mesure des coefficients de température et de pression des étalons de tension à diodes de Zener (T.J. Witt, assisté de R. Chayramy)

Nous poursuivons l'étude des effets de la température et de la pression sur les étalons de tension fondés sur des diodes de Zener du type de ceux utilisés pour les étalonnages, ou comme étalons voyageurs. La deuxième enceinte, construite à l'atelier du BIPM, pour la mesure des coefficients de température et de pression, est maintenant équipée d'un interrupteur rotatif piloté par ordinateur qui permet de renverser la polarité des tensions comparées et de mesurer les coefficients pour les tensions de sortie 1,018 V et 10 V, en une seule fois. Les programmes informatiques dédiés à ces mesures sont en cours d'élaboration.

5.3.2 Détermination du bruit et de la stabilité des étalons de tension (T.J. Witt)

Depuis 1994 nous nous sommes servis de la technique de l'analyse spectrale pour étudier le bruit et la stabilité des étalons de tension, y compris des diodes de Zener, et pour la détermination du bruit des nanovoltmètres. Pour ce faire, les données expérimentales sont acquises sous la forme de séries temporelles de mesures de tension espacées régulièrement dans le temps. En plus de la technique de l'analyse spectrale, nous traitons maintenant ces données à l'aide de la variance d'Allan, de graphiques de corrélation (mesure de rang i en fonction de la mesure de rang $i - 1$), de la fonction d'autocorrélation ou de modèles de moyenne mobile autorégressive. Les résultats obtenus par ces différentes méthodes sont cohérents entre eux et chacune des méthodes permet de révéler des corrélations entre les valeurs expérimentales. Il est important de savoir si les données sont corrélées puisqu'il n'est plus alors justifié de caractériser leur dispersion au moyen de l'expression classique de l'écart-type de la moyenne, c'est-à-dire l'écart-type divisé par la racine carrée du nombre de mesures. Nous proposons d'utiliser la variance d'Allan pour les résultats corrélés, une technique couramment mise en œuvre pour la métrologie du temps et des fréquences et qui est un moyen plus réaliste pour caractériser la dispersion des résultats.

La figure 1 montre des tracés logarithmiques de l'écart-type d'Allan, en fonction du temps τ, calculé avec 8192 mesures de tension effectuées toutes les 0,61 s au moyen d'un voltmètre numérique. La courbe inférieure (triangles blancs) correspond aux mesures réalisées avec l'entrée du voltmètre court-circuitée et montre que le bruit est blanc. La courbe supérieure (triangles noirs) correspond à la différence entre une pile étalon et la tension de sortie d'une diode de Zener à 1,018 V. En utilisant le même voltmètre pour comparer deux piles, le bruit affectant la mesure de tension est dix fois moindre si l'on remplace une des piles par une diode de Zener. Le fait que la variance d'Allan tend à devenir constante après 10 s indique que le bruit dû à la diode de Zener peut être décrit comme un bruit en $1/f$. Les encadrés de la figure 1 montrent que les histogrammes des valeurs ressemblent à des distributions normales dans les deux cas. Cela montre qu'un histogramme des observations de type gaussien n'implique pas l'absence de corrélations et ne justifie pas de caractériser la dispersion des résultats au moyen de l'écart-type de la moyenne selon la procédure habituelle. On peut appliquer les mêmes techniques aux résultats de mesure d'un grand nombre de grandeurs physiques.

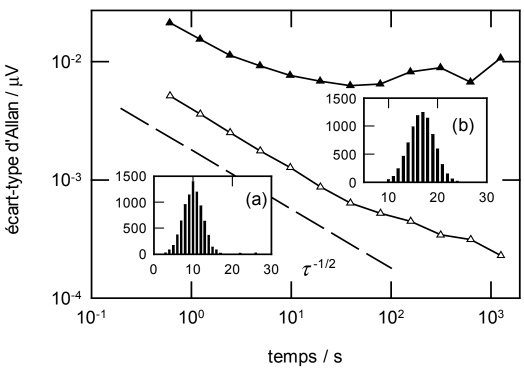

Figure 1. Tracés logarithmiques d'écarts-types d'Allan : bruit quasi-blanc pour un voltmètre dont l'entrée est court-circuitée (triangles blancs), et bruit en $1/f$ pour une diode de Zener (triangles noirs). La ligne en pointillé indique la pente en $\tau^{-1/2}$, typique du bruit blanc. L'histogramme (a) montre la distribution des valeurs observées avec le voltmètre dont l'entrée est court-circuitée, et l'histogramme (b) montre la distribution pour la diode de Zener.

5.4 Comparaisons bilatérales d'étalons électriques au BIPM

(T.J. Witt et D. Reymann, assistés de D. Avrons et D. Bournaud)

Le BIPM organise en continu des comparaisons d'étalons de tension et de résistance avec les laboratoires nationaux de métrologie intéressés. Les participants comprennent les laboratoires nationaux de métrologie qui utilisent leurs propres étalons de tension à effet Josephson et de résistance à effet Hall quantique, et les laboratoires nationaux de métrologie qui ont mesuré les valeurs et le comportement dans le temps de leurs étalons classiques par rapport aux étalons quantiques du BIPM lors d'étalonnages et de comparaisons antérieures. Les participants peuvent, au choix, utiliser leurs étalons à diode de Zener, leurs étalons voyageurs de 1 Ω ou de 10 kΩ, ou ceux du BIPM. L'utilisation des étalons du BIPM peut améliorer grandement les résultats des comparaisons bilatérales ; c'est en particulier le cas pour les étalons à diode de

Zener du BIPM dont nous avons mesuré les coefficients de pression et de température et auxquels nous avons appliqué les corrections nécessaires. Non corrigés, ces effets peuvent entraîner des erreurs relatives qui peuvent atteindre 5×10^{-7}.

Depuis octobre 1998, nous avons achevé les comparaisons bilatérales mentionnées aux tableaux ci-dessous. Ils montrent que ces comparaisons sont utiles pour maintenir des étalons de référence exacts à plusieurs 10^{-7} près en valeur relative dans les laboratoires, tels que les laboratoires nationaux de métrologie, qui ne possèdent pas d'étalons à effet Josephson ou à effet Hall quantique. Ces comparaisons permettent de confirmer à plusieurs 10^{-8} près en valeur relative l'équivalence entre les étalons de tension et de résistance des laboratoires nationaux de métrologie qui ne possèdent pas d'étalons quantiques. Une comparaison bilatérale d'étalons de tension est en cours.

Étalons de tension : $\Delta U = U_{LAB} - U_{BIPM}$. La lettre I dans la colonne de droite indique que le laboratoire national de métrologie conserve un étalon de tension de Josephson indépendant.

Laboratoire	Date	1,018 V		10 V		Étalon de référence
		ΔU/µV	u_c /µV	ΔU/µV	u_c /µV	
SMU (Bratislava)	1998-08-20	–0,07	0,11	–0,31	0,32	I
NIST (Gaithersburg)	1998-11-16			0,26	0,14	I
NIST (Boulder)	1998-11-16			0,22	0,17	I
VNIIM (Saint-Pétersbourg)	1998-12-16	–0,00	0,03			I
OFMET (Wabern)	1998-04-18			–0,14	0,14	I

La comparaison de diodes de Zener entre le BIPM et le NIST assure une liaison récente et robuste (c'est-à-dire redondante) avec les comparaisons d'étalons à effet Josephson effectuées au moyen de diodes de Zener entre les laboratoires nationaux de métrologie d'Amérique du nord appartenant au SIM/NORAMET. De même, les comparaisons effectuées avec le SMU et le VNIIM assurent la liaison avec les laboratoires nationaux de métrologie membres de COOMET. Notre participation au projet 429 d'EUROMET (section 5.1.2) assure la liaison avec cette organisation régionale de métrologie. Enfin, la comparaison effectuée l'année passée avec le PSB (Singapour) (Rapport du directeur, 1998, 102) assure la liaison entre le BIPM et la comparaison d'étalons de tension effectuée par l'APMP. Ce réseau de comparaisons est un exemple concret des liaisons que l'on peut établir au niveau international entre les organisations régionales de métrologie et leurs laboratoires nationaux de métrologie.

La comparaison trilatérale avec le NIST (Gaithersburg) et le NIST (Boulder) nous a permis de vérifier les techniques que nous utilisons pour comparer les étalons à effet Josephson au moyen d'étalons voyageurs à diode de Zener et, en particulier, le bien-fondé des corrections apportées aux diodes de Zener pour les effets de température et de pression fondées sur les études que nous avons effectuées au BIPM. En raison de la basse pression ambiante à Boulder, cette comparaison a fourni un très bon exemple des corrections de pression, qui atteignaient presque 4 μV. Cette comparaison nous a aussi permis d'évaluer la stabilité des étalons voyageurs expédiés en fret à l'étranger. Outre les résultats mentionnés ci-dessus, nous avons mesuré la différence entre les valeurs attribuées par les laboratoires de Gaithersburg et de Boulder, NIST(G) et NIST(B) respectivement, à un étalon de 10 V et l'incertitude-type composée de type A et de type B, u_c,

$$U_{\mathrm{NIST(G)}} - U_{\mathrm{NIST(B)}} = +0{,}04\ \mu\mathrm{V},\quad u_c = 0{,}18\ \mu\mathrm{V}.$$

La comparaison avec l'OFMET était aussi très intéressante car elle nécessitait des corrections de la tension pouvant atteindre 1,6 μV pour tenir compte des différences de pression.

Une comparaison bilatérale d'étalons de résistance a débuté en octobre 1998. Les résultats figurent au tableau suivant :

Étalons de résistance : $\Delta R = R_{\mathrm{LAB}} - R_{\mathrm{BIPM}}$. La lettre P dans la colonne de droite indique que le laboratoire national de métrologie détermine la valeur de ses étalons de résistance par comparaison avec ceux du BIPM et par prévision de leur évolution en fonction du temps.

Laboratoire	Date	10 kΩ		Étalon de référence
		ΔR/cΩ	u_c / cΩ	
INPL (Jérusalem)	1998-12-20	–0,83	0,51	P

5.5 **Étalonnages** (T.J. Witt, F. Delahaye et D. Reymann, assistés de D. Avrons, D. Bournaud et R. Chayramy)

Nous avons effectué cette année les étalonnages de routine suivants : étalons à diode de Zener à 1,018 V et à 10 V pour l'Égypte et la République tchèque ; résistances de 1 Ω pour l'Afrique du Sud, la Bulgarie, l'Égypte, Israël, la Pologne et la Turquie ; résistances de 10 kΩ pour la Bulgarie, le Danemark, Israël, la Pologne, la République tchèque et la Turquie ; étalons de capacité de 10 pF pour la Belgique et la République tchèque et étalons de capacité de 100 pF pour la Belgique.

Une étude des coefficients de pression et de température d'un étalon à diode de Zener a été effectuée pour la Slovaquie.

5.6 Publications, conférences et voyages : section d'électricité

5.6.1 Publications extérieures

1. Reymann D., Witt T.J., Balmisa J., Castejón P., Pérez S., Comparison of the Josephson voltage standards of the CEM and the BIPM, *Metrologia,* 1999, **36**, 59-62.
2. Reymann D., Witt T.J., Eklund G., Pajander H., Nilsson H., Behr R., Funck T., Müller F., A three-way, on-site comparison of the 10 V Josephson voltage standards of the PTB, the SP and the BIPM, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1999, **48**, 257-261.
3. Witt T.J., Pressure coefficients of some Zener diode-based electronic voltage standards, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1999, **48**, 329-332.

5.6.2 Rapports BIPM

4. Avrons D., Liu L.X., Reymann D., Witt T.J., Bilateral comparison of 10 V standards between the PSB and the BIPM, April 1998, *Rapport BIPM*-98/13, 1998, 6 p.
5. Armstrong K., Avrons D., Power O., Reymann D., Witt T.J., Bilateral comparison of 10 V and 1.018 V standards between the NML (Forbairt) and the BIPM, April 1998, *Rapport BIPM*-98/14, 1998, 11 p.
6. Armstrong K., Bournaud D., Power O., Witt T.J., Bilateral comparison of 10 kΩ standards between the NML (Forbairt) and the BIPM, April 1998, *Rapport BIPM*-98/15, 1998, 5 p.

