

**Bureau international des poids et mesures**

**Comité  
international  
des poids  
et mesures**

87<sup>e</sup> session (septembre-octobre 1998)

Note sur l'utilisation du texte anglais (*voir* page 149)

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 92-822-2168-7

## TABLE DES MATIÈRES

Photographie des participants à la 87 <sup>e</sup> session	2
États membres de la Convention du Mètre	12
Le BIPM et la Convention du Mètre	13
Liste des membres du Comité international des poids et mesures	17
Liste du personnel du Bureau international des poids et mesures	19
<b>Procès-verbaux des séances, 29 septembre-1<sup>er</sup> octobre 1998</b>	<b>21</b>
Ordre du jour	<b>22</b>
1 Ouverture de la session ; quorum ; ordre du jour	<b>23</b>
2 Rapport du secrétaire et activités du Bureau du Comité (octobre 1997 – septembre 1998)	<b>24</b>
2.1 États membres de la Convention du Mètre	<b>24</b>
2.2 Composition du Comité international	<b>24</b>
2.3 Convocation de la 21 <sup>e</sup> Conférence générale des poids et mesures	<b>25</b>
2.4 Accord de reconnaissance mutuelle des étalons nationaux de mesure et des certificats d'étalonnage et de mesurage émis par les laboratoires nationaux de métrologie	<b>25</b>
2.5 Deuxième réunion des directeurs de laboratoires nationaux de métrologie	<b>26</b>
2.6 États débiteurs de la Convention du Mètre	<b>26</b>
2.7 Nouveau bâtiment destiné à un atelier, des bureaux et des salles de réunion	<b>27</b>
2.8 Métrologie en chimie au BIPM	<b>27</b>
2.9 Réunion du Groupe de travail commun à l'OIML et à la Convention du Mètre	<b>28</b>
2.10 La création de l'euro et ses implications sur la monnaie en usage dans les comptes du BIPM	<b>28</b>
2.11 Indications financières	<b>28</b>
2.12 Questions diverses	<b>29</b>
3 Composition du Comité international	<b>29</b>
4 Convocation de la 21 <sup>e</sup> Conférence générale des poids et mesures	<b>30</b>

- 5 Proposition de créer des États et entités économiques associés à la Conférence générale **31**
- 6 Problème des États membres de la Convention du Mètre en retard de plusieurs années dans le paiement de leurs contributions **32**
- 7 Accord de reconnaissance mutuelle : situation actuelle **34**
- 8 Groupe de travail commun à l'OIML et à la Convention du Mètre **35**
  - 8.1 Rapport sur la réunion de février 1998 **35**
  - 8.2 Réunion sur le rôle de la métrologie dans le développement économique et social **35**
- 9 Comités consultatifs **36**
  - 9.1 Comité consultatif pour la quantité de matière **36**
  - 9.2 Comité consultatif des unités **37**
  - 9.3 Création d'un nouveau Comité consultatif : le Comité consultatif de l'acoustique, des ultrasons et des vibrations **39**
  - 9.4 Groupes de travail *ad hoc* **40**
    - 9.4.1 Groupe de travail *ad hoc* sur la dureté **40**
    - 9.4.2 Proposition de nouvelles activités sur le débit de fluides et la viscosité **41**
  - 9.5 Composition des Comités consultatifs **42**
  - 9.6 Réunions futures des Comités consultatifs **42**
- 10 Travaux du BIPM **43**
  - 10.1 Rapport du directeur et présentation des travaux scientifiques par le personnel du BIPM **43**
  - 10.2 Dépôt des prototypes métriques **43**
  - 10.3 Proposition relative à un programme de métrologie en chimie au BIPM **44**
  - 10.4 Publications **45**
- 11 Questions administratives et financières **46**
- 12 Questions diverses **48**
  - 12.1 Les étalons soi-disant intrinsèques **48**
  - 12.2 Discussion sur l'analyse des résultats des comparaisons clés **49**
  - 12.3 Questions diverses **49**
- 13 Prochaine session du Comité international **50**

## Rapport du directeur sur l'activité et la gestion du Bureau international des poids et mesures (octobre 1997 - septembre 1998) 51

- 1 Introduction générale aux travaux scientifiques du Bureau international **53**
  - 1.1 Publications, conférences et voyages ne concernant pas directement une section particulière **57**
    - 1.1.1 Publications extérieures **57**
    - 1.1.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **58**
  - 1.2 Activités en liaison avec des organisations extérieures **59**
  - 1.3 Activités liées au travail des Comités consultatifs **60**
- 2 Longueurs **60**
  - 2.1 Lasers **60**
    - 2.1.1 Laser à Nd:YAG doublé à  $\lambda \approx 532$  nm **60**
    - 2.1.2 Lasers à He-Ne asservis sur l'iode à  $\lambda \approx 543,5$  nm en cuve externe **61**
    - 2.1.3 Lasers à He-Ne asservis sur l'iode à  $\lambda \approx 633$  nm en cuve interne **61**
    - 2.1.4 Lasers à diode à cavité étendue asservis sur l'iode à  $\lambda \approx 633$  nm **62**
    - 2.1.5 Lasers à diode asservis sur le rubidium à  $\lambda \approx 778$  nm en utilisant les composantes hyperfines des transitions 5S-5D à deux photons **64**
    - 2.1.6 Lasers à He-Ne asservis sur le méthane à  $\lambda \approx 3,39$   $\mu\text{m}$  en cuve interne et externe **64**
    - 2.1.7 Cuves à iode **65**
  - 2.2 Mesures de longueur : nanométrie **65**
    - 2.2.1 Diffractomètre interférométrique à laser : méthode des trois longueurs d'onde **65**
    - 2.2.2 Interférométrie laser pour les mesures de déplacement **66**
  - 2.3 Gravimétrie **66**
    - 2.3.1 Comparaisons internationales **66**
    - 2.3.2 Le gravimètre absolu FG5-108 **67**
  - 2.4 Publications, conférences et voyages : section des longueurs **67**
    - 2.4.1 Publications extérieures **67**
    - 2.4.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **67**
  - 2.5 Activités liées au travail des Comités consultatifs **70**
  - 2.6 Visiteurs de la section des longueurs **70**
  - 2.7 Stagiaires et étudiant **71**

- 3 Masse et grandeurs apparentées **72**
  - 3.1 Étalons en acier inoxydable **72**
  - 3.2 Nouvelle balance à suspensions flexibles **72**
  - 3.3 Balance à torsion pour la mesure de  $G$  **73**
  - 3.4 Prototypes et étalons de 1 kg en platine iridié **74**
  - 3.5 Nouvelle balance hydrostatique **75**
  - 3.6 Publications, conférences et voyages : section des masses **75**
    - 3.6.1 Publications extérieures **75**
    - 3.6.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **75**
  - 3.7 Activités liées au travail des Comités consultatifs **76**
  - 3.8 Visiteurs de la section des masses **77**
  - 3.9 Stagiaires **77**
- 4 Temps **77**
  - 4.1 Temps atomique international (TAI) et Temps universel coordonné (UTC) **77**
  - 4.2 Algorithmes pour les échelles de temps **78**
    - 4.2.1 Stabilité de l'EAL **78**
    - 4.2.2 Exactitude du TAI **78**
  - 4.3 Liaisons horaires **80**
    - 4.3.1 Global Positioning System (GPS) et Global Navigation Satellite System (GLONASS) **81**
    - 4.3.2 Mesures de phase **85**
    - 4.3.3 Comparaisons horaires par aller et retour **87**
  - 4.4 Pulsars **87**
  - 4.5 Références spatio-temporelles **88**
  - 4.6 Publications, conférences et voyages : section du temps **89**
    - 4.6.1 Publications extérieures **89**
    - 4.6.2 Publications du BIPM **90**
    - 4.6.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **91**
  - 4.7 Activités en liaison avec des organisations extérieures **94**
  - 4.8 Activités liées au travail des Comités consultatifs **94**
  - 4.9 Visiteurs de la section du temps **95**
  - 4.10 Stagiaires et étudiants **95**
- 5 Électricité **96**
  - 5.1 Potentiel électrique : effet Josephson **96**
  - 5.2 Résistance électrique et impédance **97**
    - 5.2.1 Comparaisons sur place d'étalons de résistance à effet Hall quantique **97**

- 5.2.2 Mesures d'impédance **98**
- 5.3 Détermination de la stabilité des étalons de tension **100**
  - 5.3.1 Mesures des coefficients de température et de pression des étalons de tension à diodes de Zener **100**
  - 5.3.2 Détermination du bruit et de la stabilité des étalons de tension **101**
- 5.4 Comparaisons bilatérales d'étalons électriques au BIPM **101**
- 5.5 Étalonnages **103**
- 5.6 Publications, conférences et voyages : section d'électricité **103**
  - 5.6.1 Publications extérieures **103**
  - 5.6.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **104**
- 5.7 Activités en liaison avec des organisations extérieures **105**
- 5.8 Activités liées au travail des Comités consultatifs **105**
- 5.9 Visiteurs de la section d'électricité **106**
- 6 Radiométrie, photométrie, thermométrie et manométrie **106**
  - 6.1 Radiométrie **106**
  - 6.2 Photométrie **107**
  - 6.3 Manométrie **109**
  - 6.4 Thermométrie **109**
  - 6.5 Travaux d'étalonnage **109**
  - 6.6 Informatique **110**
  - 6.7 Publications, conférences et voyages : section de radiométrie, photométrie, thermométrie et manométrie **110**
    - 6.7.1 Publication extérieure **110**
    - 6.7.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **110**
  - 6.8 Activités liées au travail des Comités consultatifs **111**
  - 6.9 Activités en liaison avec les organisations internationales **112**
  - 6.10 Visiteurs de la section de radiométrie, photométrie, thermométrie et manométrie **112**
  - 6.11 Stagiaire et étudiant **112**
- 7 Rayonnements ionisants **112**
  - 7.1 Rayons x et  $\gamma$  **112**
    - 7.1.1 Facteurs de correction dans les chambres à paroi d'air **112**
    - 7.1.2 Amélioration de la détermination de la dose absorbée dans l'eau **113**
    - 7.1.3 Facteur de correction de paroi pour les chambres à cavité utilisées dans des faisceaux de rayonnement  $\gamma$  **113**

- 7.1.4 Mise au point d'un nouvel étalon de dose absorbée **113**
- 7.1.5 Comparaisons et étalonnages au BIPM **114**
- 7.2 Radionucléides **115**
  - 7.2.1 Comparaison internationale de mesures d'activité d'une solution de  $^{204}\text{Tl}$  **115**
  - 7.2.2 Système international de référence pour la mesure d'activité d'émetteurs de rayonnement gamma (SIR) **115**
  - 7.2.3 Extension du SIR aux émetteurs de rayonnement bêta : comparaison de mesures d'activité de solutions étalons de  $^{90}\text{Sr}$  **116**
  - 7.2.4 Mise en œuvre de la méthode du rapport des coïncidences triples aux coïncidences doubles **116**
  - 7.2.5 Détection des impuretés radioactives **116**
  - 7.2.6 Étalonnage de sources de  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{241}\text{Am}$  et  $^{109}\text{Cd}$  **117**
- 7.3 Publications, conférences et voyages : section des rayonnements ionisants **118**
  - 7.3.1 Publications extérieures **118**
  - 7.3.2 Rapports BIPM **119**
  - 7.3.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites) **119**
- 7.4 Activités en liaison avec des organisations extérieures **120**
- 7.5 Activités liées au travail des Comités consultatifs **121**
- 7.6 Visiteurs de la section des rayonnements ionisants **121**
- 7.7 Stagiaires et étudiant **122**
- 8 Publications du BIPM **122**
  - 8.1 Publications générales **122**
  - 8.2 Metrologia **122**
- 9 Réunions et exposés au BIPM **123**
  - 9.1 Réunions **123**
  - 9.2 Exposés **123**
- 10 Certificats et Notes d'étude **124**
  - 10.1 Certificats **124**
  - 10.2 Notes d'étude **128**
- 11 Gestion du BIPM **129**
  - 11.1 Comptes **129**
    - 11.1.1 Compte I : fonds ordinaires **129**
    - 11.1.2 Compte II : caisse de retraite **131**

- 11.1.3 Compte III : fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique **131**
- 11.1.4 Compte IV : caisse de prêts sociaux **132**
- 11.1.5 Compte V : réserve pour les bâtiments **132**
- 11.1.6 Compte VI : Metrologia **133**
- 11.1.7 Compte VII : fonds de réserve pour l'assurance maladie **133**
- 11.1.8 Bilan au 31 décembre 1997 **134**
- 11.2 Personnel **135**
  - 11.2.1 Promotion et changement de grade (D. Saillard) **135**
  - 11.2.2 Engagements (P. Wolf, A. Zongo, P. Roger, G. Negadi, P.W. Martin, R. Chayramy) **135**
  - 11.2.3 Titularisation (L. Le Mée, F. Boyer, P. Lemartrier, F. Joly, A. Zongo) **135**
  - 11.2.4 Chercheurs associés (L. Vitouchkine, Z. Jiang) **136**
  - 11.2.5 Départs (J. Dias Gama, B. Bodson, D.A. Blackburn, M. Petit, A. Montbrun, M. Boutillon) **136**
- 11.3 Bâtiments **137**
  - 11.3.1 Grand Pavillon **137**
  - 11.3.2 Petit Pavillon **137**
  - 11.3.3 Observatoire **137**
  - 11.3.4 Bâtiment des lasers **137**
  - 11.3.5 Bâtiment des rayonnements ionisants **137**
  - 11.3.6 Bâtiment des neutrons **137**
  - 11.3.7 Ensemble des bâtiments **137**
  - 11.3.8 Extérieurs et parc **138**

**Liste des sigles utilisés dans le présent volume 139**

## **ÉTATS MEMBRES DE LA CONVENTION DU MÈTRE**

Afrique du Sud	Iran (Rép. islamique d')
Allemagne	Irlande
Argentine	Israël
Australie	Italie
Autriche	Japon
Belgique	Mexique
Brésil	Norvège
Bulgarie	Nouvelle-Zélande
Cameroun	Pakistan
Canada	Pays-Bas
Chili	Pologne
Chine	Portugal
Corée (Rép. de)	Roumanie
Corée (Rép. pop. dém. de)	Royaume-Uni
Danemark	Russie (Féd. de)
Dominicaine (Rép.)	Singapour
Égypte	Slovaquie
Espagne	Suède
États-Unis	Suisse
Finlande	Tchèque (Rép.)
France	Thaïlande
Hongrie	Turquie
Inde	Uruguay
Indonésie	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<sup>2</sup>) 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  $\gamma$ , électrons), Section II (Mesure des radionucléides), Section III (Mesures neutroniques), Section IV (Étalons d'énergie  $\alpha$ ) ; 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 1998.

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 29 septembre 1998

### **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, président du Korea Research Institute of Standards and Science, P.O. Box 102, Yusong, Taejon 305-600, Rép. de Corée.
4. Gao Jie, sous-directeur du National Institute of Measurement and Testing Technology, P.O. Box 659, Chengdu 610061, Sichuan, Chine.
5. K.B. Gebbie, directeur du Laboratoire de physique, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899-0001, États-Unis. *Vice-présidente.*
6. E.O. Göbel, président de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Postfach 3345, 38023 Braunschweig, Allemagne.
7. E.S.R. Gopal, membre honoraire du National Physical Laboratory of India, Dr K.S. Krishnan Road, New Delhi 110012, Inde.
8. K. Iizuka, c/o National Research Laboratory of Metrology, 1-1-4 Umezono, Tsukuba 305, Japon. *Vice-président.*
9. R. Kaarls, Klaverwydenstraat 13, 2381 VX Zoeterwoude, Pays-Bas.
10. S. Leschiutta, président de l'Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Strada delle Cacce 91, 10135 Turin, Italie.
11. O.V. Lounasmaa, Low Temperature Laboratory, Helsinki University of Technology, Otakaari 3 A, SF-02150 Espoo, Finlande.
12. G. Moscati, Instituto de Física, Université de São Paulo, Caixa Postal 66318, 05315-970 São Paulo SP, Brésil.
13. P. Pâquet, directeur de l'Observatoire royal de Belgique, 3 avenue Circulaire, B-1180 Bruxelles, Belgique.