7. Armstrong K., Bournaud D., Power O., Witt T.J., Bilateral comparison of 1 Ω standards between the NML (Forbairt) and the BIPM, April 1998, *Rapport BIPM*-98/16, 1998, 6 p.
8. Bournaud D., Chrobok P., Witt T.J., Bilateral comparison of 1 Ω resistance standards between the CMI, Prague, Czech Republic, and the BIPM, June 1998, *Rapport BIPM*-98/17, 1998, 3 p.
9. Avrons D., Reymann D., Vrabček P., Witt T.J., Bilateral comparison of 10 V and 1.018 V standards between the SMU and the BIPM, May through October 1998, *Rapport BIPM*-99/1, 1999, 7 p.
10. Avrons D., Katkov A., Krzhimovsky V., Reymann D., Witt T.J., Bilateral comparison of 1.018 V standards between the VNIIM and the BIPM, November 1998 through January 1999, *Rapport BIPM*-99/2, 1998, 6 p.
11. Bournaud D., Lepek A., Papperno I., Strajeru R., Witt T.J., Bilateral comparison of 1 Ω and 10 kΩ resistance standards between the INPL and the BIPM, December 1998, *Rapport BIPM*-99/6, 1999, 4 p.
12. Witt T.J., Reymann D., Tang Y., Hamilton C.A., Bilateral comparison of 10 V standards between the NIST, Gaithersburg, the NIST, Boulder and the BIPM, October 1998 to January 1999, *Rapport BIPM*-99/7, 1999, 13 p.

5.6.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

T.J. Witt s'est rendu :

- à la PTB, Braunschweig (Allemagne), les 21 et 22 octobre 1998, pour une réunion des personnes chargées des relations dans le domaine de l'électricité au sein d'EUROMET.
- à l'IEN, Turin (Italie), le 23 octobre 1998 et le 4 mars 1999, pour des réunions du conseil scientifique de l'IEN.
- à Venise (Italie), du 23 au 27 mai 1998, pour l'Instrumentation and Measurement Technology Conference (IMTC'99) et une réunion de l'IEEE Measurement Systems Modernization Project. Il y a fait un exposé intitulé « Key comparisons of national measurement standards » (voir *Proc. 16th IEEE Instrum. Meas. Technol. Conference*, IEEE Catalog Number 99CH36309, 1999, 768-772).
- à Oxford (Royaume-Uni), du 11 au 14 avril 1999, pour participer à l'International Workshop on Advanced Mathematical and Computational Tools in Metrology (AMCTM 99). Il y a fait un exposé intitulé « Testing for correlations in measurements with the Allan variance ».

T.J. Witt et D. Reymann se sont rendus au SMU, Bratislava (Slovaquie), du 11 au 14 mai 1999, pour une comparaison sur place d'étalons de Josephson de 10 V ; T.J. Witt y a fait un exposé intitulé « BIPM comparisons of voltage standards: on-site comparisons of Josephson standards and bilateral comparisons using conventional travelling standards ».

T.J. Witt, F. Delahaye et A. Zarka ont assisté à l'atelier d'EUROMET sur les ponts en courant alternatif et les condensateurs calculables au BNM-LCIE, Fontenay-aux-Roses (France), les 25 et 26 novembre 1998. F. Delahaye y a présenté un exposé intitulé « Ac bridges at the BIPM ».

F. Delahaye et T.J. Witt ont visité le NIST, Gaithersburg (États-Unis), du 13 au 23 avril 1999 (F. Delahaye) et du 19 au 23 avril 1999 (T.J. Witt) pour une comparaison sur place d'étalons à effet Hall quantique.

F. Delahaye, D. Reymann et A. Zarka se sont rendus au Justervesenet (Oslo, Norvège), les 14 et 15 juin 1999, pour une réunion d'EUROMET sur les étalons à effet Hall quantique et les étalons de tension à réseau de jonctions de Josephson.

5.7 Activités en liaison avec des organisations extérieures

T.J. Witt est membre du Conseil scientifique de l'IEN. Il est membre du comité exécutif de la CPEM et membre de l'IEEE measurement systems modernization project. Il est expert auprès du service d'accréditation du Royaume-Uni.

F. Delahaye est membre du Groupe de travail de la CEI sur les concepts généraux en électrotechnique. Il est aussi membre du Comité commun pour les guides en métrologie.

T.J. Witt, F. Delahaye et D. Reymann sont membres du comité technique de la CPEM'2000.

5.8 Activités liées au travail des Comités consultatifs

T.J. Witt est secrétaire exécutif du CCEM, membre du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés et participe aux réunions du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences.

5.9 Visiteurs de la section d'électricité

- M. B. van Oostron (CSIR), le 30 octobre 1998.
- M. P. Vrabček (SMU), le 2 novembre 1998.

- M. L. Sozen (UME), le 9 novembre 1998.
- MM. P. Vrabček (SMU) et A. Shenar (INPL), le 12 novembre 1998.
- MM. S. W. Chua (PSB) et A. Satrapinski (VTT), le 24 novembre 1998.
- MM. B. Kibble et J. Williams (NPL), A.-M. Jeffery (NIST), G. Gûlmez et E. Turhan (UME), Y. Nakamura et Y. Sakamoto (ETL), le 27 novembre 1998.
- M. A. Satrapinski (VTT), le 30 novembre 1998.
- MM. F. Piquemal, L. Saury, Y. Dewilde et W. Poirier (BNM-LCIE), le 27 janvier 1999.
- Mmes D. Sochocka et E. Dudek (GUM), le 27 avril 1999.
- M. B. Kibble (NPL), du 1er mai au 30 juin 1999.
- M. R. Elmquist (NIST), les 20 et 21 mai 1999.
- Mme P. Aladjem (National Centre for Metrology, Sofia, Bulgarie), le 3 juin 1999.
- Mmes M. Keller et A. Eichenberger (NIST), le 8 juin 1999.
- M. Y. Tang (NIST), le 11 juin 1999.
- MM. A. Sebela et P. Chrobok (CMI), le 23 juin 1999.

6 RADIOMÉTRIE, PHOTOMÉTRIE, THERMOMÉTRIE ET MANOMÉTRIE (R. KÖHLER)

6.1 Radiométrie (R. Köhler, R. Goebel, M. Stock)

Une série supplémentaire de mesures, la quatrième, a été réalisée après l'achèvement de la comparaison de radiomètres cryogéniques effectuée à la demande de la 13e session du CCPR en 1994 et dont le BIPM était le laboratoire pilote. Cette quatrième série de mesures était aussi fondée sur la circulation de récepteurs de transfert construits et étudiés au BIPM. Quatre laboratoires y ont pris part : le laboratoire de thermométrie de la PTB (Allemagne) et l'IEN (Italie) étaient de nouveaux participants, le DFM (Danemark) et le NIST (États-Unis) avaient déjà participé aux mesures précédentes.

Le résultat global de toutes les mesures confirme l'équivalence des différents types de radiomètres cryogéniques compte tenu de leur incertitude étendue. La plupart des résultats se situent dans une limite de 3×10^{-4} en valeur relative, ce qui confirme les comparaisons précédentes, directes et indirectes.

Un dispositif de mesure des ouvertures a été installé et vérifié. La méthode absolue mise au point à l'origine à l'HUT (Finlande) a été adoptée par le BIPM. Quatre ouvertures étalonnées, usinées à l'outil au diamant et achetées il y a plusieurs années au NPL, ont été mesurées avec le nouveau dispositif ; les résultats de mesure des ouvertures sont en accord avec ceux obtenus lors des étalonnages au NPL à plusieurs 10^{-4} près en valeur relative. Les résultats sont présentés au tableau suivant :

	aire/mm^2		
référence de l'ouverture	étalonnage au NPL	étalonnage au BIPM	différence relative
n° 13	28,398	28,396	-0,007 %
n° 14	28,313	28,314	0,004 %
n° 16	50,388	50,399	0,022 %
n° 17	49,870	49,868	-0,004 %

L'incertitude sur cette nouvelle technique n'a pas encore été estimée, elle devrait être d'environ 0,01 % à 0,02 %. Le nettoyage des ouvertures avant les mesures est d'une importance cruciale. Des mesures relatives ont aussi été effectuées en comparant des ouvertures dont l'aire était inconnue à d'autres ouvertures dont l'aire était connue ; les résultats sont en accord avec ceux obtenus par la méthode absolue. Nous étudions actuellement l'influence des imperfections des bords des ouvertures sur la mesure de leur aire. Il est envisagé d'utiliser ce nouveau dispositif pour la comparaison supplémentaire d'aires d'ouverture du CCPR. Les résultats des mesures exactes d'aire d'ouverture contribueront aussi aux activités en photométrie au BIPM.

Nous installons actuellement un laboratoire destiné aux mesures de sensibilité spectrale dans le proche infrarouge. Il pourrait aussi servir aux mesures d'éclairement énergétique spectral et de luminance énergétique. Ces activités s'effectuent en deux étapes :

- Nous étudions avec soin dans le visible des récepteurs en silicium équipés de filtres interférentiels à bande étroite. Ils servent ensuite à déterminer avec exactitude la température d'un corps noir par thermométrie absolue à rayonnement.
- Des récepteurs InGaAs équipés de filtres interférentiels à bande étroite, dont les caractéristiques sont connues, sont ensuite étalonnés pour la sensibilité spectrale en utilisant la loi de Planck et la température déterminée lors de la première étape.

Un corps noir à caloduc à sodium a été conçu et construit par une société commerciale selon les instructions du BIPM. Il peut fonctionner jusqu'à des températures de 950 °C. Des mesures de l'uniformité de la luminance énergétique et de la stabilité de la température sont en cours. L'étude des radiomètres à filtre qui seront utilisés progresse bien.

La comparaison clé CCPR-K2.b de sensibilité spectrale dans le visible, dont le laboratoire pilote est le BIPM, est en préparation. Les récepteurs sont montés et leur étude est en cours.

6.2 **Photométrie** (R. Köhler, R. Goebel, M. Stock, assistés de C. Garreau)

Le Groupe de travail du CCPR sur les comparaisons clés s'est réuni à plusieurs occasions afin de proposer au CCPR une méthode de calcul des valeurs de référence pour les comparaisons clés CCPR-K3 et CCPR-K4. Cette proposition a été approuvée par le CCPR.

Les mesures effectuées pour déterminer la sensibilité lumineuse des photomètres du BIPM ont été répétées pour réaliser la candela au BIPM, comme cela est décrit dans le rapport de l'an passé. Nous envisageons de répéter ces mesures régulièrement pour évaluer leur stabilité à long terme.

Nous avons rencontré des difficultés lors de la nouvelle réalisation du lumen au moyen d'une sphère intégrante, en raison du coefficient de température très important de la sphère. Bien que l'adjonction d'une technique d'asservissement en courant alternatif puisse permettre, peut-être, d'utiliser la sphère du BIPM pour cet usage, il a été décidé de la repeindre avec une peinture moins sensible aux variations de température. De nouvelles mesures ont ensuite été effectuées avec succès. Comme pour la candela, il est envisagé de répéter ces mesures de façon régulière pour fonder la réalisation du lumen au BIPM sur cette méthode quand la stabilité à long terme sera évaluée.

Nous avons transporté quatre lampes de flux lumineux et deux photomètres pour une comparaison bilatérale au NIST, où ils ont été comparés aux étalons de ce laboratoire. La différence relative de sensibilité des photomètres est la suivante :

$$R_{\mathrm{BIPM}} - R_{\mathrm{NIST}} = 0{,}4\ \%$$

où R_{NIST} et R_{BIPM} représentent les étalonnages de ces photomètres au NIST et au BIPM, respectivement. L'incertitude-type composée de la comparaison, u_{c}, est estimée égale à 0,3 %.

Lors de la comparaison clé de la même grandeur, la différence mesurée était de :

$$R_{\mathrm{BIPM}} - R_{\mathrm{NIST}} = 0{,}0\ \%$$

avec une incertitude-type composée $u_{\mathrm{c}} = 0{,}3$ %.

Pendant la comparaison bilatérale, la différence relative sur l'étalonnage des lampes de flux lumineux était la suivante :

$$\Phi_{\mathrm{BIPM}} - \Phi_{\mathrm{NIST}} = -0{,}3\ \%$$

avec une incertitude-type composée $u_{\mathrm{c}} = 0{,}6$ %.

Les résultats des étalonnages des lampes au BIPM pour cette comparaison bilatérale ont été obtenus au moyen de la nouvelle méthode utilisant la sphère intégrante.

Lors de la comparaison clé de flux lumineux, la différence relative obtenue était égale à $\Phi_{\mathrm{BIPM}} - \Phi_{\mathrm{NIST}} = 0{,}5$ %, avec une incertitude-type composée $u_{\mathrm{c}} = 0{,}6$ %. La valeur de référence pour le flux lumineux utilisée par le BIPM au moment de cette comparaison était la valeur de la moyenne internationale obtenue lors de la dernière comparaison internationale de flux lumineux en 1985, et conservée à l'aide d'un groupe de lampes.