14. R. Steinberg, Département de physique et métrologie, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, 1101 Buenos Aires, Argentine.
15. R. VanKoughnett, directeur général de l'Institut des étalons nationaux de mesure du Conseil national de recherches du Canada, Ottawa, Ontario K1A 0R6, Canada.
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, Valckenierstraat 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, Knapppstrasse 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 1<sup>er</sup> janvier 1999

**Directeur** : M. T.J. Quinn

**Longueurs** : M. J.-M. Chartier

M. R. Felder, Mme S. Picard, MM. L. Robertsson, L. Vitouchkine\*  
Mme A. Chartier, M. J. Labot

**Masse** : M. R.S. Davis

MM. A. Picard, S. Richman\*, Mlle H. Fang\*  
Mme J. Coarasa, M. J. Hostache

**Temps** : G. Petit (responsable par interim)

MM. J. Azoubib, Z. Jiang\*, W. Lewandowski, 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, D. Bournaud, R. Chayramy

**Radiométrie et photométrie** : M. R. Köhler

MM. R. Goebel, M. Stock  
MM. L. Le Mée, F. Lesueur, 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 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 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 87<sup>e</sup> session  
(29 septembre – 1<sup>er</sup> octobre 1998)**

## Ordre du jour

- 1 Ouverture de la session ; quorum ; ordre du jour.
- 2 Rapport du secrétaire et activités du bureau du Comité (octobre 1997 – septembre 1998).
- 3 Composition du Comité international.
- 4 Convocation de la 21<sup>e</sup> Conférence générale des poids et mesures.
- 5 Proposition de créer des États et entités économiques associés à la Conférence générale.
- 6 Problème des États membres de la Convention du Mètre en retard de plusieurs années dans le paiement de leur contribution.
- 7 Accord de reconnaissance mutuelle : situation actuelle.
- 8 Groupe de travail commun à l'OIML et à la Convention du Mètre.
- 9 Comités consultatifs :
  - Rapport du CCQM ;
  - Rapport du CCU ;
  - Acoustique, ultrasons et vibrations ;
  - Groupes de travail *ad hoc* ;
  - Composition des Comités consultatifs ;
  - Réunions futures.
- 10 Travaux du BIPM :
  - Rapport du directeur et présentation des travaux scientifiques ;
  - Dépôt des prototypes métriques ;
  - Proposition relative à un programme de métrologie en chimie au BIPM ;
  - Publications
- 11 Questions administratives et financières.
- 12 Questions diverses.
- 13 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 87<sup>e</sup> session les mardi 29, mercredi 30 septembre et jeudi 1<sup>er</sup> octobre 1998 au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

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, R. Kaarls, J. Kovalevsky, S. Leschiutta, O.V. Lounasmaa, G. Moscati, P. Pâquet, R. Steinberg, R. VanKoughnett, A.J. Wallard et T.J. Quinn (directeur du BIPM).

Assistaient aussi à la session : MM. E. Ambler, D. Kind, H. Preston-Thomas et J. Skákala (membres honoraires du CIPM) ; P. Giacomo (directeur honoraire du BIPM) ; I.M. Mills (président du CCU, présent le 29 septembre seulement) ; L.K. Issaev (invité du Gosstandart, Moscou, présent le 29 et le 30 septembre) ; Mme F. Joly et Mlle J.R. Miles (secrétariat).

M. Kovalevsky, président du Comité international, ouvre la 87<sup>e</sup> session et accueille les membres présents, et en particulier les membres honoraires ainsi que M. Giacomo.

Il note que tous les membres du Comité international étant présents, le quorum est atteint conformément à l'article 12 du Règlement annexé à la Convention du Mètre.

L'ordre du jour est adopté.

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 1997 – septembre 1998)

*Il faut noter que toutes les questions importantes traitées dans le rapport du secrétaire sont reprises ultérieurement au cours de la réunion au point de l'ordre du jour indiqué en référence.*

Le bureau du Comité s'est réuni trois fois d'octobre 1997 à septembre 1998, deux fois au Pavillon de Breteuil et une fois à Washington DC (États-Unis), à l'occasion de la Conference on Precision Electromagnetic Measurements.

### **2.1 États membres de la Convention du Mètre**

Les États membres de la Convention du Mètre sont toujours au nombre de quarante-huit.

### **2.2 Composition du Comité international**

Aucun nouveau membre n'a été élu au Comité international depuis octobre 1997. MM. Kai Siegbahn et Yuri Tarbéev ont présenté leur démission en août 1998, laissant deux sièges vacants au Comité international.

Kai Siegbahn était membre du Comité international depuis 1964 ; il a beaucoup contribué aux travaux du Comité pendant plus de trente ans. Il a, en particulier, été président du CCEMRI de 1965 à 1975, pendant la période où ont débuté les activités dans le domaine des rayonnements ionisants au BIPM. De manière plus générale, il a toujours apporté son soutien aux travaux scientifiques du BIPM, et contribué à renforcer son influence dans le domaine de la métrologie.

Yuri Tarbéev était membre du Comité international depuis 1994 ; il a été directeur du VNIIM à Saint-Pétersbourg, pendant ces dernières années où les laboratoires russes ont évolué très rapidement. Il a joué un rôle majeur dans la création de l'Académie des sciences métrologiques de Russie, dont ont été élus membres de nombreux métrologistes étrangers.

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.

### 2.3 Convocation de la 21<sup>e</sup> Conférence générale des poids et mesures

Le bureau a examiné en détail le projet de Convocation de la 21<sup>e</sup> Conférence générale. Le projet actuel tient compte des conclusions du rapport du Comité international intitulé *Besoins nationaux et internationaux dans le domaine de la métrologie*, rapport qui a été envoyé aux Gouvernements des États membres et aux membres du Comité international en août 1998. La Convocation comporte douze projets de résolution concernant la plupart des domaines couverts par les Comités consultatifs et d'autres sujets plus généraux, ainsi qu'un projet de résolution sur la dotation du Bureau international pour les années 2001-2004.

Le texte de la Convocation approuvé par le Comité international sera remis aux Gouvernements des États membres en décembre 1998. Un document donnant le détail du programme de travail et du budget pour les quatre années 2001-2004 sera envoyé aux Gouvernements des États membres au printemps 1999.

La Convocation couvre un certain nombre de questions importantes liées à l'avenir de la Convention du Mètre et du BIPM, comme, en particulier, l'accord de reconnaissance mutuelle des étalons nationaux de mesure et la proposition de créer une catégorie de membres associés à la Conférence générale. Si cette dernière proposition était adoptée par la Conférence générale, des États ou des entités économiques qui ne sont pas membres de la Convention du Mètre pourraient participer à l'accord de reconnaissance mutuelle. Bien que le bureau soit d'avis que ces propositions ne nécessitent pas de modifier la Convention du Mètre, le directeur du BIPM a préféré, compte tenu de leur importance, engager des discussions avec le ministère des Affaires étrangères de France pour s'assurer qu'elles reçoivent l'approbation du Gouvernement français en tant que dépositaire de la Convention du Mètre (Section 5).

### 2.4 Accord de reconnaissance mutuelle des étalons nationaux de mesure et des certificats d'étalonnage et de mesurage émis par les laboratoires nationaux de métrologie

Au cours de l'année, le bureau du Comité a suivi de près les progrès du projet d'accord 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 (Section 7).

## **2.5 Deuxième réunion des directeurs de laboratoires nationaux de métrologie**

La deuxième réunion des directeurs de laboratoires nationaux de métrologie s'est tenue à Sèvres du 23 au 25 février 1998. Le principal point à l'ordre du jour était le projet d'accord de reconnaissance mutuelle, mais une journée entière a été consacrée à la présentation d'autres questions intéressantes. La réunion a été bien perçue par les directeurs de laboratoires présents et le texte de l'accord de reconnaissance mutuelle a fait l'objet d'un large consensus. Les directeurs de trente-huit laboratoires nationaux de métrologie (c'est-à-dire tous sauf l'un des présents) ont paraphé le projet d'accord, dont le texte final devrait être ratifié au cours de la 21<sup>e</sup> Conférence générale en octobre 1999. Le lendemain de la réunion des directeurs de laboratoires, le président et le secrétaire du Comité international se sont adressés au personnel du BIPM et ont souligné l'importance que revêt l'approbation d'un tel accord pour la métrologie mondiale et l'avenir du BIPM.

## **2.6 États débiteurs de la Convention du Mètre**

Le président du Comité international et le directeur du BIPM ont été contactés par un représentant d'un État membre en retard de douze ans sur le paiement de ses contributions. Il leur a été demandé s'il était possible qu'un État réintègre la Convention du Mètre sans payer immédiatement l'intégralité de ses arriérés. Pour l'État en question (Cameroun), la dette représente une somme considérable.

Le directeur du BIPM a consulté le ministère des Affaires étrangères de France à ce sujet et il lui a été répondu que le Gouvernement français est actuellement favorable à une politique de fermeté sur la question du défaut de paiement des contributions aux organisations internationales. Il convient d'appliquer avec rigueur le règlement des organisations en ce qui concerne la perte des droits ou l'exclusion. En particulier, il a été informé que si le Comité international souhaitait exclure de la Convention certains États débiteurs (conformément à l'article 6, paragraphe 8, du règlement annexé à la Convention du Mètre), il serait fait maintenant bon accueil à sa demande. Il s'agit là d'un changement de politique ; dans le passé le Comité avait toujours été informé qu'une telle exclusion, même si elle était prévue dans le texte de la Convention du Mètre, n'était pas conforme à la politique du Gouvernement français. En ce qui concerne les États débiteurs qui souhaiteraient reprendre leurs versements, mais qui n'ont pas les moyens de payer l'intégralité de leurs

contributions arriérées en une seule fois, le ministère des Affaires étrangères de France est d'avis de les réintégrer au sein de la Convention du Mètre, sous réserve d'un engagement ferme de payer leur dette d'ici un nombre d'années déterminé. Selon les termes de la Convention, les contributions des États en retard de plus de trois ans sur leurs versements sont réparties entre tous les États membres cotisants. Les contributions impayées de la quatrième année et des années suivantes sont donc dues aux autres États membres ; de ce fait ni le Bureau international ni le Comité international ne peuvent annuler la dette sans l'approbation des États membres lors d'une Conférence générale (Section 6).

## **2.7 Nouveau bâtiment destiné à un atelier, des bureaux et des salles de réunion**

Lors de sa 86<sup>e</sup> session, le Comité international avait approuvé la proposition de construire un nouveau bâtiment destiné à un atelier, des bureaux et des salles de réunion, à l'emplacement du bâtiment des neutrons, qui sera démoli. Du fait d'un retard imprévu dans l'octroi du permis de construire par les autorités françaises, la date prévue de début des travaux a été retardée d'environ neuf mois. Nous espérons maintenant que la construction pourra débuter à l'été 1999 et que le bâtiment pourra être inauguré au début de l'année 2001.

## **2.8 Métrologie en chimie au BIPM**

Lors de sa session de février 1998, le CCQM a demandé au directeur de prendre une décision finale au sujet du programme de métrologie en chimie qui doit débuter au BIPM. Le directeur du BIPM a décidé, après consultation des membres du CCQM, d'après les réponses à un questionnaire qu'il avait envoyé à tous les délégués présents à la réunion du CCQM, y compris les invités, et après visite du BNM-LNE, du LGC, du NIST, du NMi et de la PTB qu'il serait plus approprié de débuter par un programme d'analyse de gaz.

Il a été décidé que le laboratoire de métrologie en chimie au BIPM serait installé dans les locaux maintenant occupés par l'atelier au sous-sol du bâtiment des rayonnements ionisants, après son déménagement dans le nouveau bâtiment. Le retard pris dans l'obtention du permis de construire a conduit le directeur à chercher un moyen de commencer les activités en

chimie sans attendre la fin des travaux de construction du nouveau bâtiment (Sections 9.1 et 10.3).

## **2.9 Réunion du Groupe de travail commun à l'OIML et à la Convention du Mètre**

Le Groupe de travail commun à l'OIML et à la Convention du Mètre s'est réuni au Bureau international de métrologie légale (BIML) le 26 février 1998. Conformément à la décision de ce groupe en 1997, des représentants de l'International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) assistaient aussi à la réunion. Le rapport sur la réunion a ensuite été envoyé aux membres du Comité international (Section 8).

## **2.10 La création de l'euro et ses implications sur la monnaie en usage dans les comptes du BIPM**

Une nouvelle unité monétaire, l'euro, sera en usage dans l'Union européenne le 1<sup>er</sup> janvier 1999 ; l'euro aura cours en parallèle avec les autres monnaies européennes actuellement en vigueur jusqu'au 1<sup>er</sup> janvier 2002, date à laquelle la plupart des monnaies nationales n'auront plus cours. Le taux de change entre l'euro et les monnaies européennes sera fixé définitivement le 1<sup>er</sup> janvier 1999.

Il faut donc prendre une décision quant à l'unité de compte en usage au BIPM après la disparition du franc français (et donc du franc-or). La date butoir pour prendre une telle décision est celle de la Conférence générale de 1999, au moment du vote de la dotation du BIPM pour les années 2001-2004.

## **2.11 Indications financières**

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

Comptes	1995	1996	1997	1998
I. Fonds ordinaires	20 025 336	17 897 217	23 662 921	23 990 225
II. Caisse de retraite	18 264 878	23 364 622	24 823 425	26 652 840
III. Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique	114 349	111 382	113 004	115 884
IV. Caisse de prêts sociaux	443 209	482 970	518 237	554 508
V. Fonds de réserve pour les bâtiments	0	0	1 911 247	5 635 646
VI. Metrologia	0	0	0	0
VII. Fonds de réserve pour l'assurance maladie	1 591 702	1 668 468	1 789 192	1 918 337
<b>Total</b>	<b>40 439 473</b>	<b>43 524 659</b>	<b>52 818 027</b>	<b>58 867 440</b>

## 2.12 Questions diverses

Le bureau a discuté des questions suivantes :

- des contacts entre le directeur du BIPM et le secrétaire du Comité sur les barrières techniques au commerce de l'Organisation mondiale du commerce (Section 5) ;
- de la nomination de Mme P. Allisy-Roberts comme responsable de la section des rayonnements ionisants en remplacement de Mme M. Bou-tillon à dater du 1<sup>er</sup> octobre 1998.

## 3 COMPOSITION DU COMITÉ INTERNATIONAL

La candidature des cinq personnes dont le curriculum vitae a été distribué au Comité international est discutée, afin de pourvoir les deux sièges vacants du

fait de la démission de MM. Siegbahn et Tarbéev. Deux des candidats sont choisis pour être soumis au vote par correspondance.

#### **4 CONVOCATION DE LA 21<sup>e</sup> CONFÉRENCE GÉNÉRALE DES POIDS ET MESURES**

Le projet de Convocation est discuté en détail ; certaines modifications sont apportées au texte et aux projets de résolution, et le texte définitif est approuvé. Celui-ci sera envoyé à l'imprimeur et remis aux Gouvernements des États membres par l'intermédiaire de leur ambassade à Paris en décembre 1998. Certaines questions figurant dans la Convocation seront discutées aux points de l'ordre du jour qui s'y rapportent, en particulier la proposition de créer des membres « associés » à la Conférence générale (Section 5) et le projet d'accord de reconnaissance mutuelle (Section 7).

Le Comité a discuté des conclusions du Groupe de travail commun à l'OIML et à la Convention du Mètre qui seront présentées à la Conférence générale. Il est décidé de recommander à la Conférence de ne pas donner suite pour le moment à la proposition de fusion des deux organisations.

Dans le cadre de la discussion sur le projet de résolution M sur la dotation du BIPM pour les années 2001-2004, le Comité international décide de proposer à la 21<sup>e</sup> Conférence générale que la monnaie de compte utilisée à l'avenir soit l'euro (*voir* Rapport du secrétaire ci-dessus). L'entrée en vigueur de l'euro au BIPM aura lieu à la discrétion du directeur, et l'on se prépare à l'introduire en 1999.

Le Comité international décide de recommander à la 21<sup>e</sup> Conférence générale que la dotation pour les quatre années 2001-2004 reste constante en valeur réelle et au niveau voté par la 20<sup>e</sup> Conférence générale pour l'an 2000. Les prévisions actuelles de l'inflation en France pour la période concernée étant de l'ordre de 2 % par an environ, le Comité a ensuite décidé de recommander que la dotation soit augmentée de 2 % par an pour rester constante en valeur réelle.

## 5 PROPOSITION DE CRÉER DES ÉTATS ET ENTITÉS ÉCONOMIQUES ASSOCIÉS À LA CONFÉRENCE GÉNÉRALE

Le directeur du BIPM a informé le Comité international des discussions qu'il a eues à Genève avec le secrétaire du Comité sur les barrières techniques au commerce de l'Organisation mondiale du commerce. Une des conclusions de cette discussion est qu'il faut prendre garde à ce que l'accord de reconnaissance mutuelle, qui est actuellement réservé aux États membres de la Convention du Mètre, ne soit pas considéré lui-même comme une barrière technique au commerce du fait de son caractère exclusif. Il pourrait être avancé que les pays en voie de développement ne puissent être membres de la Convention du Mètre pour des raisons économiques, car les frais engagés seraient trop élevés pour eux. Pour éviter une telle situation, le bureau du Comité a proposé la création d'une nouvelle catégorie de membres associés à la Conférence générale, ce qui permettrait à des États ou à des entités économiques qui ne sont pas encore membres de la Convention du Mètre de participer à l'accord de reconnaissance mutuelle à un coût bien inférieur à celui de l'adhésion à la Convention du Mètre.