La différence relative entre le lumen conservé au moyen de ce groupe de lampes et la nouvelle réalisation absolue est de 0,7 %, valeur en accord avec les résultats mentionnés ci-dessus.

6.3 **Manométrie** (M. Stock, assisté de R. Pello)

Le BIPM a effectué des mesures dans le cadre de la comparaison pilote du CCM de mesures de moyennes pressions. Le manobaromètre n'est pas utilisable pour le moment, suite aux travaux d'enlèvement du comparateur photoélectrique et interférentiel situé dans la même salle et qui appartenait à la section des longueurs.

6.4 **Thermométrie** (R. Pello)

Dans le domaine de la thermométrie, la cellule au gallium que nous avons achetée l'an passé, pour remplacer celle qui est instable, a été comparée à une autre cellule au gallium. La nouvelle cellule s'est avérée beaucoup plus stable que la précédente.

Le BIPM participe aussi à une sous-comparaison de la comparaison clé CCT-K3 qui est actuellement en cours.

6.5 **Travaux d'étalonnage** (R. Pello, C. Garreau)

Dans le domaine de la photométrie, des lampes ont été étalonnées pour l'Autriche, le Brésil, la Bulgarie et la Suède. Des jauges à pression ont été étalonnées pour quatre autres sections du BIPM ; les étalonnages de ce type nous sont demandés à peu près une fois par mois. Nous avons aussi étalonné des thermomètres pour différentes sections du BIPM.

6.6 **Informatique** (L. Le Mée, F. Lesueur)

La deuxième version du serveur Internet du BIPM est maintenant ouverte au public et est fréquemment consultée. De nouveaux services ont été ajoutés, comme une librairie électronique où il est possible d'acheter les publications du BIPM. Un nouveau serveur adapté au réseau a été acheté et installé ; il sera utilisé pour la base de données du BIPM sur les comparaisons clés.

6.7 Publications, conférences et voyages : section de radiométrie, photométrie, thermométrie et manométrie

6.7.1 Publication extérieure

Stock M., Pello R., Improved measurement accuracy and uncertainty budget of the BIPM primary standard manobarometer, *Metrologia*, 1999, **36**, 149-153.

6.7.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

R. Köhler s'est rendu :

- au NIST, Gaithersburg (États-Unis), du 14 au 18 décembre 1998, pour une comparaison de lampes de flux lumineux et de photomètres et pour collaborer à la base de données du BIPM sur les comparaisons clés.
- à Paris (France), les 19 et 20 janvier 1999, pour la réunion du BIPM sur les comparaisons clés où il a fait un exposé sur les comparaisons dans les domaines de la radiométrie et de la photométrie.
- au NPL, Teddington (Royaume-Uni), le 19 février 1999, pour une réunion du Groupe de travail du CCPR sur les comparaisons clés.
- à l'UME, Istanbul (Turquie), du 8 au 10 mars 1999, pour une réunion des personnes chargées des relations dans le domaine de la thermométrie au sein d'EUROMET.
- au NMi, Delft (Pays-Bas), les 12 et 13 avril 1999, pour une réunion des personnes chargées des relations dans le domaine de la photométrie et de la radiométrie au sein d'EUROMET.
- au SMU, Bratislava (Slovaquie), les 26 et 27 avril 1999, pour une réunion du Groupe de travail 3 du CCT.
- au NMi, Delft (Pays-Bas), du 1er au 4 mars 1999, pour assister à Tempmeko et aux réunions des Groupes de travail 3 et 4 du CCT et du Groupe de travail du CCT sur les mesures d'humidité.
- à Varsovie (Pologne), du 24 au 30 juin 1999, pour la 24e réunion de la CIE.
- à Budapest (Hongrie), du 29 septembre au 2 octobre 1999, pour le symposium « 75 years of CIE photometry ».

R. Köhler et M. Stock se sont rendus :

- à la PTB, Braunschweig (Allemagne), du 9 au 11 novembre 1998, pour le 2e Workshop of UV Network.
- à BESSY-2, Berlin (Allemagne), le 29 mars 1999, pour l'inauguration du laboratoire de la PTB sur le site de BESSY-2.
- à la PTB, Berlin (Allemagne), le 30 mars 1999, pour le 3e symposium Helmholtz.

M. Stock s'est rendu :

- à Turin (Italie), du 3 au 5 mai 1999, pour la 3e conférence du CCM sur la métrologie des pressions.

- à l'IEN et à l'IMGC, Turin (Italie), le 6 mai 1999, pour visiter les laboratoires et discuter d'une éventuelle comparaison bilatérale de radiomètres cryogéniques entre l'IEN et le BIPM.

6.8 Activités liées au travail des Comités consultatifs

R. Köhler est secrétaire exécutif du CCT et du CCPR, membre du Groupe de travail commun CCT/CCPR sur la mesure des hautes températures, secrétaire du Groupe de travail du CCPR sur les comparaisons clés et membre du Groupe de travail 3 du CCT.

6.9 Activités en liaison avec les organisations internationales

R. Köhler assure la liaison entre le CCPR et les divisions 1 et 2 de la CIE. Il est membre des comités techniques suivants de la division 2 de la CIE : TC2-37 (photomètres), TC2-43 (incertitudes) et TC2-29 (linéarité). Il est aussi chargé de suivre l'évolution de la mise en pratique des unités photométriques dans le cadre de la commission R2-22 de la division 2 de la CIE.

6.10 Visiteurs de la section de radiométrie, photométrie, thermométrie et manométrie

- M. J.-C. Legras (BNM-LNE), le 8 avril 1999.
- M. A. El-Din A. Elwan (NIS), le 8 avril 1999.
- M. L. Hruby (EZU), le 21 avril 1999.
- Mme A. Valeria de Freitas Silva (INMETRO), le 18 mai 1999.
- M. L. Liedquist (SP), le 25 mai 1999.

6.11 Étudiant

- M. C. Arrachart (étudiant, université de Jussieu, Paris), du 1er mars au 1er septembre 1999.

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

7.1 Rayons x et γ (P.J. Allisy-Roberts, D.T. Burns, assistés de P. Roger)

7.1.1 Facteurs de correction pour les chambres étalons à paroi d'air

On a utilisé le programme de calcul de Monte Carlo EGS4 pour calculer les facteurs de correction pour la perte d'électrons et pour la diffusion des photons à appliquer aux chambres étalons à paroi d'air, pour des qualités de faisceau allant de 10 kV à 300 kV. Les valeurs des facteurs de correction ont été obtenues pour plus de trente étalons nationaux et pour les spectres de référence du CCRI utilisés pour les comparaisons, à l'aide d'une méthode utilisant une géométrie simplifiée pour décrire les étalons. Dans la plupart des cas, les résultats sont en bon accord (typiquement à 0,06 % près) avec les valeurs généralement utilisées. Toutefois, pour les chambres les plus petites, la correction pour la perte d'électrons pour la qualité de faisceau de 50 kV(a) était sous-estimée de 0,3 %, l'incertitude sur cette différence étant de 0,15 %. Les résultats ont été présentés à la réunion de la Section I du CCRI en mai 1999. Les facteurs de correction monoénergétiques seront transmis aux laboratoires nationaux afin qu'ils puissent en déduire les facteurs de correction pour des qualités de faisceau autres que les qualités de référence du CCRI.

7.1.2 Étalons et équipements pour la dosimétrie

Une nouvelle série de chambres d'ionisation en graphite devrait compléter les étalons de rayonnement γ actuels. On a fait varier plusieurs paramètres intervenant dans la conception de ces chambres, et mesuré leurs effets, avant de les construire. Un nouveau système de mesure du courant fondé sur des électromètres Keithley a remplacé les électromètres Cary, qui devenaient difficiles à maintenir en état de fonctionnement. Les deux systèmes sont en accord à 0,01 % près.

On attend l'accord des autorités françaises pour le transport au BIPM de la source de ^{60}Co commandée en 1997 et qui doit remplacer l'ancienne. Des recherches sont en cours pour remplacer les tubes à rayons x actuels et les générateurs, qui datent des années 1960. Un nouveau système de sécurité, compatible avec les recommandations récentes sur l'utilisation des rayonnements ionisants, a été conçu.

7.1.3 Mise au point d'un nouvel étalon de dose absorbée

Le calorimètre en graphite mis au point par l'IRA-OFMET (Suisse) et maintenant conservé au BIPM est utilisé pour mettre au point un nouvel étalon primaire de dose absorbée dans l'eau pour le rayonnement du ^{60}Co, les rayons x aux hautes énergies et les électrons. La première étape consiste à mettre à jour le système d'acquisition des données et à réduire l'encombrement global de cet étalon pour le rendre transportable dans les laboratoires nationaux.

7.1.4 Comparaisons au BIPM

Quatre comparaisons de kerma dans l'air ont été effectuées dans le domaine des rayons x aux basses énergies, avec l'ENEA (Italie), l'OFMET (Suisse), la PTB (Allemagne) et le VNIIM (Féd. de Russie). Tous les résultats sont en accord à mieux que 1,5 u_c, à l'exception de ceux du VNIIM aux qualités de faisceau les plus basses, ce qui semble indiquer que la correction pour la diffusion des photons au VNIIM a été surestimée. Cinq comparaisons de kerma dans l'air dans le domaine des rayons x aux moyennes énergies ont été effectuées avec l'ENEA, le NRC (Canada), l'OMH (Hongrie), la PTB et le VNIIM. Les résultats sont aussi en accord à 1,5 u_c, sauf ceux de la comparaison avec le NRC qui montrent une différence non expliquée atteignant 3 u_c.

Des comparaisons de kerma dans l'air ont été faites pour le rayonnement du ^{137}Cs avec l'ENEA et pour celui du ^{60}Co avec le BARC (Inde) et le NRC. Un rapport décrivant la procédure d'évaluation des degrés d'équivalence déduits des comparaisons de kerma dans l'air pour le rayonnement du ^{60}Co a été discuté lors de la réunion de la Section I du CCRI ; il sera utilisé pour alimenter la base de données du BIPM sur les comparaisons clés. Des comparaisons de dose absorbée dans l'eau pour le rayonnement du ^{60}Co ont été effectuées avec le NRC et l'université de Gand (Belgique).

Le BIPM a organisé et participé à une comparaison supplémentaire d'étalons de dose absorbée dans l'eau pour le rayonnement du ^{60}Co à des valeurs de dose élevées (jusqu'à 30 kGy). Des irradiations ont été effectuées par l'AIEA, le BIPM, l'ENEA, le NIM (Chine), le NIST (États-Unis), le NPL (Royaume-Uni) et la PTB en septembre 1998, au moyen des dosimètres à alanine du NIST et du NPL utilisés comme instruments de transfert. Les résultats, qui montrent un accord global à 1 u_c, ont été présentés à la réunion de la Section I du CCRI, qui a décidé d'en soumettre les résultats à *Radiation Physics and Chemistry* pour publication.

Quatre chambres de transfert choisies en vue du projet de comparaison de dose absorbée aux hautes énergies sont mesurées régulièrement dans le faisceau de ^{60}Co du BIPM ; leur comportement est cohérent. Des comparaisons devraient avoir lieu l'année prochaine au NPL, au NRC et à la PTB ; l'ARPANSA (Australie) et le BNM-LPRI (France) sont aussi intéressés par cette comparaison.

7.1.5 Étalonnages au BIPM

Vingt-six étalonnages d'étalons secondaires ont été effectués pour le BARC, le CSIR (Afrique du Sud), le NRPA (Norvège) et le SRPI (Suède), dans les faisceaux de rayons x et de rayonnement γ, pour mesurer le kerma dans l'air et la dose absorbée dans l'eau. La collaboration avec l'AIEA se poursuit sur l'irradiation de leurs dosimètres thermoluminescents dans le rayonnement du ^{60}Co.

7.2 **Radionucléides** (G. Ratel et C. Michotte, assistés de C. Colas, M. Nonis, C. Veyradier)

7.2.1 Comparaison internationale de mesures d'activité d'une solution de ^{204}Tl

Les résultats de la comparaison du BIPM de mesures d'activité d'une solution de ^{204}Tl ont été présentés, sans citer le nom des participants, à la réunion de la Section II du CCRI en juin 1999. La dispersion totale des résultats est de 11,5 % et l'écart-type de la moyenne est de 3,4 %. Cette dispersion provient en partie de la technique de mesure employée. Les résultats obtenus avec la méthode de scintillation liquide se situent dans les limites des incertitudes, mais ils sont très différents de ceux obtenus avec d'autres méthodes. La dispersion de 8 % des résultats obtenus par la méthode de comptage $4\pi\beta$ peut être attribuée à la quantité importante d'entraîneur présente dans la solution, qui pourrait avoir augmenté l'auto-absorption des sources solides préparées pour les mesures au moyen de compteurs proportionnels. Les écarts constatés dans les valeurs des mesures d'activité massique obtenues à l'aide de la méthode de comptage $4\pi\beta$-γ par traçage de l'efficacité montrent que la qualité des résultats dépend beaucoup du choix du traceur. Un groupe de travail a été créé pour identifier les études ultérieures qui pourraient s'avérer nécessaires pour réduire ce type de problèmes lors des comparaisons à venir.