Le directeur du BIPM résume ensuite le nouveau statut qui est proposé : un État associé ou une entité économique associée aurait le droit de participer à l'accord de reconnaissance mutuelle par l'intermédiaire de l'organisation régionale de métrologie appropriée, il pourrait assister en qualité d'observateur à la Conférence générale et recevoir les publications du BIPM. La contribution annuelle à la dotation du BIPM demandée serait de 0,05 % pour les plus petits États. Cette somme représente un dixième de la contribution minimale annuelle au BIPM d'un État membre de la Convention du Mètre. M. Quinn dit qu'un bon nombre de petits États présents lors des récentes réunions de l'APMP, de COOMET, d'EUROMET et du SIM ont fait part d'un intérêt considérable pour ce statut d'associé. Les membres associés ne seraient pas habilités à participer au Comité international, aux Comités consultatifs, ni aux comparaisons clés du BIPM ; ils ne seraient pas invités aux réunions des directeurs de laboratoires nationaux de métrologie et ne pourraient pas bénéficier d'étalonnages gratuits de leurs étalons nationaux par le BIPM.

Considérant l'impact de ce statut sur les États membres actuels, M. Quinn dit que le passage à un statut d'associé présenterait un avantage économique pour la plupart des États membres payant la contribution minimale, mais cet

avantage serait contrebalancé par le fait qu'ils seraient exclus des Comités consultatifs et qu'ils ne pourraient plus participer à d'autres activités de haut niveau du BIPM. Pour les États membres payant une contribution au-dessus du niveau minimal, il n'y aurait aucun avantage financier significatif à devenir associé.

Au cours de la discussion qui s'ensuit, il est décidé que les candidatures pour devenir membre associé doivent être adressées au directeur du BIPM qui les traitera au nom du Comité international. M. Göbel signale que le Comité international ne définit pas qui peut participer aux comparaisons régionales. M. Quinn lui répond que le texte de l'accord de reconnaissance mutuelle a envisagé le cas d'un laboratoire national de métrologie qui ne pourrait pas être rattaché à une organisation régionale de métrologie, et a envisagé des arrangements spéciaux dans ce cas peu probable. Le président note que des discussions sont en cours pour créer une organisation régionale au Moyen-Orient.

Le projet de résolution sur les membres associés à la Conférence générale est approuvé.

## **6 PROBLÈME DES ÉTATS MEMBRES DE LA CONVENTION DU MÈTRE EN RETARD DE PLUSIEURS ANNÉES DANS LE PAIEMENT DE LEURS CONTRIBUTIONS**

Le directeur du BIPM rappelle au Comité que, selon le système actuel, un État membre en retard de plus de trois années dans le paiement de ses contributions perd les avantages et prérogatives conférés par la qualité de membre de la Convention du Mètre. Parmi ceux-ci, on compte la possibilité pour un ressortissant du pays en question d'être élu membre du Comité international, la participation aux Comités consultatifs, les étalonnages gratuits par le BIPM d'un certain nombre d'étalons nationaux de mesure, la participation aux réunions des directeurs des laboratoires nationaux et, le moment venu, la pleine participation à l'accord de reconnaissance mutuelle. De plus, la contribution annuelle impayée de l'État en question est répartie entre les autres États membres, qui la paient. Le fait pour un État membre en retard de plus de trois ans (et à coup sûr de six) d'être représenté à la Conférence générale pourrait soulever des objections de la part des autres États membres.

Le directeur du BIPM remarque que si un ou plusieurs États membres cessaient d'être membres de la Convention du Mètre, cela n'aurait pas d'impact financier immédiat pour le BIPM, puisque la dotation globale votée par la précédente Conférence générale pour l'année en question et les années suivantes serait simplement répartie entre un plus petit nombre d'États membres. Cela n'aurait pas d'incidence pour les États payant la contribution maximale ou minimale, mais uniquement pour les autres. Ainsi, la répartition des contributions entre les États serait légèrement modifiée. Lors de la Conférence générale suivante, les États membres devraient décider s'ils souhaitent modifier ou pas la dotation globale.

En 1999 les contributions de neuf États membres en retard de plus de trois ans dans le paiement de leur contribution seront réparties (Argentine, Cameroun, Chili, République populaire démocratique de Corée, République dominicaine, Indonésie, Iran, Pakistan et Venezuela).

Le directeur du BIPM, considérant la proposition du ministère des Affaires étrangères de France (exposée précédemment dans le rapport du secrétaire) d'aider un État débiteur qui ne pourrait payer l'intégralité de ses arriérés en une seule fois, propose qu'un tel État en retard de  $n$  années se voie offrir la possibilité d'étaler le paiement de ses contributions arriérées sur une période correspondante de  $n$  années. Il propose aussi que le Comité demande au Gouvernement français d'exclure de la Convention un ou deux États dont les contributions n'ont pas été payées depuis de nombreuses années. Ces deux propositions sont bien accueillies. Il est demandé de préciser ces possibilités offertes et la politique qui s'y rapporte.

M. Kaarls se demande si l'exclusion de la Convention du Mètre ne pourrait pas être interprétée comme une barrière technique au commerce. M. Kind répond que tel n'est pas le cas, parce que l'État en question a la possibilité de devenir membre associé à la Conférence générale. M. VanKoughnett demande si un État membre débiteur peut vraiment devenir membre associé. M. Quinn lui répond qu'en principe c'est possible, mais il faudra que la question de la dette de cet État soit discutée par la Conférence générale. Quant aux États associés qui seraient en retard dans le paiement de leur contribution, il est décidé qu'ils perdent automatiquement leur statut d'associé après trois ans de non-paiement. Cette période ne devrait pas être plus courte, car des pressions politiques momentanées peuvent parfois entraîner un retard de paiement involontaire.

M. Kaarls demande quelle serait la politique adoptée dans l'éventualité où un État débiteur ayant quitté la Convention du Mètre demanderait par la suite à

la réintégrer. M. Quinn répond que cette question devrait faire l'objet d'une discussion à la Conférence générale, parce que les sommes dues au-delà de trois années sont dues aux autres États membres et pas au BIPM. Bien que, dans le passé, de telles dettes aient parfois été effacées par le Comité international, il semble peu probable que les États membres soient aujourd'hui d'accord pour accepter une telle solution. Les autres États membres risquent de ne pas être favorables à la réintégration d'un État qui aurait quitté la Convention du Mètre sans avoir payé son dû, ou du moins sans qu'une longue période ne se soit écoulée entre le retrait et la demande de réintégration.

## **7 ACCORD DE RECONNAISSANCE MUTUELLE : SITUATION ACTUELLE**

Le directeur du BIPM présente les changements récents apportés à l'accord de reconnaissance mutuelle. Ils concernent : une modification au paragraphe 7.3 ayant pour but de préciser que les laboratoires nationaux de métrologie qui appliquent le Guide 25 de l'ISO, sans intervention extérieure d'un organisme répondant aux normes du Guide 58 de l'ISO, respectent les procédures mentionnées au paragraphe 7.3b ; une modification ayant pour objet de préciser que les aptitudes en matière d'étalonnage mentionnées au paragraphe 7.3 et à d'autres endroits, comprennent les incertitudes spécifiées. Il demande aussi au Comité international d'approuver l'annexe E relative aux missions du Comité mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM. Le Comité approuve ces changements. M. Kaarls demande d'ajouter une nouvelle sous-section à la 1<sup>re</sup> partie pour expliquer en quoi consiste le statut d'associé à la Conférence générale. Cette proposition est aussi acceptée. Le directeur du BIPM apportera les changements demandés ; les membres pensent qu'il n'est pas nécessaire de les communiquer aux directeurs de laboratoires nationaux avant la mise au point du texte définitif au début de l'an prochain.

M. Quinn informe les membres du Comité international que le directeur du NIST lui a fait savoir qu'il était d'accord pour parapher le projet d'accord daté du 21 juillet 1998. Ce texte a été envoyé à tous les directeurs de laboratoire qui ont paraphé le projet d'accord en février 1998, en leur demandant d'approuver le texte modifié. Tous n'ont pas répondu, mais tous

ceux qui ont répondu sont d'accord pour parapher le nouveau texte. M. Quinn espère que les modifications apportées à cet accord après la réunion du Comité mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM qui doit avoir lieu les 15 et 16 février 1999 seront les dernières. Il est prévu que l'accord de reconnaissance mutuelle soit signé lors de la réunion des directeurs de laboratoires nationaux le jeudi 14 octobre 1999, durant la 21<sup>e</sup> Conférence générale.

M. Kaarls demande des éclaircissements sur les personnes morales habilitées à signer cet accord. Le directeur du BIPM répond que l'accord de reconnaissance mutuelle spécifie qu'il doit s'agir d'un représentant de chaque État membre ou État associé, ce qui signifie que les États membres ayant plusieurs laboratoires nationaux de métrologie doivent désigner le directeur habilité à signer l'accord de reconnaissance mutuelle et par conséquent à être l'interlocuteur privilégié pour toute relation officielle sur le plan international.

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

### **8.1 Rapport sur la réunion de février 1998**

Le Comité a discuté du rapport sur la réunion du Groupe de travail commun à l'OIML et à la Convention du Mètre qui a eu lieu en février 1998. Le Comité a approuvé la proposition de continuer de telles réunions pour maintenir un contact étroit entre ces deux organisations.

### **8.2 Réunion sur le rôle de la métrologie dans le développement économique et social**

Le Comité a bien accueilli le rapport du directeur du BIPM faisant part du succès de la réunion organisée conjointement par le BIPM, l'IMEKO, l'OIML et la PTB sur « Le rôle de la métrologie dans le développement économique et social », réunion qui s'est tenue à la PTB du 15 au 18 juin 1998. Cette réunion a été très appréciée par les quatre-vingts États participants ; il est à souhaiter que cette expérience soit renouvelée d'ici quelques années.

Le président du Comité ajoute que c'est une bonne occasion pour rencontrer les représentants des États susceptibles de devenir membres associés à la Conférence générale. Au nom du Comité, il remercie l'IMEKO, l'OIML, et plus particulièrement la PTB, pour leur coopération.

## 9 COMITÉS CONSULTATIFS

Depuis octobre 1997, deux Comités consultatifs se sont réunis. Il s'agit du Comité consultatif pour la quantité de matière et du Comité consultatif des unités.

### 9.1 Comité consultatif pour la quantité de matière

M. Kaarls, président du Comité consultatif pour la quantité de matière (CCQM), présente un bref rapport sur la 4<sup>e</sup> session de ce Comité qui s'est tenue les 19 et 20 février 1998 au Pavillon de Breteuil.

La question des laboratoires habilités à participer aux activités du CCQM a fait l'objet d'une discussion parce que, dans ce domaine en particulier, les meilleurs équipements ne se trouvent pas nécessairement dans les laboratoires nationaux de métrologie. Le directeur du BIPM a confirmé que des laboratoires autres que les laboratoires nationaux de métrologie peuvent effectuer des travaux préliminaires à une comparaison clé mais que, en général, seuls les laboratoires nationaux ou les laboratoires habilités par ceux-ci peuvent participer aux comparaisons clés. Les noms de ces laboratoires sont toujours associés à celui du laboratoire national.

Le CCQM a discuté à nouveau de la définition d'une méthode primaire et a accepté d'en réviser la définition. M. Kaarls résume les activités des trois groupes de travail sur les comparaisons internationales, dans le domaine de l'analyse organique, de l'analyse inorganique et de l'analyse de gaz. Trois nouvelles comparaisons clés et cinq comparaisons clés potentielles (désignées sous les références CCQM-K4 à K11) ont été approuvées et plusieurs d'entre elles sont bien avancées. Les présidents des groupes de travail du CCQM ont décidé de se réunir en octobre 1998 pour discuter de plusieurs questions importantes, comme l'analyse de l'incertitude de mesure ou l'harmonisation des protocoles pour les comparaisons clés organisées par le CCQM.

Le CCQM a discuté du rôle de la métrologie en chimie ; suivant le sentiment unanimement partagé, il est hautement souhaitable que le BIPM dispose de son propre laboratoire pour la chimie et qu'il ait des activités dans ce domaine. Une gamme de sujets d'étude possibles a été proposée et discutée, et le directeur du BIPM a été invité à étudier ces possibilités plus en détail avant de choisir le programme de travail à exécuter au BIPM (*voir* Rapport du secrétaire et Section 10.3).

Le rapport détaillé sur la réunion du CCQM sera publié par le BIPM dans la série *BIPM Com. cons. quantité de matière*. Il comprendra la liste des documents de travail, tous disponibles sur demande auprès du BIPM.

Le président remercie M. Kaarls pour la présentation de son rapport. Il félicite les membres du CCQM pour les progrès considérables qu'ils ont réalisés, car ils ont entrepris un travail d'envergure et ils l'ont bien fait. M. Kind s'enquiert du statut des laboratoires membres des Comités consultatifs et de leur participation aux comparaisons clés. M. Kaarls dit que de nombreux laboratoires, qui ne sont pas des laboratoires nationaux de métrologie, aimeraient prendre part aux activités métrologiques au plus haut niveau, et il cite comme exemple le LGC. Le directeur du BIPM rappelle que l'accord de reconnaissance mutuelle stipule spécifiquement qu'un seul laboratoire par État est habilité à signer l'accord, une telle disposition devrait simplifier grandement la coordination des activités à l'avenir. Le président accepte que le bureau du Comité étudie la politique à suivre dans ce domaine avant la réunion prévue l'an prochain.

## 9.2 Comité consultatif des unités

M. Mills, président du Comité consultatif des unités (CCU), est invité à présenter son rapport au Comité international. Il explique qu'au cours des dix-huit derniers mois beaucoup d'efforts ont été consacrés à la production de la 7<sup>e</sup> édition de la brochure sur le Système international d'unités (SI) qui a été publiée en juin 1998, et il attire l'attention sur quelques changements importants apportés à cette brochure.

Le CCU a tenu sa 13<sup>e</sup> session les 8 et 9 septembre 1998 au Pavillon de Breteuil. Un certain nombre de questions relatives au SI ont été discutées ; elles font l'objet de trois recommandations proposées au Comité international : la Recommandation U 1 (1998) propose l'adoption du nom « katal » (symbol kat) pour désigner l'unité SI « mole par seconde » ; la Recommandation U 2 (1998) propose l'adoption du nom neper (symbole Np)

comme unité dérivée du SI ; la Recommandation U 3 (1998) propose d'adopter, pour le nombre un, considéré comme une unité dérivée sans dimension du SI, un nouveau nom spécial auquel les préfixes SI pourraient être adjoints. Après une longue discussion, le CCU a recommandé le nom « uno », symbole « U ». Une discussion a aussi eu lieu sur l'opportunité d'harmoniser la forme des définitions des unités de base du SI. Le CCU n'a pris aucune décision définitive à ce sujet, mais ce point sera soulevé au cours des réunions des Comités consultatifs l'an prochain.

Le rapport détaillé sur la réunion du CCU sera publié par le BIPM dans la série *BIPM Com. cons. unités*. Il comprendra la liste des documents de travail, tous disponibles sur demande auprès du BIPM.

M. Gopal félicite M. Mills pour la nouvelle édition de la brochure sur le SI. M. Blevin demande si le CCU a l'intention de proposer beaucoup de noms spéciaux d'unités dans le SI. M. Mills répond que le cas du katal est particulier et qu'il se rapporte à un domaine spécifique ; il n'a pas l'intention d'ouvrir la voie à d'autres noms spéciaux.

MM. VanKoughnett et Iizuka se demandent si le symbole « U » proposé pour l'unité portant le nom « uno » ne risque pas de prêter à confusion, parce que le symbole « U » est utilisé pour désigner l'incertitude étendue. M. Mills répond que ces deux symboles sont différenciés par le fait que l'un est en italique et l'autre pas, et il ajoute que le nom d'unité « uno » n'est pas destiné à être utilisé seul mais associé à un préfixe SI. M. Iizuka, toutefois, craint que le symbole « U » ne prête à confusion lorsqu'il est employé pour exprimer une incertitude. M. Kind ajoute que les abréviations « ppb » et « ppt » sont ambiguës et qu'on devrait éviter de les employer. M. Leschiutta ajoute que l'abréviation « ppm » est, elle aussi, ambiguë en italien, parce qu'elle désigne aussi bien  $10^{-6}$  que  $10^{-3}$ . M. Mills se range à l'idée qu'il faudra très longtemps avant que le nom d'unité « uno » soit d'usage courant, et M. Gopal rappelle qu'il s'est écoulé environ soixante ans avant que l'usage des noms d'unités « torr » et « mbar » ne tombe en désuétude pour être remplacé par le nom d'unité SI « pascal ».

Le président dit que la question majeure est de savoir quel est l'avantage d'écrire, par exemple,  $1 \mu\text{U}$  plutôt que  $10^{-6}$ ? Le directeur du BIPM mentionne qu'il a écrit un article avec M. Mills sur l'usage du « pour cent » et du « ppm », pour *Metrologia* (volume 35, n° 6, 807-810). Il ajoutera un paragraphe supplémentaire à cet article à la lumière des discussions du Comité international.

Le Comité international décide d'approuver la Recommandation U 2, sur le neper, et de présenter un projet de résolution à ce sujet à la Conférence générale, en soulignant qu'il est important de préciser le niveau de référence quand on emploie des grandeurs logarithmiques. La Recommandation U 1, sur le katal, devra être soumise au CCQM avant d'être présentée à nouveau au Comité international en 1999. Le Comité international prend acte de la Recommandation U 3, sur l'uno, mais n'y donne pas suite pour le moment. Il préfère attendre que ce point soit discuté plus en détail dans les journaux scientifiques.

Le président remercie M. Mills pour la présentation de son rapport.

### **9.3 Création d'un nouveau Comité consultatif : le Comité consultatif de l'acoustique, des ultrasons et des vibrations**

M. Wallard présente son rapport sur la réunion relative à l'acoustique, aux ultrasons et aux vibrations qui s'est tenue au NPL les 10 et 11 mars 1998. Vingt-deux experts de dix-sept pays différents ont participé à cette réunion présidée par M. Wallard. Les participants à la réunion ont montré l'intérêt qu'il y aurait à encourager certaines activités de recherche. Ils ont proposé cinq comparaisons clés, mis en place un groupe chargé de contrôler les comparaisons clés et exprimé le souhait que le Comité international reconnaisse les efforts considérables consacrés à ce sujet sur le plan international en créant un nouveau Comité consultatif. Ils ont aussi exprimé le souhait de fournir des articles pour un numéro spécial de *Metrologia* sur le sujet (dont la publication est envisagée pour la fin de 1999). M. Wallard soutient fortement la création du Comité consultatif de l'acoustique, des ultrasons et des vibrations.

M. Kaarls est d'avis qu'il est nécessaire que le BIPM ou le Comité international coordonne les activités dans le domaine de l'acoustique et des vibrations, mais il se demande si cette activité ne pourrait pas être prise en charge par un groupe de travail rattaché à un Comité consultatif existant au lieu d'en créer un nouveau. Il se dit préoccupé par la prolifération de nouveaux Comités consultatifs, d'autres membres du Comité international expriment la même inquiétude. Le président accepte que le bureau du Comité se charge de préciser les critères qui motivent la création de nouveaux Comités consultatifs.

M. Blevin dit que le CSIRO est hautement favorable à l'établissement d'une entité responsable de l'acoustique et des vibrations. Il n'existe pas

d'organisme en charge de ce domaine sur le plan international. Ce domaine étant nettement différent de ceux dont s'occupent les Comités consultatifs existants, il estime que ce serait une solution bureaucratique et non scientifique d'appeler groupe de travail l'entité en charge de ce domaine.

Le président attire l'attention sur la difficulté de placer correctement ce groupe de travail hypothétique sous les auspices d'un Comité consultatif existant. Dans les laboratoires nationaux de métrologie, par exemple, le service en charge de l'acoustique et des vibrations est parfois rattaché à la section d'électricité et parfois à la section des masses. Le directeur du BIPM est favorable à la création d'un nouveau Comité consultatif dans ce domaine, qui est très actif. Il pense qu'un groupe de travail sur l'acoustique, les ultrasons et les vibrations n'aurait pas sa place au sein de l'un des Comités consultatifs existants et qu'il devrait présenter chaque année au Comité international un rapport séparé sur ses activités. M. Moscati met en garde contre le danger d'éclatement d'un Comité consultatif du fait d'intérêts divergents.

À la suite d'un vote, le Comité approuve la création avec effet immédiat du Comité consultatif de l'acoustique, des ultrasons et des vibrations (CCAUV) par quatorze voix pour, deux contre et une abstention. Le président demande à M. Wallard de présider par interim ce comité et d'organiser sa première réunion. Mme Allisy-Roberts du BIPM sera la secrétaire exécutive de ce nouveau Comité consultatif.

## 9.4 Groupes de travail *ad hoc*

### 9.4.1 Groupe de travail *ad hoc* sur la dureté

M. Iizuka présente un rapport sur les conclusions du Groupe de travail *ad hoc* sur la dureté établi lors de la 86<sup>e</sup> session du Comité international (1997). Les réponses à un questionnaire envoyé aux laboratoires nationaux de métrologie indiquent un besoin manifeste de comparaisons internationales d'étalons d'échelles de dureté. Ces étalons sont habituellement conservés par les laboratoires nationaux de métrologie, plutôt que par les laboratoires industriels. La plupart des correspondants sont intéressés par une comparaison internationale d'échelles de dureté : échelles de Rockwell (HR), de Vickers (HV) ou de Brinell (HB), comparaison qui serait organisée par un comité (ou un groupe de travail) indépendant ou par le Comité international.

M. Blevin note que cette étude a été entreprise en réponse à la demande des laboratoires nationaux de métrologie. M. Gopal remarque que le Comité

international doit répondre aux besoins actuels ; il est favorable à une comparaison internationale d'échelles de dureté, même si la dureté est généralement exprimée en unités d'échelles de dureté en usage dans l'industrie plutôt qu'en unités du SI. M. Wallard est d'avis qu'il est important de donner des fondements métrologiques solides à ce domaine fondamental de l'activité industrielle. M. Kaarls souligne le parallèle avec la comparaison clé du CCQM sur la mesure du pH.

M. Kind estime que l'IMEKO doit être pleinement associée à ces activités. M. Iizuka répond que l'IMEKO n'effectuerait pas de comparaison internationale d'étalons de dureté, mais peut donner des avis utiles. Le président confirme que l'IMEKO pourrait certainement devenir membre du groupe de travail *ad hoc*.

Le Comité approuve la poursuite des activités du Groupe de travail *ad hoc* sur la dureté ; M. A. Germak (IMGC) est nommé président de ce groupe.

#### 9.4.2 Proposition de nouvelles activités sur le débit de fluides et la viscosité

M. Göbel présente son rapport sur l'étude, demandée par le Comité international lors de sa dernière session, sur l'opportunité de créer un groupe de travail sur les mesures de débit de fluides. M. Dopheide de la PTB a présenté cette année aux spécialistes du domaine deux exposés sur les comparaisons clés, l'accord de reconnaissance mutuelle et le rôle des Comités consultatifs. Ces exposés ont été présentés lors de la réunion d'EUROMET sur les mesures de débit de fluides en mars 1998, et lors d'une réunion du groupe TC 9 de FLOMEKO'98 en juin 1998. À ces deux occasions, la communauté s'est montrée très favorable à la création d'un groupe de travail *ad hoc* international sur les mesures de débit de fluides.

Quatre-vingt deux exemplaires d'un questionnaire ont été envoyés aux spécialistes de soixante-sept institutions dans le monde, pour savoir s'il est nécessaire de créer un groupe de travail sur les mesures de débit de fluides, et recueillir des suggestions sur les activités préliminaires de ce groupe. Lors de la réunion, vingt-neuf réponses au questionnaire avaient été reçues de vingt-trois pays différents, favorables à une action coordonnée sur le plan international pour les mesures de débit de fluides. Les principaux centres d'intérêt portent sur les comparaisons clés et la coordination des travaux de

recherche. De plus, des suggestions détaillées ont été faites pour cette coopération.

Pour ce qui concerne le domaine du débit de fluides, le président demande à M. Göbel de former un petit groupe de travail sur les mesures de débit de fluides qui sera chargé de présenter un rapport au Comité international sur les comparaisons utiles et les laboratoires participants. M. Göbel accepte de mettre en place le groupe de travail (qui sera présidé par M. Dopheide, de la PTB) et de convoquer une réunion avant la prochaine session du Comité international.

La question de la création d'un groupe de travail sur la viscosité est posée et M. Kaarls accepte d'organiser une réunion d'experts du domaine pour étudier la nécessité de comparaisons internationales.

### 9.5 Composition des Comités consultatifs

La demande des laboratoires suivants à être membre (ou observateur) des Comités consultatifs est discutée et approuvée : le GUM (Pologne) devient membre du CCM, le Justervesenet (Norvège) observateur du CCEM, le PSB (Singapour) observateur du CCPR, le CSIRO (Australie) et l'Australian Government Analytical Laboratory observateurs du CCQM.

### 9.6 Réunions futures des Comités consultatifs

Conformément à ce qui avait été décidé par le Comité international lors de sa 86<sup>e</sup> session, les réunions des Comités consultatifs et autres réunions au BIPM auront lieu aux dates suivantes :

<b>CCEM</b>	aucune date n'est fixée
<b>CCL</b>	2000
<b>CCPR</b>	24-26 mars 1999
<b>CCQM</b>	10-12 février 1999
<b>CCRI</b>	3 juin 1999
Section I	26-28 mai 1999
Section II	31 mai-2 juin 1999
Section III	31 mai-1 <sup>er</sup> juin 1999
<b>CCM</b>	12-14 mai 1999
<b>CCT</b>	prévue en juin 1999 et repoussée au printemps 2000
<b>CCTF</b> (précédé de la réunion des représentants des laboratoires qui contribuent au TAI)	20-22 avril 1999  19 avril 1999

CCAUV	20-21 juillet 1999
CCU	aucune date n'est fixée
Comparaisons clés	19-20 janvier 1999
JCRB	15-16 février 1999

## 10 TRAVAUX DU BIPM

### 10.1 Rapport du directeur et présentation des travaux scientifiques par le personnel du BIPM

Le président remercie le directeur et le personnel du BIPM pour leur excellente présentation des travaux scientifiques et la visite des laboratoires. Il remercie en particulier Mme Mireille Boutillon, responsable de la section des rayonnements ionisants, qui prendra sa retraite le jour même après trente-cinq ans passés au BIPM. Il dit combien le Comité international a apprécié son dévouement.

Au nom du personnel, le directeur remercie les membres du Comité international de l'intérêt qu'ils ont manifesté lors de la visite des laboratoires, qui a été fort appréciée cette année.

M. Wallard note, qu'en réponse à la demande formulée par le Comité international l'an passé, il a constaté avec plaisir que le nombre d'articles de recension publiés par le personnel a augmenté.

### 10.2 Dépôt des prototypes métriques

Le rapport suivant a été rédigé à l'issue de la visite au dépôt des prototypes métriques. Le seul prototype métrique qui représente encore aujourd'hui officiellement une unité de base du SI est le prototype international du kilogramme. Ce prototype et ses témoins sont conservés au nouveau caveau installé en 1997 ; l'ancien prototype international du mètre et ses témoins sont conservés dans un deuxième coffre placé dans la même salle, mais leur présence n'est pas officiellement vérifiée chaque année.

**Visite du dépôt des prototypes métriques : procès-verbal**

Le 30 septembre 1998, à 17 h 30, en présence du président du Comité international des poids et mesures (CIPM), du directeur du Bureau international des poids et mesures (BIPM) et du représentant du conservateur des Archives nationales, il a été procédé à la visite du dépôt des prototypes métriques internationaux du Pavillon de Breteuil.

On avait réuni les trois clés qui ouvrent le dépôt : celle qui est confiée au directeur du Bureau international, celle qui est déposée aux Archives nationales, à Paris, et que Mme Arnauld, directeur des Archives nationales avait apportée, celle enfin dont le président du Comité international a la garde.

Les deux portes de fer du caveau ayant été ouvertes ainsi que le coffre-fort, on a constaté dans ce dernier la présence des prototypes et de leurs témoins.

On a relevé les indications suivantes sur les instruments de mesure placés dans le coffre-fort :

température actuelle : 23 °C  
 température maximale : 24 °C  
 température minimale : 20,5 °C  
 état hygrométrique : 60 %

On a alors refermé le coffre-fort ainsi que les portes du caveau.

Le directeur du BIPM, T.J. Quinn	Pour le conservateur des Archives de France, Mme Arnauld	Le président du CIPM, J. Kovalevsky
--	--	---

**10.3 Proposition relative à un programme de métrologie en chimie au BIPM**

En réponse à la demande du CCQM concernant l'établissement d'une nouvelle section de chimie au BIPM, le directeur du BIPM présente ses conclusions quant au choix des activités les plus appropriées : il suggère de commencer par l'analyse de gaz. Sa décision est fondée sur les réponses à un questionnaire envoyé aux délégués et invités au CCQM après la 4<sup>e</sup> session qui s'est tenue en février 1998, et plus particulièrement sur des discussions approfondies qu'il a eues lors de visites de laboratoires nationaux (*voir* le Rapport du secrétaire ci-dessus). M. Quinn dit que les réponses claires et

précises qu'il a reçues l'ont beaucoup aidé ; trois des cinq laboratoires visités proposaient de débiter par un programme d'analyse de gaz.

L'analyse de gaz est considérée comme un domaine de plus en plus important de la métrologie, non seulement pour la communauté des chimistes, mais aussi au niveau mondial. Les activités sur l'analyse de gaz au BIPM seront utiles aux laboratoires actifs dans ce domaine. Elles pourraient rapidement devenir des comparaisons clés ; en effet c'est dans ce domaine que le CCQM a le plus progressé dans l'identification et la mise en oeuvre des comparaisons clés. M. Quinn espère aussi pouvoir effectuer assez rapidement des étalonnages. Dans un domaine aussi actif et en progrès, il existe de nombreux sujets de recherche. De plus, les équipements requis pour mettre en place un laboratoire d'analyse de gaz de bon niveau demandent moins de moyens que dans les autres domaines de la chimie ; les investissements financiers initiaux pour mettre en place les installations et les équipements ne dépasseront pas le budget fixé par le Comité international pour ce programme.

M. Quinn dit que le retard dans la construction du nouveau bâtiment pose un problème de locaux, mais le sous-sol du bâtiment des rayonnements ionisants pourrait être utilisé si une partie des locaux actuellement affectés à l'atelier étaient libérés. Le fait que huit membres du personnel (soit environ 10 %) prennent leur retraite en 1998 permet une certaine flexibilité, et il serait possible de créer une équipe de quatre personnes (dont deux ou trois personnes hautement qualifiées) sans dépasser le nombre total, déjà fixé, de personnes employées au BIPM. Plusieurs laboratoires nationaux de métrologie ont offert d'envoyer des consultants au BIPM pour une courte période pour aider à mettre en place ce programme, et M. Quinn a l'intention de profiter de ces offres.

Le Comité international approuve officiellement la proposition du directeur du BIPM de commencer un programme d'analyse de gaz au BIPM.

#### 10.4 Publications

M. Martin, le nouveau responsable des publications au BIPM et rédacteur en chef de *Metrologia*, est invité à se joindre au Comité international. M. Martin remercie tout d'abord M. Blackburn, qui a pris sa retraite en juin 1998, de lui avoir laissé *Metrologia* en aussi bonne santé, et il se considère comme très honoré de prendre la suite des précédents rédacteurs de *Metrologia*.

Le nombre d'articles ordinaires soumis à *Metrologia* en 1998 est du même ordre qu'en 1997, mais cette année un grand nombre de manuscrits ont été

soumis pour publication dans le numéro spécial consacré à la conférence NEWRAD'97 qui doit paraître prochainement. Il dit que le site Web du BIPM, ouvert au début de l'année, a suscité un grand intérêt, et il signale qu'une nouvelle version plus riche devrait bientôt être mise en service, avec un service complémentaire : une librairie électronique. Elle facilitera l'achat des publications du BIPM et permettra aussi d'acheter le guide de l'UICPA édité par M. Mills ainsi qu'une sélection de guides de l'ISO sur les unités et les incertitudes de mesure. M. Quinn ajoute que cela facilitera grandement l'accès à ces publications. Il rappelle au Comité que, si les publications du BIPM jouent un grand rôle dans la visibilité du bureau, elles représentent une lourde charge de travail.

M. VanKoughnett s'enquiert du coût de production des publications du BIPM. M. Quinn répond que la production de publications bilingues est coûteuse par nature, mais il espère en limiter le coût en réduisant, autant que possible, la longueur des rapports. Les membres du Comité international espèrent que le rapport détaillé des sessions du Comité ne sera pas écourté, car c'est un document d'archive important sur ses décisions.

Le président remercie la section des publications pour ses travaux, et M. Martin pour son exposé.

## 11 QUESTIONS ADMINISTRATIVES ET FINANCIÈRES

Le président accueille Mme Perent, administrateur du BIPM, et 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 1997*, ainsi que le rapport de l'expert comptable pour 1997. Le *Rapport annuel* a été envoyé aux Gouvernements des États membres en mars 1998.

Ces deux rapports sont approuvés par le Comité et quitus est donné au directeur et à l'administrateur du BIPM pour l'exercice 1997. L'état d'avancement du budget pour l'exercice 1998 est présenté et approuvé. Un projet de budget pour 1999 est présenté et approuvé par le Comité.

Le Comité approuve une proposition de modification des Statuts du personnel, proposée par le directeur du BIPM, relative aux prestations familiales, pour s'aligner sur les statuts des organisations internationales

coordonnées (dont l'ESA et l'OCDE). Ce changement concerne le paiement d'allocations familiales aux membres du personnel du BIPM ayant des enfants à charge au chômage, âgés au plus de vingt-cinq ans.