7.2.2 Comparaison internationale de mesures d’activité d’une solution de ^{152}Eu

La comparaison de mesures d’activité d’une solution de ^{152}Eu a débuté en juin 1999. La PTB a préparé la solution et envoyé les ampoules au BIPM. Cinq ampoules ont été mesurées dans le SIR avant d’être envoyées au BNM-LPRI, à l’ETL (Japon), au NPL, au NRC et à la PTB. Les résultats devront parvenir avant le 13 septembre 1999 pour que le rapport puisse être rédigé et que la décision de mettre en œuvre une comparaison internationale soit prise avant la fin du mois d’octobre. Si la comparaison préliminaire donne des résultats acceptables, les ampoules restantes seront mesurées dans le SIR et envoyées à dix-neuf autres participants.

7.2.3 Système international de référence pour la mesure d’activité d’émetteurs de rayonnement gamma (SIR)

Le nombre cumulé d’ampoules mesurées depuis les débuts du SIR est maintenant de 725, et le nombre total de résultats indépendants de 540. Trente nouveaux résultats ont été enregistrés en 1998. Dix laboratoires ont envoyé trente-sept ampoules (le BARC, le BEV (Autriche) qui participait pour la première fois aux mesures, le BNM-LPRI, l’IRA-OFMET, le NIST, le NPL, l’OMH, la PTB, le RC (Pologne) et le VNIIM), contenant au total vingt-quatre radionucléides : ^{51}Cr, ^{54}Mn, ^{56}Co, ^{57}Co, ^{59}Fe, ^{60}Co, ^{67}Ga, ^{85}Sr, ^{99}Mo, ^{99m}Tc, ^{109}Cd, ^{111}In, ^{124}Sb, ^{125}I, ^{131}I, ^{133}Ba, ^{134}Cs, ^{137}Cs, ^{152}Eu, ^{153}Gd, ^{153}Sm, ^{169}Yb, ^{201}Tl et ^{237}Np. Les radionucléides ^{153}Sm et ^{237}Np sont nouveaux. Le premier d’entre eux est particulièrement intéressant à mesurer parce que le radionucléide ^{153}Sm et son impureté, le ^{156}Eu, apparaissaient pour la première fois dans les tableaux du SIR. Trois résultats ont été retirés en 1998. Le nombre de mesures a doublé par rapport à celui de ces dernières années, ce qui reflète le rôle du SIR dans l’établissement des degrés d’équivalence entre les laboratoires nationaux.

Une monographie sur le SIR sera publiée en 1999. Tous les résultats enregistrés depuis 1975 ont été vérifiés et la présentation des résultats améliorée. Le SIR sera décrit et des conclusions exprimées sur, par exemple, le domaine d’activité toléré pour chaque radionucléide et les niveaux d’impureté acceptables.

Les anciennes valeurs du ^{56}Co figurant dans le SIR ont été modifiées en utilisant la valeur de sa demi-vie recommandée par l’AIEA (77,31 d ; u = 0,19 d) au lieu de celle choisie en 1980 dans le SIR (c’est-à-dire 78,76 d ; u = 0,12 d). Les activités équivalentes révisées A_e pour le ^{56}Co s’accordent mieux maintenant.

Modification des valeurs du ^{56}Co dans le SIR

Laboratoire	Date	Anciennes valeurs/kBq		Valeurs révisées/kBq	
		A_e	$u_c(A_e)$	A_e	$u_c(A_e)$
LMRI	1980	5062	7	5012	8
NPL	1991	5094	31	5077	31
PTB	1995	5100	21	5065	22
BNM-LPRI	1998	5160	10	5097	12

7.2.4 Courbe d'efficacité du SIR

La courbe d'efficacité des chambres d'ionisation du SIR est utilisée pour calculer l'activité équivalente de radionucléides qui n'ont pas encore été mesurés dans le SIR, activité équivalente nécessaire au calcul des corrections pour les impuretés dans les solutions soumises au SIR. Elle est aussi utilisée pour donner un point de comparaison quand un radionucléide est mesuré dans le SIR pour la première fois. À la demande du Groupe de travail sur l'analyse systématique du SIR de la Section II du CCRI, la courbe d'efficacité a été mise à jour et présentée à la Section II du CCRI. On a observé des différences significatives par rapport à l'évaluation faite en 1994 par MM. Müller et Rytz pour les radionucléides ^{56}Co, ^{85}Sr, ^{99}Mo, ^{109}Cd, ^{123}I, ^{152}Eu, ^{154}Eu, ^{169}Yb et ^{207}Bi. Elles résultent peut-être de nouveaux schémas de désintégration, de nouveaux résultats du SIR, d'une courbe d'efficacité différente au-dessus de 2,3 MeV, ou de toutes ces données combinées. Il faudra étudier plus en détail la correction pour les émetteurs de rayonnement bêta aux hautes énergies.

7.2.5 Extension du SIR aux émetteurs de rayonnement bêta

Les premières mesures des émetteurs de rayonnement bêta envoyés par la PTB, le ^{89}Sr et le ^{169}Er, ont commencé, au moyen de la méthode de scintillation liquide CIEMAT/NIST dans le cadre du SIR étendu. Des résultats encourageants ont été obtenus.

7.2.6 Mise en œuvre de la méthode du rapport des coïncidences triples aux coïncidences doubles

La mise en œuvre de la méthode du rapport des coïncidences triples aux coïncidences doubles se poursuit au BIPM avec la conception de trois tubes photomultiplicateurs identiques et de trois préamplificateurs spectroscopiques. Les premières mesures ont validé le dispositif expérimental, mais des améliorations devront être apportées pour la protection anti-lumière, l'ajustement des distances et le réglage fin des photomultiplicateurs.

7.2.7 Détection des impuretés radioactives

Les mesures de l'efficacité du détecteur Ge(Li) mesurée au pic à pleine énergie sont maintenant ajustées à l'aide de polynômes d'une manière légèrement différente : les 31 points correspondant aux données sont répartis en deux groupes, pour les basses et les hautes énergies, mais qui se recouvrent largement (de 155 keV à 550 keV). Les conditions de continuité ne sont plus imposées car le recouvrement est suffisamment large pour permettre une transition en douceur d'un polynôme à l'autre. L'incertitude-type relative de la courbe d'efficacité pour une distance de 50 cm entre l'ampoule et le détecteur est maintenant estimée à 9×10^{-3} entre 100 keV et 300 keV, environ $2{,}5 \times 10^{-3}$ entre 300 keV et 1,5 MeV, et $2{,}5 \times 10^{-2}$ au-dessous de 100 keV et au-dessus de 1,5 MeV.

La raison principale d'avoir un spectromètre gamma au BIPM est de vérifier la quantité d'impuretés dans les ampoules soumises au SIR. Ces vérifications ont été faites pour les solutions de ^{56}Co, ^{109}Cd, ^{152}Eu et ^{201}Tl ; les résultats montrent que la quantité d'impuretés est, dans la plupart des cas, cohérente avec les incertitudes données par les laboratoires nationaux de métrologie. Pour les radionucléides à courte durée de vie, l'activité équivalente dans le SIR est souvent remesurée à différentes dates. Dans certains cas, les valeurs qui en résultent montrent une tendance qui peut être due à une valeur incorrecte de la demi-vie ou à des corrections inexactes sur les quantités d'impuretés. Une mesure indépendante de la quantité d'impuretés relative, réalisée avec le spectromètre Ge(Li) du BIPM, nous a aidés à résoudre ces problèmes pour les ampoules de ^{99}Mo, ^{153}Sm et de ^{201}Tl soumises récemment au SIR.

La stabilité à long terme du détecteur Ge(Li) est contrôlée au moyen de mesures périodiques d'ampoules de ^{137}Cs et de ^{60}Co. Nous avons observé une décroissance avec le ^{60}Co qui doit encore être confirmée. Le spectromètre

Ge(Li) doit cependant être remplacé par un détecteur HPGe dans un proche avenir. Ce nouveau système est en cours de mise au point (électronique, essai du logiciel Genie-2000 d'acquisition et d'analyse des données). Le château de plomb qui abrite le détecteur est terminé, y compris les couches en cadmium et en cuivre destinées à réduire les interférences provenant des rayons x caractéristiques de ces matériaux.

7.3 Publications, conférences et voyages : section des rayonnements ionisants

7.3.1 Publication extérieure

1. Burns D.T., Lamperti P.J., O'Brien M., Comparison of the NIST and BIPM air-kerma standards for measurements in the low-energy x-ray range, *J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol*, 1999, **104**, 135-140.

7.3.2 Rapports BIPM

2. Boutillon M., Allisy-Roberts P.J., Burns D.T., Referowski Z., BIPM and COMECON comparisons of air kerma standards in the x- and γ-radiation fields, *Rapport BIPM*-98/8, 1998, 15 p.
3. Boutillon M., Burns D.T., Moning R., Comparison of the air kerma standards of the OFMET and the BIPM in the low-energy x-ray range, *Rapport BIPM*-98/9, 1998, 7 p.
4. Burns D.T., Lamperti P.J., O'Brien M., Comparison of the air-kerma standards of the NIST and the BIPM in the low-energy x-ray range, *Rapport BIPM*-99/5, 1999, 8 p.
5. Michotte C., Efficiency calibration of the Ge(Li) detector of the BIPM for SIR-type ampoules, *Rapport BIPM*-99/3, 1999, 15 p.
6. Michotte C., Beta efficiency curve of the SIR ionization chamber, *Rapport BIPM*-99/8, 1999, 4 p.
7. Michotte C., Ratel G., Lucas L., First measurement of ^{153}Sm in the SIR, *Rapport BIPM*-99/9, 1999, 5 p.
8. Ratel G., Trial comparison of activity measurements of a solution of ^{204}Tl, *Rapport BIPM*-97/3, 1999, 30 p.

7.3.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

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

- à l'AIEA, Vienne (Autriche), du 5 au 9 octobre 1998, pour le SSDL Scientific Committee.
- à Weybridge (Royaume-Uni), les 14 et 15 octobre 1998, pour le Measurement Advisory Committee of the United Kingdom Department of Trade and Industry.
- à Washington DC (États-Unis), du 19 au 22 octobre 1998, pour une présentation au Council for Ionizing Radiation Measurements and Standards au NIST.
- à Londres (Royaume-Uni), le 20 novembre 1998, le 28 avril et le 29 juillet 1999, pour l'U.K. Health and Safety Commission Ionizing Radiation Advisory Committee ; le 15 février 1999, pour l'International Committee of the Society for Radiological Protection ; le 9 mars 1999, pour recevoir le titre d'officier de l'empire britannique (OBE) des mains de sa majesté la Reine ; le 5 juillet 1999, pour participer au comité de rédaction du *Journal of Radiological Protection.*
- à Göttingen (Allemagne), les 8 et 9 avril 1999, pour présenter un symposium sur « The agreement of national standards within the international measurement system » à la 5^{e} réunion bisannuelle de l'ESTRO.
- à Manchester (Royaume-Uni), le 14 avril 1999, pour participer au Comité de rédaction du *Journal of Radiological Protection.*
- à Teddington (Royaume-Uni), le 21 avril 1999, pour assister au Measurement Advisory Committee of the Department of Trade and Industry.
- à Southport (Royaume-Uni), du 14 au 18 juin 1999, pour présenter la traçabilité internationale de la dosimétrie en radiothérapie au symposium international « Advancing radiation protection into the 21st century ».

D.T. Burns s'est rendu :

- à Geel (Belgique), du 19 au 21 octobre 1998, pour l'atelier d'EUROMET sur les rayonnements ionisants et la radioactivité, qui s'est tenu à l'IRMM, et comme représentant du BIPM à la réunion des personnes chargées des relations dans le domaine des rayonnements ionisants et de la radioactivité au sein d'EUROMET.