### Budget pour 1999

#### Recettes

	francs-or
<i>Recettes budgétaires :</i>	
1. Contributions des États	29 642 000
2. Intérêt des fonds	1 400 000
3. Taxes de vérification	321 000
<b>Total</b>	<b>31 363 000</b>

#### Dépenses

##### A. Dépenses de personnel :

1. Salaires	11 951 000	}	18 558 000
2. Allocations familiales et sociales	2 374 000		
3. Assurance maladie	1 139 000		
4. Assurance accidents	46 000		
5. Caisse de retraite	3 048 000		

##### B. Dépenses de fonctionnement :

1. Laboratoires et ateliers	1 200 000	}	4 636 000
2. Chauffage, eau, énergie électrique	470 000		
3. Assurances	82 000		
4. Impression et publications	273 000		
5. Frais de bureau	570 000		
6. Voyages et transports de matériel	1 018 000		
7. Entretien courant	556 000		
8. Bibliothèque	368 000		
9. Bureau du Comité	99 000		

C. Dépenses d'investissement 4 411 000

D. Bâtiments 2 836 000

E. Frais divers et imprévus 922 000

**Total 31 363 000**

## 12 QUESTIONS DIVERSES

### 12.1 Les étalons soi-disant intrinsèques

M. Wallard dit que le terme « étalons intrinsèques » est toujours d'usage courant, en particulier aux États-Unis. Il a participé à une réunion du Comité sur les étalons intrinsèques de la National Conference of Standards Laboratories (NCSL) en juillet 1998, où il a présenté le point de vue du Comité international tel qu'il est décrit dans le rapport de la 86<sup>e</sup> session du Comité international (1997). Il s'en est suivi une discussion sur un certain nombre de points, comme le problème non résolu des déclarations fallacieuses faites par les fabricants d'instruments de mesure, la définition de la NCSL sur les étalons intrinsèques accompagnée d'un certain nombre de notes que les lecteurs ne lisent pas nécessairement, et le sentiment que les utilisateurs pourraient être induits en erreur en pensant que de tels étalons soi-disant intrinsèques pourraient leur offrir des équipements de mesure de la plus haute exactitude.

Le directeur du BIPM est d'accord avec M. Wallard. Il suggère que tous deux publient une note au sujet des étalons intrinsèques et expliquent comment des réalisations indépendantes des unités du SI peuvent être reliées aux systèmes nationaux de mesure, établissant ainsi la traçabilité au SI.

Le Comité est d'avis que :

- Une réalisation de l'EIT-90, ou d'un étalon de tension ou de résistance fondé sur l'effet Josephson ou sur l'effet Hall quantique, peut être considérée comme une réalisation primaire de l'unité sous réserve de prendre les précautions d'usage et de suivre les directives établies par le Comité consultatif en question. Un bilan d'incertitude complet doit, bien sûr, être effectué.
- Une réalisation primaire indépendante de ce type ne peut être reliée au système de mesure national, et donc international, que par le biais d'une comparaison correctement organisée entre cet étalon indépendant et celui conservé par le laboratoire national de métrologie. Les résultats de cette comparaison doivent être décrits dans un rapport commun publié et facile d'accès.
- Dans ces conditions, la traçabilité au SI peut être réalisée *sans avoir recours à un étalonnage* fourni par un laboratoire national de métrologie.

## 12.2 Discussion sur l'analyse des résultats des comparaisons clés

M. Kaarls attire l'attention du Comité sur le problème de la définition de la valeur de référence d'une comparaison internationale. Le directeur du BIPM pense que l'analyse des résultats des comparaisons est un sujet important et il est prêt à accepter la suggestion d'organiser une réunion au BIPM pour discuter des stratégies d'analyse. Il propose que cette réunion soit constituée de présentations de spécialistes de la question, suivies de discussions entre les participants à la réunion ; les directeurs de tous les laboratoires nationaux de métrologie qui sont membres des Comités consultatifs devraient être invités à y envoyer trois représentants au maximum. Les membres du Comité pensent qu'une telle réunion serait très utile. M. VanKoughnett dit que de nombreuses discussions ont eu lieu au sein de son laboratoire sur ce sujet, et que les avis étaient très variés. Mme Gebbie pense qu'il faut se concentrer sur les aspects techniques plutôt que politiques, et qu'il ne s'agit pas d'établir une politique cohérente pour tous les Comités consultatifs mais de comprendre les situations individuelles. M. Moscati ayant suggéré que les spécialistes invités préparent des projets de documents qui seraient distribués avant la réunion, M. Quinn lui répond que ce serait utile, sous réserve de disposer du temps nécessaire. Compte tenu du nombre important des réunions des Comités consultatifs prévues en 1999, il pense qu'il serait préférable d'organiser cette réunion en janvier 1999 à Sèvres.

Le président demande au directeur du BIPM d'organiser cette réunion, et invite les membres du Comité à suggérer des noms d'intervenants appropriés.

## 12.3 Questions diverses

Le Comité approuve la proposition du président de nommer M. Siegbahn membre honoraire du Comité international.

Au nom du Comité, le directeur du BIPM écrira à M. de Boer pour lui exprimer la sympathie des membres du Comité international à l'occasion du décès de son épouse.

M. Leschiutta attire l'attention du Comité sur l'École d'été Enrico Fermi sur la métrologie et les constantes fondamentales, qui doit avoir lieu à Varenna durant l'été 2000. Les étudiants qui y assisteront seront sélectionnés sur recommandation des directeurs des laboratoires nationaux de métrologie. Le directeur du BIPM demande aux membres du Comité de suggérer des noms de professeurs de haut niveau.

M. Quinn attire aussi l'attention sur une réunion de deux jours sur la constante gravitationnelle : théorie et expériences 200 ans après Cavendish, qu'il a organisée avec M. Speake à l'université de Birmingham en collaboration avec l'Institute of Physics, et qui doit avoir lieu en novembre 1998 à Londres.

### **13      PROCHAINE SESSION DU COMITÉ INTERNATIONAL**

La prochaine session du Comité international aura lieu le jeudi 7 et le vendredi 8 octobre 1999, juste avant la 21<sup>e</sup> Conférence générale.

Le président clôt la 87<sup>e</sup> session du Comité international. Il remercie tous les présents pour leur contribution au succès de cette réunion et présente à tous ses vœux de succès pour l'année à venir.

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

(octobre 1997 – septembre 1998)

## 1 INTRODUCTION GÉNÉRALE AUX TRAVAUX SCIENTIFIQUES DU BUREAU INTERNATIONAL

Dans le rapport de l'an passé, j'avais montré de quelle manière l'importance accrue accordée par les Comités consultatifs aux comparaisons internationales, ou comparaisons clés, affectait le travail scientifique du BIPM. À l'exception du CCU, pour des raisons évidentes, et du CCTF, parce que le Temps atomique international (TAI) a toujours été fondé sur des comparaisons régulières d'horloges, tous les Comités consultatifs sont maintenant occupés à mettre en œuvre la première étape du programme de comparaisons clés. Le Bureau international prend part à un grand nombre d'entre elles ; il en coordonne un certain nombre, et les secrétaires exécutifs des Comités consultatifs suivent les autres de près. Le nombre de demandes de comparaisons bilatérales augmente aussi, en particulier dans le domaine de l'électricité où un nouveau programme de comparaisons bilatérales a été récemment mis en œuvre.

En dehors de leur action relative aux comparaisons clés en cours, les Comités consultatifs examinent aussi les comparaisons effectuées au cours des dix dernières années pour identifier celles qui peuvent servir à rendre compte de l'équivalence de manière provisoire. Le personnel du BIPM participe étroitement aux activités des groupes de travail des Comités consultatifs concernés. Dans la description des travaux scientifiques qui forme le corps principal de ce rapport, l'attention accrue portée aux comparaisons internationales est évidente.

Il est important que les activités directement liées aux comparaisons internationales ne masquent pas complètement les deux autres composantes essentielles des activités de laboratoire du BIPM, c'est-à-dire les étalonnages et la recherche. Les certificats d'étalonnage délivrés par le BIPM, de l'ordre d'une cinquantaine par an, bien qu'inférieurs en nombre à ceux délivrés par les laboratoires nationaux, sont extrêmement précieux. Certains États membres considèrent que l'étalonnage de leurs étalons de mesure nationaux au BIPM est un des principaux avantages que leur procure le fait d'être membre de la Convention du Mètre. Les types d'étalonnages effectués par le BIPM sont strictement limités par le nombre réduit de personnes disponibles pour ce travail. J'envisage cependant d'étendre le service d'étalonnage dans le domaine de l'électricité en 1999 pour y inclure des étalonnages d'étalons de capacité. Cette activité sera rendue possible par le transfert d'un membre

du personnel scientifique de la section des longueurs à la section d'électricité, pour travailler dans le domaine des étalons de capacité ; nos activités dans le domaine des lasers comme étalons de longueurs d'onde et de fréquence s'en trouvent réduites d'autant.

Nous avons pu revoir entièrement le réseau informatique interne du BIPM et installer un nouveau serveur, à la suite du recrutement l'an passé d'un ingénieur système expérimenté. Ce serveur est connecté au site Internet du BIPM qui a été mis en service en janvier 1998. J'ai l'intention de rendre progressivement accessibles en téléchargement les publications du BIPM sur ce site. Ce service entre dans le cadre des efforts réalisés pour faciliter autant que faire se peut l'accès au BIPM, à ses travaux scientifiques, publications et activités diverses.

Beaucoup d'efforts ont été consacrés cette année à préparer, avec l'architecte, les plans détaillés et les spécifications techniques du nouveau bâtiment pour l'atelier et un certain nombre de bureaux, à l'emplacement du bâtiment des neutrons. Malgré un retard dans l'obtention du permis de construire, retard occasionné par un problème entièrement inattendu (et maintenant résolu) avec le ministère de la Culture, nous espérons commencer les travaux avant la fin de 1999 et les achever au début de l'an 2001.

Au début de ce rapport, la liste du personnel montre la répartition du personnel entre les différentes sections scientifiques, administratives ou de service. L'année 1998 est unique car plus de 10 % des membres du personnel ont pris leur retraite cette année, ce qui reflète le développement du Bureau dans les années 1960.

Je terminerai cette introduction en mettant l'accent sur certaines activités effectuées dans les laboratoires du BIPM. Le corps du rapport décrit les travaux entrepris par chaque section et donne la liste des publications, parues dans des journaux scientifiques, qui détaillent certains points particuliers. Le nom des scientifiques responsables de chaque domaine est cité à la rubrique concernée, ainsi que celui des techniciens, le cas échéant.

Dans la section des longueurs, des efforts accrus ont été consacrés aux travaux sur le laser Nd:YAG doublé en fréquence et asservi sur l'iode à  $\lambda \approx 532$  nm. L'objectif de ces travaux est de réaliser un système portable hautement reproductible pour les comparaisons internationales. Les travaux se poursuivent aussi sur la mise au point d'un laser compact, avec une cavité à trois miroirs, à la longueur d'onde  $\lambda \approx 543$  nm. L'intérêt pour les comparaisons à la longueur d'onde traditionnelle  $\lambda \approx 633$  nm reste élevé,

même si on n'a effectué aucune comparaison internationale cette année. Par contre, des comparaisons bilatérales ont été effectuées et nous nous sommes efforcés de maintenir nos lasers de référence à leurs meilleures performances. D'autres travaux ont été effectués sur des diodes laser à cavité étendue asservies sur l'iode à  $\lambda \approx 633$  nm. Une comparaison internationale de ce type de lasers, à laquelle participeront cinq laboratoires nationaux, est envisagée au début de 1999. Suite à la décision d'affecter un scientifique chargé de ce travail à la section d'électricité, nos activités dans le domaine des diodes laser seront très réduites à partir de la fin de 1998. Nous maintenons nos efforts dans le domaine des lasers à infrarouge à la longueur d'onde  $\lambda \approx 3,39$   $\mu\text{m}$ . Le nouveau laser, acheté à l'institut Lebedev, a été livré au mois de juillet 1998, et les préparatifs pour la comparaison avec la PTB (Allemagne) et le JILA (États-Unis) sont en cours. Les activités, limitées, dans le domaine de la nanométrie se poursuivent avec la mise au point d'un diffractomètre interférométrique à laser utilisant la méthode des trois longueurs d'onde. Cet interféromètre est conçu pour mesurer des règles périodiques de courte longueur, avec un espacement de l'ordre de 270 nm. En novembre 1997, la cinquième comparaison internationale de gravimètres absolus a eu lieu au BIPM. Quinze gravimètres absolus et quatorze gravimètres relatifs y ont pris part. L'évaluation des résultats est en cours.

Dans la section des masses, la dernière étape de la comparaison internationale d'étalons de 1 kg en acier inoxydable s'est achevée cette année. Quinze laboratoires ont pris part à cette comparaison organisée par le CCM et coordonnée par le BIPM. Un projet de rapport a été envoyé aux participants. Les étalons prototypes de 1 kg du BIPM ont été réétalonnés par rapport au prototype n° 25. Cet exercice est renouvelé tous les cinq ans environ et sert à contrôler les variations de la masse de ces prototypes qui, pour des raisons de stabilité, ne sont pas nettoyés. La balance à suspensions flexibles, connue sous le nom FB-2, a été entièrement soumise à des essais de mise en service. L'écart-type des mesures est d'environ 0,03  $\mu\text{g}$  en moyenne sur une journée. Les variations de masse observées d'un jour à l'autre entre deux étalons sont de l'ordre de 0,1  $\mu\text{g}$ . On ne sait pas vraiment si ces variations, très petites, correspondent à des variations de masse ou à des imperfections de la balance. La balance de torsion prototype conçue pour mesurer la constante newtonienne de gravitation est maintenant asservie. Cela nous a permis d'étudier les sources de bruit plus en détail. Suite à ce travail, une balance de conception améliorée est en construction.

Dans la section du temps, la stabilité à moyen terme du TAI, exprimée au moyen de l'écart-type d'Allan, continue à être améliorée. Elle est maintenant

estimée à  $1,0 \times 10^{-15}$  pour des durées moyennes d'environ quarante jours. Depuis octobre 1997, notre estimation de l'exactitude du TAI est fondée sur les résultats de sept étalons primaires de fréquence : les étalons classiques PTB CS1, CS2 et CS3, la fontaine à césium de très haute exactitude LPTF-FO1, et les étalons à pompage optique NIST-7, CRL-01 et NRLM-4. Nos activités sont en grande partie consacrées à l'étude des comparaisons d'horloges par observations simultanées des satellites du GPS et du GLONASS et des comparaisons de fréquence fondées sur des mesures de phase des signaux du GPS. D'autres travaux de recherche sont consacrés à la recherche de nouveaux pulsars et à l'extension du cadre relativiste pour la réalisation des temps-coordonnées.

Dans la section d'électricité, les réalisations majeures de cette année ont été une nouvelle comparaison d'étalons de 1,018 V à effet Josephson au CEM (Espagne) et une nouvelle comparaison trilatérale d'étalons de 10 V à effet Josephson à la PTB (Allemagne), à laquelle le SP (Suède) a participé. Une comparaison d'étalons de résistance de Hall quantifiée a eu lieu au NPL (Royaume-Uni). Une chaîne d'étalonnage a été établie avec succès entre les étalons de résistance de Hall quantifiée et un ensemble d'étalons de capacité. Elle nous a permis d'étalonner des capacités de 10 pF et de 100 pF par rapport à  $R_{K-90}$  avec une incertitude-type totale relative d'environ  $4 \times 10^{-8}$ . Des études sur l'influence de la température et de la pression sur les étalons de tension fondés sur des diodes de Zener nous permettent de corriger certaines erreurs pouvant atteindre plusieurs  $10^{-7}$  dans les comparaisons bilatérales et les étalonnages. Des étalons voyageurs à diodes de Zener sont maintenant utilisés pour les comparaisons bilatérales. De même, cinq étalons de 10 k $\Omega$  et deux étalons de 1  $\Omega$  appartenant au BIPM sont maintenant disponibles pour les comparaisons bilatérales. Après étude préalable, six nouveaux étalons de résistance de 1  $\Omega$  donnés par le CSIRO (Australie) en février 1998 pourront servir aux comparaisons bilatérales.

Dans la section de photométrie et radiométrie, les comparaisons internationales entreprises sous l'égide du CCPR et coordonnées par le BIPM se poursuivent. La comparaison de radiomètres cryogéniques est maintenant achevée. La comparaison de sensibilité lumineuse de photomètres est presque terminée. Cette année, les efforts consacrés à la photométrie ont été bien plus importants que lors des années passées. Ces travaux ont été stimulés par la comparaison de flux lumineux mais aussi par les possibilités nouvelles offertes par l'utilisation de radiomètres cryogéniques. Une réalisation de la candela fondée sur un radiomètre cryogénique a montré un accord satisfaisant avec la candela conservée pendant de nombreuses années à l'aide d'une série

de lampes. Profitant du travail de pionnier effectué par le NIST (États-Unis), et grâce à l'aide d'un chercheur associé de ce même laboratoire, nous avons effectué une réalisation indépendante du lumen avec une sphère d'intégration. Les résultats indiquent pour le moment que le facteur de réflexion du revêtement de la surface de la sphère d'intégration est plutôt trop faible et qu'il possède un coefficient de température élevé. Ces problèmes sont à l'étude. Le BIPM a fait l'acquisition d'une balance de pression qui est destinée à être utilisée dans une comparaison clé d'étalons de pression organisée par le CCM. En collaboration avec le NPL (Royaume-Uni), nous étudions les caractéristiques de cette balance de pression à l'aide du manobaromètre primaire du BIPM. Dans le domaine de la thermométrie, nous participons, au point du gallium seulement, à une comparaison clé d'étalons de température organisée par le CCT et coordonnée par le NIST.