- à Bruxelles (Belgique), du 3 au 7 mai 1999, pour une réunion dans le cadre du programme de coordination des recherches de l'AIEA sur la mise au point d'un « Code of Practice for dosimetric determination in photon, electron and proton beams based on measurement standards of absorbed dose to water ».
- à Munich (Allemagne), du 9 au 13 août 1999, comme représentant du BIPM à une réunion de la Main commission de l'ICRU.

C. Michotte s'est rendue :

- à Paris (France), le 4 décembre 1998, pour une réunion des participants à l'action n° 410 d'EUROMET au quartier général du CEA.
- à Teddington (Royaume-Uni), du 10 au 12 mars 1999, pour visiter le Centre for Ionising Radiation Metrology du NPL.

C. Michotte et G. Ratel se sont rendus à Prague (Rép. tchèque), du 7 au 11 juin 1999, pour des présentations à l'International Conference on Radionuclide Metrology.

G. Ratel s'est rendu :

- à Geel (Belgique), du 19 au 21 octobre 1998, pour l'atelier d'EUROMET sur les rayonnements ionisants et la radioactivité qui s'est tenu à l'IRMM.
- à Sèvres (France), les 19 et 20 janvier 1999, pour une présentation sur les comparaisons en radioactivité à la réunion sur les comparaisons clés.
- à Sèvres (France), le 3 février 1999, au Forum de l'entreprise, pour un exposé sur les étalonnages en radioactivité au BIPM.
- à Lausanne (Suisse), le 18 juin 1999, pour un exposé intitulé « Le Système international de référence (SIR) et son extension : un outil essentiel pour définir le degré d'équivalence ».

7.4 Activités en liaison avec des organisations extérieures

P.J. Allisy-Roberts est membre du SSDL Scientific Advisory Committee de l'AIEA, conseiller de *Physics in Medicine and Biology*, membre du Comité de rédaction du *Journal of Radiological Protection* et membre du British Committee for Radiation Units. Elle est membre de l'U.K. Department of Trade and Industry et membre scientifique de l'U.K. Health and Safety Commission's Ionizing Radiations Advisory Committee.

D.T. Burns est consultant scientifique pour le programme de coordination des recherches de l'AIEA dans le cadre de la mise en œuvre de la rédaction d'un code de pratique pour la dosimétrie en radiothérapie. Il représente le BIPM aux réunions de la Main Commission de l'ICRU et représente le BIPM à EUROMET dans le domaine des rayonnements ionisants. Il est conseiller de *Physics in Medicine and Biology*.

G. Ratel représente le BIPM à l'ICRM. Il était membre du comité scientifique de la 12^{e} Conference on Radionuclide Metrology and its Applications (ICRM'99).

7.5 Activités liées au travail des Comités consultatifs

P.J. Allisy-Roberts est secrétaire exécutive du CCRI et du CCAUV. Elle est membre, avec D.T. Burns, des Groupes de travail de la Section I du CCRI sur l'équivalence en métrologie et sur les facteurs de correction pour le kerma dans l'air pour les chambres à cavité. G. Ratel est membre des Groupes de travail de la Section II du CCRI sur l'extension du SIR aux émetteurs de rayonnement bêta, sur l'analyse systématique du SIR, sur l'équivalence des étalons, et sur l'étude des problèmes techniques rencontrés lors de la comparaison de ^{204}Tl et sur l'analyse des résultats des comparaisons de ^{192}Ir.

7.6 Visiteurs de la section des rayonnements ionisants

- M. I. Csete (OMH), du 12 au 16 octobre 1998.
- M. J.-E. Grindborg (SRPI), le 26 octobre et le 17 novembre 1998.
- Mme M.-N. Péron-Amiot et M. J.-B. Adamo (BNM-LPRI), le 4 novembre 1998.
- M. K. Shortt (NRC), du 5 au 10 novembre 1998.
- Mme T. Sazonova (VNIIM), le 30 novembre 1998.
- Mme N.D. Villevalde (VNIIM), du 30 novembre au 4 décembre 1998.
- MM. T. Altzizoglou et M. Hult (IRMM), le 3 décembre 1998.
- M. A. Luca (IFIN), le 9 décembre 1998.
- M. P. Moreau (CEGELEC, France), le 8 janvier 1999.
- M. J.-M. Denis (UCL, Belgique), le 3 février 1999.
- M. M. Kramer (PTB), du 8 au 12 mars 1999.
- M. B. Lange (PTB), du 8 au 19 mars 1999.
- M. M. Yhames (PTB), le 11 mars 1999
- M. L. Büermann (PTB), du 15 au 19 mars 1999.

- M. M. Aráujo (LNMRI/IRD/CNEN), le 16 mars 1999.
- M. P. Cassette (BNM-LPRI), les 10 mai, 19 mai et 4 juin 1999.
- Mme T. Terlikowska (RC), le 3 juin 1999.
- MM. Wen-Song Hwang et Mong-Chen Yuan (INER), le 4 juin 1999.
- M. K. Wise (ARPANSA), le 22 juin 1999.
- M. H. Bjerke (NRPA), le 2 juillet 1999.
- M. H. Palmans (LSD), du 6 au 10 septembre 1999.
- M. G. Montaño-Ortiz (LSCD), du 20 au 28 septembre 1999.

7.7 Stagiaire et étudiante

- M. M. Mansy (NIS), du 7 septembre au 6 novembre 1998.
- Mlle E. Huy (Université de Nanterre), du 22 février au 6 juillet 1999.

8 ACTIVITÉS LIÉES À LA BASE DE DONNÉES DU BIPM SUR LES COMPARAISONS CLÉS (C. THOMAS)

Selon les termes de l'arrangement de reconnaissance mutuelle des étalons nationaux de mesure et des certificats d'étalonnage et de mesurage émis par les laboratoires nationaux de métrologie, le BIPM doit entretenir et ouvrir largement au public par l'Internet une base de données, désignée sous l'appellation « Base de données du BIPM sur les comparaisons clés ». Celle-ci doit comprendre :

- les résultats des comparaisons clés et supplémentaires du CIPM et des organisations régionales de métrologie (Annexe B),
- la liste des grandeurs pour lesquelles les certificats d'étalonnage et de mesurage sont reconnus par les laboratoires participant à l'arrangement (Annexe C), et
- la liste des comparaisons clés et supplémentaires (Annexe D).

À l'heure actuelle, le NIST, Gaithersburg (États-Unis), travaille à la conception et à la programmation de la base de données du BIPM sur les comparaisons clés. Une collaboration étroite s'est instaurée entre R. Watters, responsable du projet au NIST, et C. Thomas, coordinatrice de la base de données au BIPM, afin de réaliser un produit qui réponde vraiment à la demande des utilisateurs.

Les Comités consultatifs ont beaucoup travaillé à choisir les comparaisons clés et supplémentaires adéquates pour faire la preuve de l'équivalence. La liste de ces comparaisons est maintenue au BIPM afin de préparer l'Annexe D de la base de données. L'effort consiste principalement à sa remise à jour régulière et aussi à l'unification de la nomenclature et du vocabulaire nécessaires pour identifier et donner les caractéristiques de chaque comparaison, car, toutes ensembles, elles couvrent des domaines très divers de la métrologie, pour lesquels les procédés mis en œuvre traditionnellement peuvent être différents. Le 23 septembre 1999, on avait déjà identifié 102 comparaisons clés et 7 comparaisons supplémentaires de Comités consultatifs, et 10 comparaisons clés et 2 comparaisons supplémentaires du BIPM. La plupart d'entre elles comprennent un certain nombre de sous-comparaisons qui correspondent à différents paramètres ou instruments de transfert utilisés dans les mesures de la même grandeur. Par exemple, la comparaison clé du BIPM sur l'activité des radionucléides se divise en 55 sous-comparaisons, correspondant aux 55 radionucléides déjà mesurés dans le Système international de référence (SIR). De plus, les Comités consultatifs ont identifié plus d'une vingtaine d'études pilotes, en particulier dans le domaine de la chimie.

Bien que la base de données du BIPM sur les comparaisons clés ne soit pas encore implantée au BIPM, des informations régulièrement mises à jour sur les comparaisons clés et supplémentaires sont accessibles par le Web sur notre page d'accueil (www.bipm.fr). Elles sont présentées sous la forme d'un certain nombre de tableaux relatifs à chaque Comité consultatif. On y a ajouté des notes explicatives à propos de la nomenclature et du vocabulaire utilisés.

8.1 Rapport BIPM

Thomas C., List of key comparisons (April 1999), *Rapport BIPM*-99/4, 1999, 41 p.

9 PUBLICATIONS DU BIPM

9.1 Publications générales (P.W. Martin, C. Thomas, assistés de D. Le Coz)

Depuis octobre 1998 ont été publiés :

- *Procès-verbaux des séances du Comité international des poids et mesures*, 87^{e} session (1998), 1999, **66**, 279 p.
- *Comité consultatif pour la quantité de matière*, 4^{e} session (1998), 1998, 87 p.
- *Comité consultatif pour la quantité de matière*, 5^{e} session (1999), 1999, 95 p.
- *Comité consultatif de photométrie et radiométrie*, 14^{e} session (1997), 1998, 80 p.
- *Comité consultatif de thermométrie*, 19^{e} session (1996), 1998, 104 p.
- *Comité consultatif des unités*, 13^{e} session (1998), 1999, 59 p.
- *Comité consultatif pour la définition du mètre*, 9^{e} session (1997), 1999, 163 p.
- *Rapport annuel de la section du temps du BIPM (1998)*, 1999, **11**, 141 p.
- *Circulaire T* (mensuelle), 6 p.

Il est maintenant possible de commander un certain nombre de publications par l'intermédiaire du serveur Internet du BIPM (http://shop.bipm.fr/ Bookshop).

9.2 Metrologia (P.W. Martin, J.R. Miles, assistés de D. Saillard et C. Veyradier)

Le volume **35** de *Metrologia* a été publié en 1998 et 1999 ; il comprend cinq numéros normaux et un numéro special consacré aux comptes rendus de la 6^{e} International Conference on Radiometry, NEWRAD'97. Les conférences NEWRAD, qui rassemblent les représentants des laboratoires nationaux de métrologie et les principaux utilisateurs des techniques de pointe en radiométrie, c'est-à-dire les personnes concernées par les ressources terrestres et la télédectection, sont de plus en plus populaires, au point que les comptes rendus de NEWRAD'97 comptent quatre cent quatre-vingt-six pages, soit l'équivalent de sept numéros normaux ! D'autres numéros spéciaux devraient paraître en 1999.

L'accès à *Metrologia* par l'intermédiaire du site Web www.catchword.com a été une innovation utile. Les volumes remontant à 1995 sont maintenant accessible en hypertexte. La version électronique du journal est gratuite pour les abonnés à la copie papier. Les non-abonnés peuvent acheter les articles individuellement moyennant une faible contribution.

Du fait de l'activité importante liée aux comparaisons clés, nous nous attendons à une augmentation significative des rapports internationaux soumis à *Metrologia*. Comme cela a été envisagé dans l'arrangement de reconnaissance mutuelle, ces résultats importants seront publiés dans *Metrologia*.

9.3 **Serveur Internet du BIPM** (J.R. Miles, assistée de L. Le Mée)

Les informations sur le BIPM sont disponibles sur notre serveur Internet (http://www.bipm.fr). Ce serveur a été modifié en novembre 1998 et reçoit environ deux cents visites par jour, en provenance d'une soixantaine de pays. Il est mis à jour et complété en permanence, et nous venons d'y ajouter une version en français. Les rubriques les plus populaires sont le SI (avec l'accès gratuit à la version PDF de la brochure sur le SI), les pages relatives aux différents Comités de la Convention du Mètre, la base de données des articles parus dans *Metrologia*, et la page « liens utiles » vers d'autres sites connexes.

10 RÉUNIONS ET EXPOSÉS AU BIPM

10.1 Réunions

- Le Groupe de travail 2 du Comité mixte pour les guides en métrologie s'est réuni le 18 novembre 1998.
- Une réunion sur les comparaisons clés a eu lieu les 19 et 20 janvier 1999 ; elle a rassemblé des délégués des laboratoires nationaux de métrologie aux Comités consultatifs.
- Le CCQM s'est réuni du 10 au 12 février 1999 ; il a été précédé des réunions de ses groupes de travail les 8 et 9 février.
- La deuxième réunion du Comité mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM s'est tenue les 15 et 16 février 1999.