Dans la section des rayonnements ionisants, nous avons constaté un regain d'intérêt, de la part des laboratoires nationaux, pour de nouvelles comparaisons entre leurs étalons et ceux du BIPM dans le domaine de la dosimétrie des rayons  $x$  et  $\gamma$ , et pour de nouvelles mesures d'activité équivalente dans le Système international de référence (SIR). Plusieurs études ont été menées au BIPM pour améliorer la mesure des grandeurs en dosimétrie et étendre certaines mesures à de plus hautes énergies. Dans le domaine de la radioactivité, l'étalonnage d'un détecteur Ge(Li), ainsi que l'analyse de l'influence de la non-uniformité des ampoules utilisées dans le SIR, a permis de déterminer avec exactitude le niveau d'impureté de la solution contenue dans les ampoules et ainsi de renforcer la cohérence des résultats du SIR.

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

### 1.1.1 Publications extérieures

1. Quinn T.J., Metrology and International Trade, *PTB-Texte 7*, 20 Jahre Deutscher Kalibrierdienst, 1997, 25-30.
2. Kind D., Quinn T.J., Metrology: Quo Vadis?, *Physics Today*, 1998, **51**, No. 8 (Pt 2), BG15-17.
3. Quinn T.J., International Report: News from the BIPM, *Metrologia*, 1998, **35**, 59-64.
4. Quinn T.J., Mills I.M., The use and abuse of terms percent, parts per million and parts in  $10^n$ , *Metrologia*, 1998, **35**, 807-810.

### 1.1.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

T.J. Quinn s'est rendu :

- à Beijing (Chine), du 5 au 8 octobre 1997, pour un exposé au symposium d'IMEKO sur la température.
- à Tucson (Arizona, États-Unis), du 23 au 31 octobre 1997, pour assister à NEWRAD'97.
- au NPL, Teddington (Royaume-Uni), les 3 et 4 novembre 1997, pour un exposé à la British Electromagnetics Conference.
- à l'IRMM, Commission européenne (Geel, Belgique), le 5 novembre 1997, pour un exposé à la réunion sur « Basic metrological elements common to traceability of any measurement ».
- au BIML, Paris (France), le 13 novembre 1997, pour la 2<sup>e</sup> réunion du Comité commun pour les guides en métrologie.
- à Sydney (Australie), du 29 novembre au 2 décembre 1997, pour une réunion de l'APMP.
- à Bangkok (Thaïlande), le 15 décembre 1997, pour visiter le laboratoire national de métrologie.
- à Stanford (Californie, États-Unis), du 11 au 14 janvier 1998, pour une réunion sur Mini-Step.
- au NIST, Gaithersburg (Maryland, États-Unis), du 15 au 17 janvier 1998, pour un exposé intitulé « Accurate measurements: the only way to go ».
- à la PTB, Braunschweig (Allemagne), le 6 février 1998.
- à Londres (Royaume-Uni), le 12 février 1998, pour une réunion du Paul Instrument Fund Committee.
- au NPL, Teddington (Royaume-Uni), du 9 au 11 mars 1998, pour la 1<sup>re</sup> réunion du Groupe de travail *ad hoc* du Comité international sur l'acoustique, les ultrasons et les vibrations.
- à l'Universita degli Studi di Cassino (Italie), les 30 et 31 mars 1998, pour un exposé sur la métrologie.
- à Turin (Italie), le 2 avril 1998, pour une réunion du Conseil scientifique de l'IMGC.
- à l'IRMM, Commission européenne (Geel, Belgique), les 15 et 16 avril 1998, pour une réunion du Conseil de l'IRMM.
- à la PTB, Braunschweig (Allemagne), les 28 et 29 avril 1998, pour un colloque sur la nanoélectronique et pour le départ à la retraite de M. Kose.

- à Genève (Suisse), le 7 mai 1998, pour un atelier de l'ISO sur l'accord de reconnaissance mutuelle.
- à Minsk (Biélarus), du 11 au 14 mai 1998, pour une réunion de COOMET.
- à Dublin (Irlande), du 27 au 29 mai 1998, pour une réunion du Comité d'EUROMET.
- au LGC, Teddington (Royaume-Uni), le 10 juin 1998, pour discuter du programme futur de métrologie en chimie au BIPM.
- à Londres (Royaume-Uni), le 11 juin 1998, pour une réunion du Paul Instrument Fund Committee.
- à la PTB, Braunschweig (Allemagne), du 15 au 18 juin 1998, pour un séminaire commun au BIPM, l'IMEKO, l'OIML et la PTB sur « The role of metrology in economic and social development ».
- à Delft (Pays-Bas), le 22 juin 1998, pour discuter avec le NMi du programme futur de métrologie en chimie au BIPM.
- à Paris (France), le 25 juin 1998, pour discuter avec le BNM-LNE du programme futur de métrologie en chimie au BIPM.
- au NIST, Gaithersburg (Maryland, États-Unis), du 30 juin au 2 juillet 1998, pour une réunion du Bureau du Comité et pour discuter du programme futur de métrologie en chimie au BIPM.
- à la CPEM'98, Washington DC (États-Unis), du 6 au 11 juillet 1998, et pour assister aux réunions du Groupe de travail du CCEM sur les comparaisons clés, du Groupe de travail du CCM sur la constante d'Avogadro et du CODATA Task group on fundamental constants.
- à Kuantan (Malaisie), les 4 et 5 septembre 1998, pour assister à une conférence de l'APEC sur « Standards and conformance », et à Shah Alam, pour une réunion de l'APMP.
- à San Rafael de Heredia (Costa Rica), les 21 et 22 septembre 1998, pour une réunion du SIM.

## 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, membre de l'Interdivisional Committee on Nomenclature and Symbols de l'UICPA et du Comité scientifique du Laboratoire de l'horloge atomique (France). Il est

représentant de la Royal Society au Paul Instrument Fund. Il préside le Comité commun pour les guides en métrologie.

### 1.3 Activités liées au travail des Comités consultatifs

M. Quinn préside le Comité mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM.

M. Martin est secrétaire exécutif du CCU.

## 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, L. Vitouchkine, assistés de J. Labot)

La radiation de lasers à Nd:YAG à fréquence doublée voisine de  $\lambda \approx 532$  nm peut exciter la résonance de plusieurs transitions de l'iode ; elle fait partie des radiations recommandées par le Comité international lors de sa 86<sup>e</sup> session en 1997. Au cours des deux dernières années, le BIPM a travaillé sur plusieurs projets ayant pour objectif commun de réaliser des étalons de longueur d'onde asservis sur l'iode à fréquence doublée transportables. Le premier prototype de système laser transportable de ce genre a été mis en service récemment et ses performances sont à l'étude. Dans ce système, la radiation à 532 nm est produite par un laser du commerce ; on utilise la technique de transfert de modulation et la radiation du laser est calée sur une composante hyperfine de l'iode par injection d'un signal d'asservissement dans un élément piézoélectrique agissant directement sur le cristal de Nd:YAG.

Un système laser prototype portable plus petit est en construction au BIPM. Il produit une radiation à 532 nm par doublage de fréquence, dans une cavité résonante externe à la source à 1064 nm construite au BIPM. La technique de transfert de modulation est employée pour asservir le laser sur la composante hyperfine de l'iode choisie. Un laser compact à Nd:YAG doublé et à fréquence accordable est aussi en cours de mise au point en collaboration avec l'ILP (Féd. de Russie).

En parallèle, la conception, l'optimisation et la construction de systèmes électroniques compacts et transportables nécessaires à l'asservissement en fréquence des radiations à 1064 nm et 532 nm ont constitué une part importante des travaux.

### 2.1.2 Lasers à He-Ne asservis sur l'iode à $\lambda \approx 543,5$ nm en cuve externe (J.-M. Chartier)

Deux pièces mécaniques, en invar, ont été construites à l'atelier du BIPM pour fabriquer des lasers très compacts, en utilisant un système de sélection du mode fondé sur une cavité laser à trois miroirs. Les asservissements électroniques pour asservir la fréquence du laser sur les composantes hyperfines de  $^{127}\text{I}_2$  sont toujours en cours de construction.

La taille du laser GRENE1 et des systèmes optiques associés a été réduite pour rendre l'ensemble transportable : le système est maintenant installé sur une plaque de dimensions 40 cm  $\times$  40 cm. L'asservissement électronique est en cours de construction. Tous les asservissements électroniques utilisent la technique de troisième dérivée. Un laser asservi à égalisation de puissance selon deux modes de polarisation orthogonale a été commandé à l'ETCA (France).

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

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 avant et après la comparaison au NIM effectuée en juillet 1997.

Les résultats sont les suivants :

$$20 \text{ juin } 1997 \quad f_{\text{BIPMP1}} - f_{\text{BIPM4}} = -4,3 \text{ kHz}, \quad u = 0,7 \text{ kHz}$$

$$f_{\text{BIPMP3}} - f_{\text{BIPM4}} = +0,8 \text{ kHz}, \quad u = 0,9 \text{ kHz}$$

$$21 \text{ juillet } 1997 \quad f_{\text{BIPMP1}} - f_{\text{BIPM4}} = -3,9 \text{ kHz}, \quad u = 0,5 \text{ kHz}$$

$$f_{\text{BIPMP3}} - f_{\text{BIPM4}} = -0,6 \text{ kHz}, \quad u = 0,8 \text{ kHz}$$

où  $u$ , l'incertitude-type de la comparaison, est choisie égale à l'écart-type de la moyenne des résultats (c'est-à-dire que  $u$  est égale à l'incertitude de type A,  $1 \sigma$ ).

En novembre 1997, une réduction significative de la puissance de sortie de notre laser de référence BIPM4 nous a conduits à changer le tube de gain

après cinq ans de fonctionnement. Les résultats obtenus lors de la comparaison de battement de fréquence entre ce laser et le laser BIPMP3 qui s'en est suivie, se situent à quelques kilohertz près de ceux obtenus pendant une comparaison similaire en juillet 1997.

Les résultats sont les suivants :

$$5 \text{ novembre } 1997 \quad f_{\text{BIPMP3}} - f_{\text{BIPM4}} = -2,0 \text{ kHz}, \quad u = 0,4 \text{ kHz}$$

$$2 \text{ décembre } 1997 \quad f_{\text{BIPMP3}} - f_{\text{BIPM4}} = -4,3 \text{ kHz}, \quad u = 0,4 \text{ kHz}.$$

Trois comparaisons bilatérales limitées, chacune d'une durée de quelques jours, ont été effectuées au BIPM avec le PSB en novembre 1997, et avec l'IPQ et le NMi en avril 1998. Ces comparaisons ont été réalisées à la demande de ces laboratoires nationaux pour vérifier que leurs lasers de référence fonctionnaient correctement après changement d'éléments clés ou l'introduction d'éléments de conception nouvelle.

En novembre 1997, pendant la cinquième comparaison internationale de gravimètres absolus au BIPM, neuf lasers asservis employés avec ces gravimètres ont été étalonnés en fréquence.

En mai 1998, un asservissement numérique acheté par le BIPM au MRI a été mis à l'essai sur un laser portable désigné sous le nom BIPMP2. Il est possible, avec cet asservissement, d'asservir la fréquence du laser à l'aide des troisième, cinquième et septième harmoniques. Une différence de fréquence d'environ 25 kHz a été mesurée quand le laser a été asservi successivement sur le troisième et le cinquième harmonique. Nous remercions le MRI de son aide, et en particulier M. J. Hü de sa contribution efficace pendant son séjour au BIPM.

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

L'incertitude relative de la reproductibilité de la fréquence de notre laser à cavité interne est maintenant de l'ordre de  $2 \times 10^{-10}$ , c'est-à-dire que sa reproductibilité est inférieure, d'un facteur dix, à celle d'un laser à He-Ne asservi sur l'iode. La stabilité relative de ce laser à diode à cavité interne, exprimée au moyen de l'écart-type d'Allan, est de  $3 \times 10^{-12}$  pour un temps de moyenne de 100 s. Cela suffit, toutefois, à répondre à la plupart des besoins en interférométrie. Compte tenu de sa petite taille, ce laser peut être intéressant pour de nombreuses applications.

Un laser à cavité étendue portable, avec une cuve externe, a été construit récemment. On peut faire varier sa fréquence dans un domaine spectral de

1,5 GHz sans sauts de mode ; le rapport signal sur bruit est de 60 et l'écart-type d'Allan relatif est de  $1 \times 10^{-12}$  pour un temps de moyenne de 50 s. Nous avons mesuré des effets de modulation et de pression de  $-11$  kHz/MHz, crête à creux, et de  $-6,5$  kHz/Pa, respectivement, valeurs semblables à celles obtenues pour les lasers à He-Ne à  $\lambda \approx 633$  nm.

Ce travail doit aussi servir à la mise au point d'un étalon transportable. Le laser à cavité étendue de nouvelle génération et les autres dispositifs optiques sont placés à l'intérieur d'une boîte de  $30 \text{ cm} \times 16 \text{ cm} \times 8 \text{ cm}$ , et l'électronique tient dans un seul tiroir. Ce laser (BIREL2-1) est presque aussi compact que les lasers à He-Ne transportables BIPMP1 et BIPMP3.

Il est prévu de réduire le poids et le volume du système d'analyse du laser à diode portable. Le balayage étant limité à un mode unique, il serait possible d'utiliser seulement le premier interféromètre de Perot-Fabry, équipé d'une micro-lentille appropriée, et de supprimer le second.

Il est envisagé d'améliorer l'électronique de l'asservissement grâce aux algorithmes mis au point au COPL. Un système numérique pourrait être utilisé pour l'identification, puis l'asservissement sur des raies d'absorption de l'iode. La largeur des raies du laser est supérieure à plusieurs mégahertz et nous pouvons la balayer sans sauts de mode sur plus de 10 GHz. Dans le meilleur des cas, cinq transitions peuvent être enregistrées. Le minimum demandé par l'algorithme est de trois. Le système d'acquisition fonctionne bien, mais nous n'avons pas encore pu effectuer de mesures de stabilité de fréquence précises. Des améliorations majeures ont été apportées au laser à cavité étendue à  $1,5 \mu\text{m}$  en usage au COPL. Tous ces résultats ont été présentés à la CPEM'98.

Récemment, le DFM et le BIPM ont comparé leur laser à cavité étendue et à cuve à iode interne à un laser à cavité étendue avec une cuve à iode externe, en utilisant la structure hyperfine de la transition P(33) 6-3 de l'iode. Le système à cuve externe s'est montré plus stable et d'une meilleure répétabilité que les deux systèmes à cavité interne, la différence étant due principalement à un meilleur rapport signal sur bruit. Les résultats seront publiés dans *Metrologia*.

Cinq laboratoires différents participeront à la prochaine comparaison, prévue en janvier 1999. Celle-ci permettra de confirmer les résultats préliminaires obtenus au DFM en 1997.

2.1.5 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 mise au point de notre système transportable à diode laser asservie sur le rubidium est en cours. En mars 1998, nous avons reçu le nouveau capteur de lumière pour la détection du signal de fluorescence. Une comparaison de l'efficacité de ce système et de celle d'un système classique sera effectuée prochainement. Nous restons en contact étroit avec M. Onae (NRLM, Tsukuba, Japon); nous nous aiderons mutuellement dans un proche avenir pour la mise au point de nos systèmes respectifs. Une comparaison de lasers est aussi prévue.

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

La construction et l'étude de tubes de lasers à He-Ne et de cuves à méthane se poursuit. Nous avons reçu un nouveau type de montage de cathode. Dans ce dispositif les getters et la cathode sont placés dans la même enveloppe de verre, l'ensemble est donc de taille plus réduite. Deux nouveaux assemblages sont à l'essai dans le vide. De plus, plusieurs tubes lasers ont été ouverts, modifiés et réemplis.

Un nouveau fréquencemètre à six voies a été construit par l'atelier d'électronique. Les essais sont en cours. Cet appareil nous permettra de mesurer les battements de fréquence de laser sans temps mort. Contrôlé par un micro-ordinateur, ce système fera partie d'un système complet d'analyse et de traitement des données.

Nous avons vérifié les performances de fibres optiques spéciales à infrarouge fabriquées par la société « Le verre fluoré », Rennes (France). Compte tenu des résultats obtenus, nous envisageons d'acheter ces composants optiques et de les utiliser pour les déterminations à venir de fréquences absolues.