- Le CCPR s'est réuni du 24 au 26 mars 1999 ; il a été précédé des réunions de ses groupes de travail les 22 et 23 mars.
- Le CCTF s'est réuni du 20 au 22 avril 1999 ; il a été précédé de la réunion des laboratoires participant au TAI le 19 avril.
- Le CCM s'est réuni les 12 et 13 mai 1999 ; il a été précédé des réunions de ses groupes de travail les 10 et 11 mai.
- Le CCRI s'est réuni le 2 juin 1999 ; il a été précédé des réunions de la Section I du 26 au 28 mai 1999, de la Section II du 31 mai au 2 juin 1999 et de la Section III du 31 mai au 1er juin 1999.
- Le Groupe de travail du CCEM pour les grandeurs aux radiofréquences s'est réuni le 30 juin 1999.
- Le Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés s'est réuni les 6 et 7 juillet 1999.
- Le CODATA Task Group on Fundamental Constants s'est réuni le 8 juillet 1999.
- Le CCAUV s'est réuni les 20 et 21 juillet 1999.
- Le Groupe de travail *ad hoc* sur la viscosité s'est réuni les 14 et 15 septembre 1999.
- Le Groupe de travail du CCL sur la métrologie dimensionnelle s'est réuni les 21 et 22 septembre 1999.

Note: La 3e réunion du Groupe de travail mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM s'est tenue à Charlotte NC (États-Unis), les 15 et 16 juillet 1999.

10.2 Exposés

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

- G. Ratel : Le Système international de référence (SIR), 20 ans et après..., le 4 novembre 1998.
- J.-F. Cliche (COPL, université Laval, Québec) : Utilisation de techniques numériques pour l'asservissement de la fréquence de lasers, le 4 décembre 1998.
- L. Érard (BNM-LCIE, Fontenay-aux-Roses, France) : Système qualité dans un laboratoire national de métrologie, le 6 janvier 1999.

- P. Sillard (IGN, École nationale des sciences géographiques, Marne-la-Vallée, France) : Les variations de la position du centre des masses de la Terre, mesure et causes, le 11 mars 1999.
- K.M. Smith (Université de Glasgow, Écosse) : X-ray imaging with semiconductor pixel arrays, le 31 mars 1999.
- B.P. Kibble (NPL, Teddington, Royaume-Uni) : The NPL attempt to relate the kilogram to the Planck constant, le 5 mai 1999.
- M.W. Keller (NIST, Boulder, États-Unis) : A capacitance standard based on counting electrons, le 8 juin 1999.
- S. Richman : The joy of *G*, measuring the Newtonian gravitational constant, le 1er juillet 1999.

11 CERTIFICATS ET NOTES D'ÉTUDE

Du 1er octobre 1998 au 30 septembre 1999, 57 Certificats et 1 Note d'étude ont été délivrés.

11.1 Certificats

1998

Nos		
30.	Laser à hélium-néon de longueur d'onde 633 nm, n° 145 ……………………………	Joint Institute for Laboratory Astrophysics (JILA), Boulder, États-Unis.
31.	Laser à hélium-néon de longueur d'onde 633 nm, n° 126 ……………………..…..…	National Institute for Standards and Technology (NIST), Boulder, États-Unis.

32.	Laser à hélium-néon de longueur d’onde 633 nm, n° 133 …………………....……...	Van Swinden Laboratorium (NMi-VSL), Delft, Pays-Bas.
33.	Laser à hélium-néon de longueur d’onde 633 nm, n° 106 ……….………………..…	Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisbonne, Portugal.
34.	Prototype de masse n° 56* …..….	Afrique du Sud.
35.	Étalon de résistance de 1 Ω, n° 1679692* …......................…..	National Institute for Standards (NIS), Le Caire, Égypte.
36.	Étalon de résistance de 1 Ω, n° 1681958* …..……………......	Id.
37.	Étalon de résistance de 1 Ω, n° 1684330* ……......................	Id.
38.	Étalon de force électromotrice à diode de Zener, n° 482 5005 …….….………...….	National Institute for Standards (NIS), Le Caire, Égypte.
39.	Ionization chamber, PTW 23344-17918 …..…..……..	Swedish Radiation Protection Institute (SRPI), Stockholm, Sweden.
40.	Ionization chamber, Radcal 10X5-6M-8302 …..….…	Id.
41.	Ionization chamber, Exradin A2-189 …..………….....	Id.
42.	Ionization chamber, NE 2571-2061 …….….………	Id.
43.	Ionization chamber, NE 2561-056 ……………..….…	Id.
44.	Étalon de capacité de 10 pF, n° 01149 ………………..….....	Service de la métrologie belge (IGM), Bruxelles, Belgique.
45.	Étalon de capacité de 100 pF, n° 01061 ……………......…....	Id.
46.	Étalon de capacité de 100 pF, n° 01075 ………………..……	Id.
47.	Deux étalons secondaires de température de couleur, n^{os} 505 et 2171 ……...…………..	National Centre of Metrology (NCM), Sofia, Bulgarie.

[*] Cet étalon a déjà été étalonné au BIPM.

48.	Six étalons secondaires d'intensité lumineuse (2800 K), nos 101, 202, 505, 606, 1961, 2171* ……….……	National Centre of Metrology (NCM), Sofia, Bulgarie.
49.	Deux étalons secondaires de flux lumineux (2800 K), nos 87/7 et 85/34 ……...……………	Id.
50.	Trois étalons secondaires d'intensité lumineuse (2800 K), nos A583, A610 et A612 ….………...	Productivity and Standards Board (PSB), Singapour.
51.	Étalon de masse de 1 kg en acier inoxydable, LPN-00-05 ……………………..……	Centro Nacional de Metrologia (CENAM), Querétaro, Mexique.

1999

Nos		
1.	Étalon de résistance de 1 Ω, n° 1758733* ……................….......	Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME), Gebze-Kocaeli, Turquie.
2.	Étalon de résistance de 1 Ω, n° 1616936* ……………....…….....	Id.
3.	Étalon de résistance de 10 000 Ω, n° J204119130104 ……......…….....	Id.
4.	Étalon de résistance de 10 000 Ω, n° J206069130104* …..........…..…	Danish Institute of Fundamental Metrology (DFM), Lyngby, Danemark.
5.	Ionization chamber, PTW 23342-1059 ……..………….....	Council for Scientific and Industrial Research (CSIR), Pretoria, South Africa.
6.	Trois étalons secondaires d'intensité lumineuse (2800 K), nos 650-3472, 655, 666-3473*………	SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut AB, Borås, Suède.
7.	Trois étalons secondaires de flux lumineux (2800 K), nos 246 A, 250 D et 250 E* ….……..	Id.
8.	Thermomètre à résistance de platine, n° 232302 …………………………..	National Institute of Standards (NIS), Giza, Égypte.
9.	Étalon de résistance de 10 000 Ω, n° 1914468* ……………………......	National Physical Laboratory of Israel (INPL), Jérusalem, Israël.

10.	Étalon de résistance de 1 Ω, n° 1915154* ……................……......	National Physical Laboratory of Israel (INPL), Jérusalem , Israël.
11.	Cinq étalons secondaires de flux lumineux (2800 K), nos P039, P040, P073, P080, P081 ...	INMETRO, Rio de Janeiro, Brésil.
12.	Trois étalons secondaires d'intensité lumineuse (2800 K), nos 41G01, 41G02, 40G01* ….…....	Id.
13.	Quatre étalons secondaires d'intensité lumineuse (2800 K), nos 1B-1988, 562, 475, 429* …..…..	Electrotechnický Zkusebni Ústav (EZU), Prague, Rép. tchèque.
14.	Quatre étalons secondaires de température de couleur, nos 2710, 2714, 411, 505* ……….....	Id.
15.	1 Ω resistance standard, No. 40731* …………………...….....	Glówny Urzad Miar (GUM), Warsaw, Poland.
16.	1 Ω resistance standard, No. 41394* ……………….......…....	Id.
17.	1 Ω resistance standard, No. 74941* ……………….......…....	Id.
18.	1 Ω resistance standard, No. 75735* ……………….......….....	Id.
19.	10 000 Ω resistance standard, No. 40694* …………………………	Id.
20.	10 000 Ω resistance standard, No. 114937* ……………………….....	Id.
21.	Zener-diode voltage standard, No. 6945010 ……………………..…….	Id.
22.	Zener-diode voltage standard, No. 6485005* …………………….…...	Czech Metrological Institute (CMI), Brno, Czech Republic.
23.	10 pF capacitance standard, No. 01181 ………………………….…..	Id.
24.	10 pF capacitance standard, No. K12 ….…………………….....…..	Id.
25.	10 pF capacitance standard, No. K15 …………………………..….	Id.
26.	Ionization chamber, PR-06G-8429 …………..……….…..	Norwegian Radiation Protection Authority (NRPA), Østerås, Norway.

27.	Ionization chamber in gamma ray beams, NE 2561-099 ………….……..….	Norwegian Radiation Protection Authority (NRPA), Østerås, Norway.
28.	Ionization chamber in medium-energy x-rays, NE 2561-099 …….………………....	Id.
29.	Ionization chamber, NE 2536/3-17786 ………………..….	Id.
30.	Ionization chamber, NE 2611A-125 …………….…….….	Bhabha Atomic Research Centre (BARC), Trombay, India.
31.	1 kg mass standard in stainless steel, No. 40503314 ……………..……..…..	National Centre of Metrology (NCM), Sofia, Bulgaria.
32.	Étalon de résistance de 10 000 Ω, n° K 201 09 93 30 104* ....…......	Czech Metrological Institute (CMI), Prague, Rép. tchèque.
33.	Quatre étalons secondaires d'intensité lumineuse (2853 K), n^{os} 701, 702, 713, 714* …………...	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV), Vienne, Autriche.
34.	1 Ω resistance standard, No. 1132427* …….………...……...	National Metrology Laboratory (CSIR-NML), Pretoria, South Africa.
35.	1 Ω resistance standard, No. 1146606* ……………....………	Id.

11.2 Note d'étude

1998

N°		
3.	Electronic voltage standard based on a Zener-diode, Fluke 732B, No. 6865018 …………..…………..	Slovak Institute of Metrology (SMU), Bratislava, Slovakia.

12 GESTION DU BIPM

12.1 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 1998.

12.1.1 Compte I : fonds ordinaires*

Actif au 1er janvier 1998		**23 990 225,29**
Recettes		
Recettes budgétaires		27 255 745,91
Différences de change		60 280,93
Taxes sur les achats remboursées		745 118,33
Total des recettes		**28 061 145,17**
Dépenses		
Dépenses budgétaires		32 164 849,62
Taxes sur les achats remboursables		1 099 577,40
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1998		292 768,11
Total des dépenses		**33 557 195,13**
Actif au 31 décembre 1998		**18 494 175,33**
Détail des recettes budgétaires		
Versement de contributions :		
Au titre de l'exercice 1998	19 864 539	
Au titre de l'exercice 1997	3 742 278	
Au titre de l'exercice 1996	321 548	25 776 656,00
Au titre de l'exercice 1995 et antérieurs	907 102	
Au titre de l'exercice 1999	941 189	
Intérêts des fonds		1 221 478,67
Recettes diverses • Cession de prototypes (kg)	102 029,63	257 611,24
Recettes diverses • Divers	155 581,61	
Total		**27 255 745,91**

Dépenses du Compte I. — Les dépenses budgétaires en 1998 se sont élevées à 32 164 849,62 francs-or pour un budget voté s'élevant à 30 163 000 francs-or.

* Dans ce compte, comme dans le reste de ce document, on utilise le franc-or défini par l'équivalence : 1 franc-or = 1,814 52 franc français.

Détail des dépenses budgétaires

Chapitres	Dépenses de l'exercice		Budget voté		Économies	Dépassements
A. *Dépenses de personnel :*						
1. Traitements	12 045 019,71		12 297 000		251 980,29	–
2. Allocations familiales et sociales	2 342 684,02	18 509 398,31	2 567 000	19 102 000	224 315,98	–
3. Assurance maladie (*a*)	1 120 921,32		1 235 000		114 078,68	–
4. Assurance accidents	45 773,26		48 000		2 226,74	–
5. Caisse de retraite (*b*)	2 955 000,00		2 955 000		–	–
B. *Dépenses de fonctionnement :*						
1. Laboratoires et atelier	995 855,41		1 100 000		104 144,59	–
2. Chauffage, eau, électricité	371 043,04		478 000		106 956,96	–
3. Assurances	75 159,82		84 000		8 840,18	–
4. Publications	396 373,80		392 000		–	4 373,80
5. Frais de bureau	471 853,13	4 212 417,49	540 000	4 325 000	68 146,87	–
6. Voyages et transports de matériel	968 651,84		835 000		–	133 651,84
7. Entretien courant	469 360,70		436 000		–	33 360,70
8. Bibliothèque	387 369,70		352 000		–	35 369,70
9. Bureau du Comité	76 750,05		108 000		31 249,95	–
C. *Dépenses d'investissement :*		4 075 237,20		4 220 000	144 762,80	–
D. *Dépenses de bâtiments* (gros travaux d'entretien et de rénovation) *(c) :*		4 517 159,18		1 796 000	–	2 721 159,18
E. *Frais divers et imprévus (d) (e) :*		850 637,44		720 000	–	130 637,44
Totaux		**32 164 849,62**		**30 163 000**	**1 056 703,04**	**3 058 552,66**

(a) Comprenant un virement de 328 991,55 francs-or au Compte II (Caisse de retraite).

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

(c) Comprenant un virement de 3 850 000 francs-or au Compte V (Réserve pour les bâtiments).

(d) Comprenant un virement de 14 652 francs-or au Compte IV (Caisse de prêts sociaux).

(e) Comprenant un virement de 118 128,40 francs-or au Compte VI (Metrologia).

12.1.2 Compte II : caisse de retraite

Actif au 1er janvier 1998	**26 652 840,07**
Recettes	
Retenues sur les traitements	1 090 390,23
Virement du compte I *	3 299 822,49
Intérêts des fonds	1 374 030,69
Total des recettes	**5 764 243,41**
Dépenses	
Pensions servies	4 624 704,62
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1998	433 028,26
Total des dépenses	**5 057 732,88**
Actif au 31 décembre 1998	**27 359 350,60**

* Comprenant un virement de 328 991,55 francs-or provenant des économies réalisées sur l'assurance maladie (*BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 1994, **62**, 19).

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

Actif au 1er janvier 1998	**115 883,76**
Dépenses	
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1998	1 814,49
Total des dépenses	**1 814,49**
Actif au 31 décembre 1998	**114 069,27**

12.1.4 Compte IV : caisse de prêts sociaux

Actif au 1er janvier 1998 hors créances	**196 928,85**
Recettes	
Amortissements partiels des prêts :	
Capital	171 768,18
Intérêts	9 295,90
Virement du Compte I	14 652,00
Intérêts des fonds	12 995,55
Total des recettes	**208 711,63**
Dépenses	
Prêts consentis en cours d'année	57 315,43
Total des dépenses	**57 315,43**
Actif au 31 décembre 1998 hors créances	**348 325,05**
Créances de la caisse de prêts sociaux	
Créances au 1er janvier 1998	357 579,16
Créances nouvelles en cours d'année	57 315,43
Amortissements partiels des prêts (capital)	-171 768,18
Créances au 31 décembre 1998	**243 126,41**
Actif au 31 décembre 1998 créances incluses	**591 451,46**

12.1.5 Compte V : réserve pour les bâtiments

Actif au 1er janvier 1998	**5 635 646,30**
Recettes	
Virement du Compte I	3 850 000,00
Intérêts des fonds	272 897,90
Total des recettes	**4 122 897,90**
Dépenses	
Dépenses Pavillon du Mail	226 296,93
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1998	148 516,08
Total des dépenses	**374 813,01**
Actif au 31 décembre 1998	**9 383 731,19**

12.1.6 Compte VI : Metrologia

Recettes	
Abonnements encaissés	538 137,06
Virement du compte I	118 128,40
Total des recettes	**656 265,46**
Dépenses	
Dépenses de fonctionnement	625 956,26
Dépenses d'investissement	30 309,20
Total des dépenses	**656 265,46**

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

Actif au 1er janvier 1998	**1 918 336,70**
Recettes	
Intérêts des fonds	94 469,77
Total des recettes	**94 469,77**
Dépenses	
Subvention des cotisations des retraités	15 634,84
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1998	31 118,52
Total des dépenses	**46 753,36**
Actif au 31 décembre 1998	**1 966 053,11**

12.1.8 Bilan au 31 décembre 1998

Compte I	« Fonds ordinaires »	18 494 175,33
Compte II	« Caisse de retraite »	27 359 350,60
Compte III	« Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique »	114 069,27
Compte IV	« Caisse de prêts sociaux »	591 451,46
Compte V	« Réserve pour les bâtiments »	9 383 731,19
Compte VI	« Metrologia »	0,00
Compte VII	« Fonds de réserve pour l'assurance maladie »	1 966 053,11
Actif net		**57 908 830,96**

Cet actif net se décompose comme suit :

a. Fonds déposés en banque :

1°	En francs français (1 FRF = 0,551 109 935 FO)	9 290 842,86
2°	En dollars américains (1 USD = 5,6221 FRF = 3,098 395 168 FO)	10 556 540,47
3°	En francs suisses (1 CHF = 4,0799 FRF = 2,248 473 425 FO)	58 332,76
4°	En livres sterling (1 GBP = 9,2984 FRF = 5,124 440 623 FO)	2 308 306,43
5°	En Deutsche Marks (1,95 583 DEM = 1 EUR ; 1 DEM = 1,848 342 749 FO)	8 792 043,16
6°	En yens (100 JPY = 4,9394 FRF = 2,722 152 415 FO)	337,55
7°	En forints (1 HUF = 0,0259 FRF = 0,014 273 747 FO)	1 783,56
8°	En florins (2,203 71 NLG = 1 EUR ; 1 NLG = 1,640 435 538 FO)	3 690 979,96
9°	En francs belges (40,3399 BEF = 1 EUR ; 1 BEF = 0,089 614 605 FO)	1 792 292,10
10°	En couronnes danoises (1 DKK = 0,8806 FRF = 0,485 307 409 FO)	7 595 341,02
11°	En lires italiennes (1936,27 ITL = 1 EUR ; 1000 ITL = 1,867 014 516 FO)	3 547 327,58
12°	En pesetas (166,386 ESP = 1 EUR ; 100 ESP = 2,172 685 321 FO)	3 041 759,45
13°	En euros (1 EUR = 6,55 957 FRF = 3,615 044 199 FO)	6 953 913,59
14°	En couronnes suédoises (1 SEK = 0,6914 FRF = 0,381 037 409 FO)	419 141,15

b. Espèces en caisse	2 392,56
Actif brut	**58 051 334,20**
c. Créances de la caisse de prêts sociaux	243 126,41
d. Provision pour remboursement aux États à déduire (1)	–240 138,00
e. Sommes reçues de l'ex-Yougoslavie à déduire	–145 491,65
Actif net	**57 908 830,96**

(1) Compte « Remboursement aux États »

Situation au 1er janvier 1998	35 304,00
Versement par l'Argentine de sa contribution pour 1992 (acompte)	12 803,00
Versement par le Chili de ses contributions de 1993 (solde) et 1997 (acompte)	82 409,00
Versement par l'Uruguay de sa contribution pour 1995 (acompte)	109 622,00
Situation au 31 décembre 1998	**240 138,00**

12.2 Personnel

12.2.1 Engagements

- M. Leonid F. Vitouchkine, né le 25 mai 1944 à Saint-Pétersbourg (Féd. de Russie), de nationalité russe, précédemment chercheur associé à la section des longueurs depuis août 1993, a été engagé en qualité de *physicien principal** dans la section des masses à dater du 1er avril 1999.
- Mme Daniela Spelzini Etter, née le 16 décembre 1964 à Davos (Suisse), de nationalités suisse et française, précédemment comptable dans une organisation non-gouvernementale, a été engagée comme *secrétaire-comptable* à temps partiel à dater du 1er mai 1999.
- Mme Cécile Goyon-Taillade, née le 14 décembre 1970 à Palaiseau (France), précédemment assistant ingénieur à l'École nationale supérieure des arts et industries de Strasbourg (France), a été engagée en qualité d'*assistant* dans la section des masses à dater du 1er septembre 1999.
- Mme Elisa Felicitas Arias, née le 3 novembre 1952 à La Plata (Argentine), de nationalités argentine et italienne, directeur de l'Observatorio Naval Buenos Aires (Argentine) et professeur d'astronomie à l'Universidad Nacional de La Plata, a été engagée en qualité de *physicien principal** et de responsable de la section du temps à dater du 10 novembre 1999.
- M. Alain Jaouen, né le 16 février 1963 à Béziers (France), précédemment technicien dans une société privée, a été engagé en qualité de *technicien* dans la section d'électricité à dater du 16 août 1999.

12.2.2 Promotions et changements de grade

- Mme Penelope Allisy-Roberts, *physicien principal*, a été promue responsable de la section des rayonnements ionisants à dater du 1er octobre 1998.
- M. Gérard Petit a été promu *physicien principal** à dater du 1er juin 1999.
- M. Roger Pello, *technicien principal* dans la section de radiométrie et photométrie, a été promu *technicien métrologiste* à dater du 1er janvier 1999.

* Note : les nominations au grade de *physicien principal* sont soumises à l'approbation du Comité international à sa session d'octobre 1999.

12.2.3 Changements de poste et transferts

- Mme Claudine Thomas, *physicien principal*, précédemment responsable de la section du temps, est chargée depuis le 13 novembre 1998 du poste nouvellement créé de coordinatrice de la base de données du BIPM sur les comparaisons clés.
- M. Gérard Petit, *physicien*, a été nommé *responsable par intérim* de la section du temps à dater du 13 novembre 1998.
- M. Alain Zarka, *assistant* à la section des longueurs, a été transféré à la section d'électricité à dater du 1er octobre 1998.

12.2.4 Chercheurs associés

- M. Samuel Richman, chercheur associé à la section des masses depuis le 1er septembre 1997, a quitté le BIPM le 30 août 1999 à la fin de son contrat pour occuper un poste au Massachusetts Institute of Technology (États-Unis).
- M. Zhiheng Jiang, chercheur associé à la section du temps depuis le 1er janvier 1998, est prolongé dans ses fonctions jusqu'au 31 décembre 1999.
- Mlle Hao Fang, née le 26 janvier 1970 au Zhejiang (Chine), de nationalité chinoise, précédemment étudiante en thèse de doctorat au CNAM à Paris, a été engagée en qualité de chercheur associé dans la section des masses à dater du 1er janvier 1999 pour une période de deux ans.

12.2.5 Départs

- M. Daniel Carnet*, technicien principal* à la section des rayonnements ionisants, a pris sa retraite le 31 octobre 1998 après 35 ans de service.
- M. Claude Garreau*, technicien principal* à la section de radiométrie et photométrie, a pris sa retraite le 31 décembre 1998 après 46 ans de service.
- M. François Lesueur*, technicien métrologiste*, engagé au BIPM en septembre 1949, a pris sa retraite le 30 avril 1999 après près de 50 ans de service.

Lors de leur départ à la retraite, le directeur du BIPM les a personnellement remerciés pour leurs services efficaces et dévoués au cours de toutes ces années passées au BIPM.

12.3 Bâtiments

12.3.1 Observatoire

- Enlèvement du comparateur de la salle 2 pour l'expédier au CENAM (Mexique) et rénovation des salles 2, 3 et 8 ; installation d'un nouveau système de conditionnement d'air aux salles 2 et 3.
- Réfection de la décoration d'un bureau.
- Peinture partielle de l'extérieur suite à une fuite.
- Réparation d'un mur de soutènement derrière l'Observatoire.

12.3.2 Bâtiment des rayonnements ionisants

- Début de la remise en état du rez-de-chaussée du bâtiment pour la métrologie en chimie.

12.3.3 Bâtiment des neutrons

- Poursuite des travaux préparatoires à la démolition.

12.3.4 Autres bâtiments

- Remplacement du transformateur situé dans l'atelier du Petit Pavillon.

12.3.5 Extérieurs et parc

- Abattage d'un certain nombre d'arbres dangereux et plantation d'environ 50 arbres.