Le laser acheté l'an passé à l'institut Lebedev, Moscou (Féd. de Russie), a été livré au BIPM en juillet 1998. Du 21 au 31 juillet 1998, ce laser a été étalonné en fréquence à la PTB, Braunschweig (Allemagne). Nous remercions nos collègues de cet institut, MM. G. Kramer et B. Lipphardt, pour l'organisation des mesures.

De plus, nous avons participé avec ce laser à la détermination de la fréquence absolue d'un laser à Nd:YAG, à fréquence doublée et asservi sur l'iode, mis au point par J.L. Hall et ses collègues. Cette expérience a été effectuée du

15 septembre au 4 octobre 1998 au JILA, Boulder (Colorado, États-Unis). Nos lasers à He-Ne asservis sur le méthane à  $\lambda \approx 3,39 \mu\text{m}$  et des lasers à diodes asservis sur le rubidium à  $\lambda \approx 778 \text{ nm}$  appartenant au JILA ont servi de référence pour cette détermination. Au même moment, notre laser a été comparé à un système similaire appartenant à l'institut Lebedev.

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

Cette année seize cuves à iode saturées et cinq cuves non saturées de 100 mm ont été remplies. Le nombre de demandes pour des cuves de 200 mm à 500 mm et de diamètre voisin de 25 mm continue à augmenter. La fréquence de vingt-sept cuves a été vérifiée, et dix cuves ont été vérifiées par fluorescence induite par laser.

Deux nouveaux types de cuves ont été fournies par la société HELLMMA. Ces cuves soit ont une épaisseur interne de 50  $\mu\text{m}$  environ soit contiennent du verre poreux. Deux cuves de chaque type ont été remplies d'iode. Une cuve à verre poreux a été étudiée préalablement au JILA par le groupe de J.L. Hall.

## 2.2 Mesures de longueur : nanométrie

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

Dix règles périodiques de courte longueur, avec des espacements d'environ 270 nm et 278 nm ont été mesurées. Ce sont des réseaux de diffraction recouverts de tantale de 1 mm  $\times$  1 mm sur un support en quartz de 15 mm  $\times$  15 mm  $\times$  3 mm. Après réalignement des parties optomécaniques de notre diffractomètre interférométrique à laser, des mesures préliminaires du pas ont été réalisées selon la méthode des trois longueurs d'onde.

L'incertitude sur les mesures, due à un mauvais alignement du réseau et de l'angle d'autocollimation, a été étudiée d'un point de vue théorique. Une méthode pour effectuer cet alignement, utilisant diverses combinaisons de longueurs d'onde du laser, a été proposée.

Une règle périodique de courte longueur, référence GH-Au-d, portant un réseau doré de 5 mm  $\times$  5 mm, a été mesurée au BIPM au moyen de la méthode des trois longueurs d'onde. Pour ce réseau, nous avons obtenu un pas de 277,0 nm, avec une incertitude-type de 0,5 nm. Des mesures ont aussi été faites à la PTB et à l'OFMET.

### 2.2.2 Interférométrie laser pour les mesures de déplacement

(L.F. Vitouchkine)

Un interféromètre laser à déplacement fondé sur des réflecteurs coniques a été construit et des essais préliminaires ont été effectués. Le changement du trajet optique et de la direction du faisceau qui se propage dans des réflecteurs coniques pleins ou creux ont été estimés, ce dernier provient de l'inclinaison de l'axe du faisceau par rapport à l'axe de symétrie du réflecteur conique. Ces deux études ont été effectuées avec l'aide de M. A.L. Vitouchkine.

Un laser à Nd:YAG (type ILP-532-10S-02) à une longueur d'onde de 532 nm a été construit à l'Institut de physique des lasers (ILP) de l'Institut d'optique S.I. Vavilov, Saint-Petersbourg (Féd. de Russie), en collaboration avec le BIPM. Ce laser sera utilisé pour des mesures de déplacement par interférométrie laser au BIPM. Un cristal de KTP est utilisé dans ce laser pour le doublage de fréquence. Les premiers essais du laser ont été faits à l'ILP. La puissance du laser était d'environ 5 mW, le pompage étant assuré par une diode laser rayonnant environ 1 W à 807 nm.

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

### 2.3.1 Comparaisons internationales

La cinquième comparaison internationale de gravimètres absolus, ICAG'97, organisée par le Groupe de travail 6 de l'International Gravity Commission, a eu lieu au BIPM en novembre 1997. Pendant trois semaines, quinze gravimètres absolus et quatorze gravimètres relatifs appartenant à des laboratoires allemand, américain, autrichien, belge, britannique, canadien, chinois, espagnol, finlandais, français, italien, polonais, russe, et au BIPM ont été comparés. La collecte des résultats s'est achevée début décembre 1997 et leur évaluation est en cours. C'est la plus grande comparaison de gravimètres qui ait jamais eu lieu au BIPM.

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

Le gravimètre FG5-108 appartenant au BIPM a mesuré  $g$  pendant la comparaison sur le site L4 du bâtiment des lasers et, après la comparaison, sur tous les sites où des mesures avaient été effectuées (A, A2, A3, A8, L3, L4).

Le gravimètre FG5-108 a effectué des mesures régulières hebdomadaires depuis décembre 1997 au site A du réseau gravimétrique international (dans l'Observatoire du BIPM). En mars 1998 les miroirs, le tube du laser et les fenêtres des cuves à iode du laser à He-Ne asservi sur l'iode du gravimètre ont été nettoyés et la cavité du laser a été réajustée. Il a fallu ensuite réaligner l'interféromètre du gravimètre.

En septembre 1998, le tube du laser à He-Ne asservi sur l'iode a été changé après plus de 8000 heures de fonctionnement. La courroie d'entraînement de la cabine mobile de l'enceinte à vide du gravimètre FG5-108 a aussi été changée à la suite d'une rupture. Le système optique a été réaligné et le mécanisme servant à saisir la masse mobile a été réajusté.

## 2.4 Publications, conférences et voyages : section des longueurs

### 2.4.1 Publications extérieures

1. Jaatinen E., Chartier J.-M., Possible influence of residual amplitude modulation when using modulation transfer with iodine transitions at 543 nm, *Metrologia*, 1998, **35**, 75-81.
2. Simonsen H.R., Zarka A., Iodine-stabilized extended cavity diode lasers at  $\lambda \approx 633$  nm. Comparison of different realizations, *Metrologia*, 1998, **35**, 197-203.
3. Vitushkin A.L., Vitushkin L.F., Design of a multipass optical cell based on the use of shifted corner cubes and right-angle prisms, *Appl. Opt.*, 1998, **37**, 162-165.

### 2.4.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

J.-M. Chartier s'est rendu :

- à l'IPQ, Lisbonne (Portugal), les 3 et 4 novembre 1997, pour une réunion de spécialistes des longueurs d'EUROMET et un exposé intitulé « Last results of international comparisons of iodine-stabilized lasers at  $\lambda \approx 633$  nm ».

- au MRI, Helsinki (Finlande), du 6 au 12 septembre 1998, pour participer à une comparaison internationale de lasers asservis sur l'iode à  $\lambda \approx 633$  nm à l'aide du cinquième harmonique.
- au JILA, Boulder (Colorado, États-Unis), du 17 au 25 septembre 1998, pour participer à une comparaison de lasers asservis à  $\lambda \approx 633$  nm.

J.-M. Chartier et L.F. Vitouchkine se sont rendus à San Diego (Californie, États-Unis), du 19 au 21 juillet 1998, à une réunion du Groupe de travail sur la métrologie dimensionnelle et pour participer à la réunion annuelle du SPIE.

L. Robertsson a assisté à la 2<sup>e</sup> réunion commune de l'International Gravity Commission et de l'International Geoid Commission à Trieste (Italie), du 7 au 12 septembre 1998 ; il y a présenté un exposé sur « Preliminary results of the 5th International Comparison of Absolute Gravimeters, ICAG'97 ».

R. Felder s'est rendu :

- au BNM-LPTF, Paris (France), le 23 janvier 1998, pour discuter de la collaboration internationale des mesures de lasers asservis sur le méthane.
- au CNRS, Paris (France), le 18 mars 1998, pour un colloque sur les matériaux non linéaires.
- au BNM-LPTF, Paris (France), le 26 mars 1998, pour discuter et corriger un article soumis pour publication.
- à la société Stigma-Optique, Vitry (France), les 3 et 16 décembre 1997, 14 janvier, 4 février, 17 mars et 1<sup>er</sup> avril 1998, pour des discussions techniques.
- au LHA, Orsay (France), le 7 avril 1998, pour des discussions techniques.
- à la société Le verre fluoré, Rennes (France), le 29 avril 1998, pour des essais de fibres optiques.
- au BNM-LPTF, Paris (France), le 27 mai 1998, pour des discussions sur les mesures des lasers à méthane effectuées à l'automne 1998.
- à l'institut Lebedev, Moscou (Féd. de Russie), du 29 juin au 4 juillet 1998, pour des essais du nouveau laser de référence à 3,39  $\mu\text{m}$ .
- à la PTB, Braunschweig (Allemagne), du 21 au 31 juillet 1998, pour un étalonnage de la fréquence absolue du nouveau laser de référence à 3,39  $\mu\text{m}$ .

- au JILA, Boulder (Colorado, États-Unis), du 15 septembre au 4 octobre 1998, pour un étalonnage de la fréquence absolue d'un laser à Nd:YAG à fréquence doublée asservi sur l'iode.

S. Picard s'est rendue au laboratoire Manne Siegbahn, Stockholm (Suède), le 31 octobre 1997, pour rencontrer M. A. Kastbergand au laboratoire sur les atomes de césium refroidis.

S. Picard et A. Zarka ont participé à la CPEM'98, Washington DC (États-Unis), du 6 au 10 juillet 1998, et y ont présenté ou co-signé les posters suivants :

- BIPM activities related to realization of the definition of the metre, J.-M. Chartier, A. Chartier, R. Felder, R. Goebel, J. Labot, S. Picard, L. Robertsson, L.F. Vitushkin et A. Zarka, poster ; voir aussi *CPEM'98 Digest*, 1998.
- Absolute frequency atlas of 9 molecular I<sub>2</sub> lines at 532 nm, Jun Ye, L. Robertsson, S. Picard et J.L. Hall ; voir aussi *CPEM'98 Digest*, 1998.
- Automatic locking of a semiconductor laser at  $\lambda \approx 633$  nm on linear absorption iodine transitions, A. Zarka, J.F. Cliche, M. Têtu, F. Turgeon, poster ; voir aussi *CPEM'98 Digest*, 1998.

L.F. Vitouchkine s'est rendu :

- au VNIIM, Saint-Petersbourg (Féd. de Russie), le 30 juin et le 13 juillet 1998.
- à l'ILP, Saint-Petersbourg (Féd. de Russie), du 1<sup>er</sup> au 12 juillet 1998.
- au Gosstandart, Moscou (Féd. de Russie), le 8 juillet 1998, pour rencontrer MM. G.P. Voronov (président) et L.K. Issaev (vice-président).
- au VNIIMS, Moscou (Féd. de Russie), le 9 juillet 1998.
- au JILA, Boulder (Colorado, États-Unis), du 27 juillet au 5 août 1998, pour des essais préliminaires d'une cuve en verre poreux remplie d'iode au BIPM avec le groupe de M. J.L. Hall.

L.F. Vitouchkine a participé à PEDD5, Le Caire (Égypte), du 28 au 30 avril 1998, et y a présenté ou co-signé les exposés suivants :

- Laser interferometric diffractometry for measuring the spacing of periodic short-length lines scales, L.F. Vitouchkine, exposé ; voir aussi *Abstracts of the 5th International Conference on Production Engineering and Design for Development*, 1998, 51.
- Activity of the BIPM for the realization of the metre, J.-M. Chartier et L.F. Vitouchkine, exposé ; voir aussi *Abstracts of the 5th International Conference on Production Engineering and Design for Development*, 1998, 50.

## 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 nanométrie (DG7) du Groupe de travail sur la métrologie dimensionnelle. Une réunion de ce groupe de discussion s'est tenue au BIPM le 25 juin 1998.

## 2.6 Visiteurs de la section des longueurs

- M. A. Onae (NRLM), le 4 novembre 1997.
- M. J.-C. Gibert (Société Plansee, Pontoise, France), le 6 novembre 1997.
- M. M. Winters (Winters Electro Optics, États-Unis), du 10 au 14 novembre 1997.
- Mme Stachow (Société AMS, Orsay, France), le 18 novembre 1997.
- M. F. Senotier (Laserlab, France), le 16 décembre 1997.
- M. M. Gubin (Institut Lebedev, Féd. de Russie), le 29 janvier 1998.
- M. F. Leroux (Société Edwards, Orsay, France), les 5, 9, 23 et 25 février 1998.
- MM. P. Monsallut et C. Conty (Cameca, France), le 13 février 1998.
- les directeurs des laboratoires nationaux de métrologie, le 25 février 1998.
- M. S.Z.A. Zahwi (NIS), le 26 février 1998.

- M. L.K. Issaev (Gosstandart, Féd. de Russie), le 27 février 1998.
- Mme V. Stupakova (Ambassade de Slovaquie, France) et M. D. Machala (Narodne Literarne Centrum, Slovaquie), le 27 mars 1998.
- M. Gwo Sheng Peng (CMS, Taiwan), du 30 mars au 3 avril 1998.
- M. B. Bodermann (Université d'Hanovre, Allemagne), le 3 avril 1998.
- M. M. Van Ruymbeke (Observatoire royal de Belgique), le 7 avril 1998.
- M. Ph. Bouyer (Institut d'optique, Orsay, France), le 8 avril 1998.
- M. L.F.A. Correia (IPQ), du 20 au 24 avril 1998.
- M. R. Bergmans (NMI), du 20 avril au 7 mai 1998.
- M. G. Jeffries (Proudman Oceanographic Laboratory, Royaume-Uni), du 19 au 22 mai 1998.
- M. X. Thomas (Université de Reims, France), le 3 juin 1998.
- M. I. Yu. Yusupov (Holograte, Féd. de Russie), le 4 juin 1998.
- M. I. Yu. Roujentsév (Université technique Kharkov, Ukraine), le 5 juin 1998.
- M. B. Sutra (Dassault électronique, France), le 8 juin 1998.
- M. T. Sakurai (NRLM), le 10 septembre 1998.
- MM. R. Guidi et M. Annaheim (SIP), le 29 septembre 1998.

## 2.7 Stagiaires et étudiant

- M. J.-M. Karatchentzeff (IUT de Cachan, France), du 24 avril au 26 juin 1998.
- M. J. Hü (MRI), du 27 avril au 7 mai 1998, asservissement d'un laser sur le cinquième harmonique.
- MM. E. Petrukhin et M. Petrovskiy (Institut Lebedev, Féd. de Russie), du 15 juillet au 12 août 1998, pour installer un laser asservi sur le méthane.

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

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

Cette année, une grande partie de nos activités a été consacrée à la comparaison internationale d'étalons de 1 kg en acier inoxydable, dont nous étions le laboratoire pilote. Pour cette comparaison, chaque participant devait déterminer la masse de deux étalons voyageurs, qui étaient aussi mesurés au BIPM. Nous avons reçu les rapports des quatorze participants en février 1998. En mai 1998, le BIPM a analysé les résultats et un rapport préliminaire a été envoyé pour commentaires aux participants. Selon les *Directives pour les comparaisons clés*, ce premier rapport (appelé projet A dans les *Directives*) est confidentiel. Nous espérons être en mesure de préparer un rapport public pour la réunion du CCM en mai 1999.

Indépendamment de la comparaison internationale, nous avons réétalonné des étalons de 1 kg appartenant à l'INMETRO (Brésil) et à l'IRMM (Commission européenne).

En 1996, nous avons déterminé la masse de deux séries de disques empilables en acier inoxydable achetées peu auparavant. Chaque série comprenait des masses de valeur nominale 500 g, 2 × 200 g, et 100 g. Les séries ont été étalonnées de façon indépendante mais simultanée, à l'aide de la balance Mettler HK 1000 MC. Nous avons répété certaines mesures cette année pour contrôler la stabilité des disques.

L'équipement et le logiciel mis au point au BIPM pour vérifier les propriétés magnétiques des étalons de masse ont été fournis au KRISS et au NRC. Cet équipement peut être utilisé pour déterminer la susceptibilité magnétique des étalons de masse ; il permet aussi de voir si un étalon de masse présente une aimantation permanente. L'équipement complet ou certains de ses composants ont été fournis à dix laboratoires.