LISTE DES SIGLES UTILISÉS DANS LE PRÉSENT VOLUME

1 Sigles des laboratoires, commissions et conférences

AIEA	Agence internationale de l’énergie atomique
AIG	Association internationale de géodésie
AMCTM	Advanced Mathematical and Computational Tools in Metrology Conference
AOS	Astronomiczne Obserwatorium Szerokościowe/ Astrogeodynamical Observatory, Borowiec (Pologne)
APMP	Asia/Pacific Metrology Programme
ARPANSA	Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency, Sydney et Melbourne (Australie)
BARC	Bhabha Atomic Research Centre, Trombay (Inde)
BCR	Bureau communautaire de référence de la Commission des communautés européennes
BESSY	Berliner Elektronenspeicherring-Geselschaft für Synchrotronstrahlung m.b.H.
BEV	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Vienne (Autriche)
BIPM	Bureau international des poids et mesures
BNM	Bureau national de métrologie, Paris (France)
BNM-CNAM	Bureau national de métrologie, Conservatoire national des arts et métiers, Paris (France)
BNM-INM	Bureau national de métrologie, Institut national de métrologie, Paris (France)
BNM-LCIE	Bureau national de métrologie, Laboratoire central des industries électriques, Fontenay-aux-Roses (France)
BNM-LNE	Bureau national de métrologie, Laboratoire national d'essais, Orsay et Paris (France)
BNM-LPRI	Bureau national de métrologie, Laboratoire primaire des rayonnements ionisants, Saclay (France)
BNM-LPTF	Bureau national de métrologie, Laboratoire primaire du temps et des fréquences, Paris (France)
CCAUV	Comité consultatif de l’acoustique, des ultrasons et des vibrations
CCDM*	Comité consultatif pour la définition du mètre, *voir* CCL

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

CCDS*	Comité consultatif pour la définition de la seconde, *voir* CCTF
CCE*	Comité consultatif d'électricité, *voir* CCEM
CCEM	(ex CCE) Comité consultatif d'électricité et magnétisme
CCEMRI*	Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants, *voir* CCRI
CCL	(ex CCDM) Comité consultatif des longueurs
CCM	Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées
CCP*	Comité consultatif de photométrie
CCPR	(ex CCP) Comité consultatif de photométrie et radiométrie
CCQM	Comité consultatif pour la quantité de matière
CCRI	(ex CCEMRI) Comité consultatif des rayonnements ionisants
CCT	Comité consultatif de thermométrie
CCTF	(ex CCDS) 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 Metrologia, Madrid (Espagne)
CENAM	Centro Nacional de Metrologia, Mexico (Mexique)
CESMEC	Centre of Studies, Measurement and Quality Certification (Chili)
CGGTTS	Sous-groupe sur la normalisation des comparaisons d'horloges utilisant le GPS et le GLONASS/CCDS Group on GPS Time Transfer Standards
CIE	Commission internationale de l'éclairage
CIEMAT	Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Madrid (Espagne)
CIPM	Comité international des poids et mesures
CMA/MIKES	Mittatekniikan Keskus/Centre for Metrology and Accreditation, Helsinki (Finlande)
CMI	Český Metrologický Institut/Czech Metrological Institute, Prague et Brno (Rép. tchèque)
CMS/ITRI	Centre for Measurement Standards of the Industrial Technology Research Institute, Hsinchu (Taiwan)
CNAM	Conservatoire national des arts et métiers, Paris (France)
CNEN	Commissao Nacional de Energía Nuclear, Rio de Janeiro et São Paulo (Brésil)
CNES	Centre national d'études spatiales, Toulouse (France)
CNRS	Centre national de la recherche scientifique, Paris (France)

CODATA	Committee on Data for Science and Technology
COMECON	Council for Mutual Economic Assistance
COOMET	Cooperation in Metrology among the Central European Countries
COPL	Centre d'optique, photonique et lasers, université Laval (Canada)
CPEM	Conference on Precision Electromagnetic Measurements
CRL	Communications Research Laboratory, Tokyo (Japon)
CSAO	Shaanxi Astronomical Observatory, Lintong (Chine)
CSIR-NML	Council for Scientific and Industrial Research, National Metrology Laboratory, Pretoria (Afrique du Sud)
CSIRO-NML	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, National Measurement Laboratory, Lindfield (Australie)
DFM	Danish Institute of Fundamental Metrology, Lyngby (Danemark)
EFTF	European Frequency and Time Forum
ENEA	Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Rome (Italie)
ENS	École normale supérieure, Paris (France)
ESA	Agence spatiale européenne/European Space Agency
ESTRO	European Society for Therapeutic Radiology and Oncology
ETL	Electrotechnical Laboratory, Tsukuba (Japon)
EURIDIS	EUropean Range Integrity DIfferential System
EUROMET	European Collaboration in Measurement Standards
EZU	Elektrotechnický Zkusebni Ústav, Prague (Rép. tchèque)
FCS	Frequency Control Symposium
FORBAIRT-NML	National Metrology Laboratory, Dublin (Irlande)
GREX	Groupe de recherche du CNRS : Gravitation et expériences (France)
GRGS	Groupe de recherches de géodésie spatiale
GT-RF	Groupe de travail du CCEM pour les grandeurs aux radiofréquences
GUM	Glówny Urzad Miar/Central Office of Measures, Varsovie (Pologne)
HUT	Helsinki University of Technology, Helsinki (Finlande)
ICAG	International Conference of Absolute Gravimeters
ICLAD	International Comparison on Laser Diodes
ICRM	International Committee for Radionuclide Metrology
ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurements

IEE	Institution of Electrical Engineers, Londres (Royaume-Uni)
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/International Earth Rotation Service
IFCC	Fédération internationale de chimie clinique/International Federation of Clinical Chemistry
IFIN	Institutul de Fizica si Inginerie Nucleara, Bucarest (Roumanie)
IGEX	International GLONASS Experiment
IGGOS	Integrated Global Geodetic Observing System Symposium
IGM	Service de la métrologie belge, Bruxelles (Belgique)
IGN	Institut géographique national, Saint-Mandé (France)
IGS	International GPS Service for Geodynamics
ILAC	International Laboratory Accreditation Conference
ILP	Institute of Laser Physics, Academy of Sciences of Russia, Novosibirsk (Féd. de Russie)
IMEKO	International Measurement Confederation
IMGC	Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin (Italie)
IMTC	Instrumentation and Measurement Technology Conference
INER	Institute of Nuclear Energy Research (Taiwan)
INM*	Institut national de métrologie, Paris (France), *voir* BNM-INM
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalizaçao e Qualidade Industrial, Rio de Janeiro (Brésil)
INN	Instituto Nacional de Normalización, Santiago (Chili)
INPL	National Physical Laboratory of Israel, Jérusalem (Israël)
INTI	Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Buenos Aires (Argentine)
ION	Institute of Navigation, Alexandria VA (États-Unis)
IPQ	Instituto Português da Qualidade, Lisbonne (Portugal)
IRA	Institut de radiophysique appliquée, Lausanne (Suisse)
IRD*	*voir* LNMRI
IRMM	Institut des matériaux et mesures de référence, Commission européenne/Institute for Reference Materials and Measurements, European Commission
ISI	Institute of Scientific Instruments, Academy of Sciences of the Czech Republic, Brno (Rép. tchèque)
ISO	Organisation internationale de normalisation

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
JILA	Joint Institute for Laboratory Astrophysics, Boulder CO (États-Unis)
JQA	Japan Quality Assurance Organization, Tokyo (Japon)
KRISS	Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon (Rép. de Corée)
LCIE*	Laboratoire central des industries électriques, Fontenay-aux-Roses (France), *voir* BNM-LCIE
LGC	Laboratory of the Government Chemist, Teddington (Royaume-Uni)
LHA	Laboratoire de l'horloge atomique, Orsay (France)
LMRI*	Laboratoire de métrologie des rayonnements ionisants, Saclay (France), *voir* BNM-LPRI
LNE	Laboratoire national d’essais, Orsay et Paris (France), *voir* BNM-LNE
LNMRI	Laboratório Nacional de Metrologia das Radiaçoes Ionizantes, Rio de Janeiro (Brésil)
LPL	Laboratoire de physique des lasers, Villetaneuse (France)
LPRI*	Laboratoire primaire des rayonnements ionisants, Saclay (France), *voir* BNM-LPRI
LPTF*	Laboratoire primaire du temps et des fréquences, Paris (France), *voir* BNM-LPTF
LRBA	Laboratoire de recherches ballistiques et aérodynamiques, Vernon (France)
LSCD	Laboratorio Secundario de Calibraión Dosimétrica (Argentine)
LSD	Laboratoire secondaire de dosimétrie, Gand (Belgique)
MENAMET	Middle East Metrology Organization
MIKES	Mittatekniikan Keskus, Helsinki (Finlande), *voir* CMA
MITI	Ministry of International Trade and Industry, Tokyo (Japon)
MRA	Arrangement de reconnaissance mutuelle/Mutual Recognition Arrangement
MSL-IRL	Measurement Standards Laboratory of New-Zealand, Lower Hutt (Nouvelle-Zélande)
NAC	National Accelerator Centre, Faure (Afrique du Sud)
NCM	National Centre of Metrology, Sofia (Bulgarie)

NEWRAD	New Developments and Applications in Optical Radiometry Conference
NIM	National Institute of Metrology, Beijing (Chine)
NIPLPR	National Institute for Physics of Lasers, Plasmas and Radiation, Bucarest (Roumanie)
NIS	National Institute for Standards, Le Caire (Égypte)
NIST	National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg MD (États-Unis)
NMi-VSL	Nederlands Meetinstituut, Van Swinden Laboratorium, Delft (Pays-Bas)
NML	*voir* CSIR
NML	*voir* CSIRO
NML	*voir* FORBAIRT
NORAMET	North American Metrology Cooperation
NPL	National Physical Laboratory, Teddington (Royaume-Uni)
NRC-INMS	Conseil national de recherches du Canada, Institut des étalons nationaux de mesure, Ottawa (Canada)
NRLM	National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba (Japon)
NRPA	Norwegian Radiation Protection Authority, Østerås (Norvège)
OFMET	Office fédéral de métrologie/Eidgenössisches Amt für Messwesen, Wabern (Suisse)
OIML	Organisation internationale de métrologie légale
OMH	Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest (Hongrie)
OMP	Observatoire Midi-Pyrénées, Toulouse (France)
ONBA	Observatorio Naval, Buenos Aires (Argentine)
OP	Observatoire de Paris (France)
PSB	(ex SISIR) Singapore Productivity and Standards Board (Singapour)
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig et Berlin (Allemagne)
PTTI	Precise Time and Time Interval Applications and Planning Meeting
RC	Radioisotope Centre, Otwock/Swierk (Pologne)
SIM	Sistema Interamericano de Metrologia
SIP	Société genevoise d'instruments de physique, Genève (Suisse)
SMU	Slovenský Metrologický Ústav/Slovak Institute of Metrology, Bratislava (Slovaquie)
SO	Shanghai Observatory, Shanghai (Chine)

SP	SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut/ Swedish National Testing and Research Institute, Borås (Suède)
SPIE	International Society for Optical Engineering
SRPI	Swedish Radiation Protection Institute, Stockholm (Suède)
SSDL	Secondary Standards Dosimetry Laboratories
STEP	Satellite Test of the Equivalence Principle Meeting
SUN-AMCO	Symbols, Units and Nomenclature, Atomic Masses and Fundamental Constants, Commission de l'UICPA
TEMPMEKO	IMEKO Conference on Temperature and Thermal Measurement in Industry and Science
TUG	Technical University, Graz (Autriche)
UAI	Union astronomique internationale
UCL	Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve (Belgique)
UGGI	Union géodésique et géophysique internationale
UICPA	Union internationale de chimie pure et appliquée
UIPPA	Union internationale de physique pure et appliquée
UME	Ulusal Metroloji Enstitüsü/National Metrology Institute, Marmara Research Centre, Gebze-Kocaeli (Turquie)
UNESCO	Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture
UPMC	Université Pierre et Marie Curie, Paris (France)
USNO	U.S. Naval Observatory, Washington DC (États-Unis)
VNIIFTRI	Institut des mesures physicotechniques et radiotechniques, Moscou (Féd. de Russie)
VNIIM	Institut de métrologie D.I. Mendéléev, Saint-Pétersbourg (Féd. de Russie)
VNIIMS	Russian Research Institute for Metrological Service of Gosstandart of Russia, Moscou (Féd. de Russie)
VSL*	Van Swinden Laboratorium, Delft (Pays-Bas), *voir* NMi
VTT	Centre for Metrology and Accreditation, Technical Research Centre of Finland, Espoo (Finlande)

2 Sigles des termes scientifiques

ACES	Atomic Clock Ensemble in Space
ALGOS	Algorithme pour établir le TAI
EAL	Échelle atomique libre
EIT-90	Échelle internationale de température de 1990
GLONASS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System

ITRF	Système de référence terrestre spécifié par le Service international de la rotation terrestre
KTP	Potasse titanyle phosphate
PDF	Portable Document Format
SI	Système international d'unités
SIR	Système international de référence pour les mesures d'activité d'émetteurs de rayons gamma
SQUID	Superconducting Quantum Interference Devices
TAI	Temps atomique international
TCB	Temps-coordonnée barycentrique
TDCR	Rapport des coincidences triples aux coincidences doubles
TT	Temps terrestre
TWSTFT	Comparaison de temps et de fréquences par aller et retour sur satellite/Two-way Satellite Time and Frequency Transfer
TWSTT	Comparaison horaire par aller et retour sur satellite/Two-way Satellite Time Transfer
UFFC	Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control
UTC	Temps universel coordonné