#### 3.2 Nouvelle balance à suspensions flexibles (A. Picard, T.J. Quinn)

Nous avons pensé qu'en modifiant légèrement la conception de la nouvelle balance à suspensions flexibles (FB-2), ses performances seraient améliorées. Les modifications les plus importantes ont été apportées. Pour vérifier la reproductibilité des résultats, nous avons observé l'évolution dans le temps de la différence de masse entre deux objets de 1 kg en platine iridié. Les deux

objets ont été finis à l'outil à pointe de diamant et ils ont été nettoyés et lavés juste avant les mesures, suivant la méthode du BIPM. Un de ces objets est un simple cylindre dont la hauteur est égale au diamètre, alors que le second est un empilement de disques ayant une surface double de celle du cylindre simple. Les mesures ont été réalisées en atmosphère normale. Il a été possible ainsi de suivre les variations de masse d'un « étalon virtuel », ayant une surface identique à celle d'un prototype du kilogramme, en mesurant la différence de masse entre les deux objets en fonction du temps écoulé depuis le nettoyage-lavage. Les mesures ont été réalisées durant une période d'un mois environ, l'écart-type moyen de chaque mesure étant d'environ 0,03  $\mu\text{g}$ . La différence de masse a augmenté d'environ 2  $\mu\text{g}$  jusqu'à atteindre le plateau attendu. Le résultat le plus important est que les écarts résiduels après lissage des mesures brutes sont de l'ordre de 0,1  $\mu\text{g}$ , ce qui nous semble remarquable.

Nous avons aussi constaté que l'échangeur de masse automatique a été utilisé plus de 15 000 fois sans incident majeur.

Nous envisageons de mesurer dans le vide la différence de masse entre deux objets étalons dans le cadre de notre participation au projet I44 d'EUROMET sur la mesure directe de la masse volumique de l'air. Nous commencerons alors des expériences de mesure de la stabilité de surfaces en silicium pour le compte du Groupe de travail du CCM sur la constante d'Avogadro.

### 3.3 Balance à torsion pour la mesure de $G$ (T.J. Quinn, S.J. Richman, R.S. Davis, J.W. Chung<sup>\*</sup>, C.C. Speake<sup>\*\*</sup>, assistés de J. Hostache)

Les activités liées à l'expérience de mesure de la constante gravitationnelle newtonienne,  $G$ , progressent. Parmi les faits les plus notables, citons l'adjonction d'un asservissement capacitif à l'appareillage existant et l'automatisation du système d'acquisition des données. Ces améliorations ont conduit à une meilleure compréhension des différentes sources de bruit inhérentes à l'expérience. Nous cherchons par cette expérience à obtenir le rapport signal sur bruit maximal, mais le défi expérimental le plus important à relever est l'étalonnage du transducteur asservi en unités Nm/rad. M. C.C. Speake de l'université de Birmingham nous a apporté son aide tout au long de ce travail. De plus, la PTB nous a fourni des conseils et des

---

\* Chercheur associé du KRISS.

\*\* Chercheur associé de l'université de Birmingham (Royaume-Uni).

équipements pour les mesures d'angle correspondantes. Avant de retourner au KRISS, M. J.W. Chung a terminé une étude méticuleuse des rubans de torsion en Cu-Be qui sont utilisés pour la mesure de  $G$ . Ses travaux nous aident à mieux appréhender la limite intrinsèque du niveau de bruit de mesure imposé par l'usage de ces rubans.

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

Nous avons effectué deux tâches importantes liées à nos étalons et prototypes en platine iridié : le réétalonnage des prototypes appartenant au BIPM par rapport au prototype n° 25, et le réétalonnage de sous-multiples du kilogramme de 100 g à 1 mg.

Les prototypes n<sup>os</sup> 9 et 31 sont utilisés au BIPM comme étalons de travail pour l'étalonnage des autres prototypes et de nos propres étalons de travail en acier inoxydable. Comme ces prototypes ne sont pas nettoyés, leur masse augmente au cours du temps, augmentation qui doit être prise en compte. Normalement, la masse des prototypes n<sup>os</sup> 9 et 31 est comparée tous les cinq ans à la masse du prototype n° 25, qui subit à cette occasion un nettoyage-lavage selon la méthode du BIPM. Le prototype n° 25 retrouve ainsi une masse de valeur connue. Il y a cinq ans, la masse de tous les prototypes du BIPM (y compris les prototypes n<sup>os</sup> 9, 31 et 25) a été déterminée dans le cadre de la troisième vérification périodique des prototypes nationaux du kilogramme. Cette année, soit cinq ans après la troisième vérification, la masse de tous les prototypes du BIPM a été comparée à celle du prototype n° 25. Dans tous les cas, les résultats se situaient dans les limites prévues. En particulier, les mesures faites cette année confirment que la masse des prototypes n<sup>os</sup> 9 et 31 est en accord avec les valeurs extrapolées à partir des mesures précédentes (voir les *Procès-verbaux* de 1996). On a aussi observé que le prototype n° 67, appartenant au BIPM, n'a montré aucun des signes d'instabilité qui avaient conduit à l'éliminer du calcul final lors de la troisième vérification.

Depuis sa création, le BIPM possède deux séries de sous-multiples du kilogramme en platine iridié. Ces séries, appelées Oe et O, ont été réétalonnées dans le domaine de 100 g à 1 mg. Pour la première fois, les masses de 100 g à 10 g ont été étalonnées avec notre balance Mettler HK 1000 MC. Les masses étalonnées, qui appartiennent au domaine de 100 mg à 10 mg, ont été utilisées dans une longue série de mesures pour étalonner la balance Mettler HK 1000, dans la gamme de 0 mg à 100 mg

couverte par son échelle interne, afin de vérifier la linéarité de l'échelle de la balance.

Le prototype n° 18, appartenant au Royaume-Uni, a été réétalonné fin 1997 et le prototype n° 56, appartenant à l'Afrique du Sud, au cours du deuxième trimestre 1998.

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

Nos travaux sur la nouvelle balance hydrostatique, conçue avec l'aide de R. Spurný, ont peu progressé. Un laboratoire en sous-sol a été entièrement rénové pour l'y installer. Toutes les parties mécaniques de cet instrument ont été fabriquées et assemblées. Nous devons cependant ajouter encore certains accessoires et faire quelques ajustements avant de commencer les essais.

### **3.6 Publications, conférences et voyages : section des masses**

#### **3.6.1 Publications extérieures**

1. Davis R.S., Equation for the volume magnetic susceptibility of moist air, *Metrologia*, 1998, **35**, 49-55.
2. Newell D.B., Richman S., Nelson P.G., Stebbins R.T., Bender P.L., Faller J.E., Mason J., An ultra-low-noise, low-frequency, six degrees of freedom active vibration isolator, *Rev. Sci. Instrum.*, 1997, **68**, 3211-3219.

#### **3.6.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)**

R.S. Davis s'est rendu :

- à la PTB, Braunschweig (Allemagne), le 10 octobre 1997, pour une réunion préparatoire au séminaire sur «The role of metrology in economic and social development », qui s'est tenu du 15 au 19 juin 1998 à la PTB.
- à Royston (Royaume-Uni), le 17 novembre 1997, pour visiter la Noble Metals Division de la société Johnson Matthey.
- à Cambridge (Royaume-Uni), le 3 avril 1998, pour visiter Michell Instruments.
- à Sunbury (Royaume-Uni), du 6 au 8 avril 1998, avec J. Coarasa, pour assister à l'International Symposium on Humidity and Moisture (au NPL).

- à Dublin (Irlande), du 2 au 4 juin 1998, à l'université de Dublin, pour assister à la soutenance de thèse d'un candidat au doctorat et visiter le FORBAIRT-NML.
- à Washington DC (États-Unis), du 5 au 9 juillet 1998, pour assister à la CPEM'98 et participer à la réunion du Groupe de travail du CCM sur la constante d'Avogadro.
- à Taejon (Rép. de Corée), du 14 au 18 septembre 1998, pour assister à l'IMEKO TC3 International Conference on Force, Mass and Torque Measurements et présenter deux articles, l'un sur « Using a 1 kg mass comparator to calibrate submultiples to 1 g », écrit avec J. Coarasa, et l'autre sur « Loaded strips as low-loss torsion elements » dont le co-auteur est J.W. Chung.
- à Tsukuba (Japon), les 21 et 22 septembre 1998, pour assister au symposium international sur les récents progrès de la métrologie et présenter un exposé, en qualité d'invité, sur « The role of key comparisons in measurement standards ».

A. Picard s'est rendu :

- au JV, Oslo (Norvège), du 16 au 20 février 1998, pour assister à la réunion des spécialistes des masses d'EUROMET.
- à la PTB, Braunschweig (Allemagne), les 27 et 28 avril 1998, pour des discussions sur la conception des balances et la poursuite de la participation du BIPM au projet 144 d'EUROMET.

S.J. Richman s'est rendu :

- à Birmingham (Royaume-Uni), du 15 au 19 avril 1998, pour des discussions avec M. C.C. Speake de l'université de Birmingham.
- à Hanovre (Allemagne), le 12 mai 1998, pour visiter le site de l'interféromètre à ondes gravitationnelles, GEO-600.
- à la PTB, Braunschweig (Allemagne), le 13 mai 1998, pour discuter des mesures précises d'angles avec M. R. Probst.

### 3.7 Activités liées au travail des Comités consultatifs

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

### 3.8 Visiteurs de la section des masses

- M. I. Hernández-Gutiérrez (CENAM), le 17 octobre 1997.
- M. V.M. Loayza Mendoza (INMETRO), du 20 au 31 octobre 1997.
- M. S.A. Oyinkanola (Ministère fédéral du Commerce et du Tourisme, Nigéria), du 8 au 10 décembre 1997.
- M. M. Pilkuhn (JV), le 3 février 1998.
- Mme I. Field (CSIR-NML), le 30 mars 1998.
- M. M. Plimmer et Mlle S. Sanchez (BNM-CNAM), le 14 avril 1998.

### 3.9 Stagiaires

- M. R. Spurný (SMU), du 9 au 20 mars 1998 et du 15 au 23 juin 1998 (installation d'un appareillage pour mesurer la masse volumique).
- M. J.W. Chung (KRISS), le 26 mars 1997, pour une période d'un an (anélasticité du Cu-Be).
- M. C.C. Speake (Université de Birmingham, Royaume-Uni), le 29 mai 1998, pour une période de trois mois (expérience de mesure de  $G$ ).

## 4 TEMPS (C. THOMAS)

### 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 1997 sont disponibles depuis le 23 février 1998 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 1997 (volume 10) ont été distribués en avril 1998.

#### 4.2 Algorithmes pour les échelles de temps (J. Azoubib, C. Thomas, assistés de H. Konaté)

Le travail de recherche concernant 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 atomique libre (EAL) et l'exactitude du TAI.

##### 4.2.1 Stabilité de l'EAL

Depuis janvier 1996, le TAI et l'UTC sont accessibles aux dates MJD (Jour Julien modifié) se terminant en 4 et 9. Ceci correspond, pour les échelles de temps de référence, à une période de révision de cinq jours au lieu de dix jours précédemment. Le remplacement des anciennes horloges commerciales par les nouvelles HP 5071A se poursuit et s'accompagne d'une amélioration de la stabilité de l'échelle atomique libre EAL, première étape du calcul du TAI. La stabilité à moyen terme de l'EAL est estimée, au moyen de l'écart-type d'Allan relatif  $\sigma_y$ , à  $1,0 \times 10^{-15}$  pour des moyennes calculées sur quarante jours. Cela permet de mieux prédire l'UTC sur des durées d'extrapolation de un à deux mois. Les instituts responsables de la distribution d'échelles de temps produites en temps réel considèrent cela comme l'une des qualités fondamentales de l'échelle.

Il se peut que l'algorithme de stabilité qui produit l'EAL ait besoin d'être revu afin d'améliorer encore ces résultats. Dans ce but, nous poursuivons différentes études, en utilisant les données réelles rassemblées au BIPM, afin de montrer comment l'utilisation simultanée d'une limite supérieure imposée à la contribution relative des horloges, plutôt qu'à leur poids absolu, et d'un traitement des données par période de un mois, plutôt que de deux mois, pourrait encore améliorer la stabilité de l'EAL. Le BIPM a présenté un rapport sur ces études aux membres du Groupe de travail du CCTF sur le TAI [2, 15], lequel a donné son accord, le 31 octobre 1997, pour implanter ces changements dans le logiciel. Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 1998, la limite supérieure imposée à la contribution relative des horloges au TAI est fixée à 0,7 %, et chaque mois la *Circulaire T* donne les résultats définitifs des échelles de temps de référence TAI et UTC.

##### 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 1997, sept étalons primaires de fréquence ont délivré des mesures individuelles de la fréquence du TAI. Il s'agit de :

- LPTF-FO1, qui est la fontaine à césium mise au point au BNM-LPTF, Paris (France). Pendant la période considérée dans ce rapport, cet étalon a délivré une seule mesure durant trente jours en novembre 1997. Pour cette mesure, l'incertitude de type B de LPTF-FO1 est de  $0,22 \times 10^{-14}$  ( $1 \sigma$ ).
- NIST-7, qui est l'étalon primaire de fréquence à pompage optique mis au point au NIST, Boulder (Colorado, États-Unis). Cet étalon a délivré quatre mesures durant la période considérée dans ce rapport. Il s'agit de moyennes durant deux périodes de dix jours en octobre 1997 et en mars 1998, durant trente-cinq jours en avril-mai 1998 et durant trente jours en juillet-août 1998. L'incertitude de type B de NIST-7 est de  $1 \times 10^{-14}$  ( $1 \sigma$ ).
- NRLM-4, qui est le nouvel étalon primaire de fréquence à pompage optique mis au point au NRLM, Tsukuba (Japon). Les premières mesures délivrées par cet étalon couvrent trois périodes de cinq jours en février, mars et mai 1998. Deux autres mesures sur des périodes de dix jours ont été délivrées en juin et juillet 1998. L'incertitude de type B de NRLM-4 est de  $2,9 \times 10^{-14}$  ( $1 \sigma$ ).
- PTB CS2 et PTB CS3, qui sont des étalons primaires de fréquence classiques fonctionnant de manière continue, comme des horloges, à la PTB, Braunschweig (Allemagne). PTB CS2 et CS3 ont délivré des mesures de fréquence pendant des périodes successives de un mois depuis le 1<sup>er</sup> janvier 1998. Ils présentent des incertitudes de type B respectivement égales à  $1,5 \times 10^{-14}$  et  $1,4 \times 10^{-14}$  ( $1 \sigma$ ).
- PTB CS1, qui est un étalon primaire de fréquence classique, reconstruit à la PTB à partir de l'ancien CS1, qui avait fonctionné de manière continue de 1976 à 1995. L'incertitude de type B de PTB CS1 est de  $0,7 \times 10^{-15}$  ( $1 \sigma$ ); des mesures de fréquence sur des périodes de un mois sont délivrées au BIPM depuis juillet 1998.
- CRL-01, qui est un étalon primaire de fréquence à pompage optique mis au point conjointement par le NIST et le CRL au NIST. Ses premières mesures couvrent une période de vingt-cinq jours en juillet-août 1998. Son incertitude de type B est de  $1 \times 10^{-14}$  ( $1 \sigma$ ).

Le traitement global des mesures individuelles [3] conduit à une différence relative, entre la durée de l'intervalle d'échelle du TAI et la seconde du SI sur le géoïde en rotation, estimée à  $0,1 \times 10^{-14}$ , avec une incertitude de  $0,5 \times 10^{-14}$ , pour mars-avril 1998. Ce résultat suggère qu'il convient

maintenant d'abandonner 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 introduit en 1995 (accumulation de corrections de pilotage de fréquence, chacune d'amplitude relative  $1 \times 10^{-15}$ , appliquées à des dates distantes de soixante jours). La relation entre les fréquences des échelles de temps EAL et TAI est fixe depuis mars 1998. Elle est susceptible d'être modifiée à l'avenir si la fréquence de l'EAL dérive de manière suffisamment significative par rapport au TAI pour altérer la stabilité à long terme et l'exactitude du TAI.

Le Groupe de travail du CCTF sur l'expression des incertitudes dans les étalons primaires de fréquence [4] continue ses travaux ; ce groupe a demandé au BIPM de préparer un rapport sur les facteurs de pondération attribués aux mesures des étalons primaires de fréquence pour estimer l'exactitude du TAI [16]. Ce rapport sera l'un des sujets discutés lors de la troisième réunion du groupe de travail, qui doit avoir lieu début 1999.

#### 4.3 **Liaisons horaires** (J. Azoubib, Z. Jiang, W. Lewandowski, G. Petit, C. Thomas, P. Wolf, assistés de H. Konaté, P. Moussay et M. Thomas)

Depuis le début de l'année 1995, la méthode « classique » des vues simultanées des satellites du GPS utilisant le code C/A des récepteurs à un canal est la seule méthode de comparaison d'horloges utilisée pour le calcul du TAI. L'incertitude globale sur une comparaison de treize minutes entre des horloges distantes est d'environ 3 ns ( $1 \sigma$ ) pour des mesures à l'échelle des continents et de 5 ns ( $1 \sigma$ ) pour des mesures intercontinentales, à condition que les récepteurs 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), afin d'améliorer l'exactitude des comparaisons d'horloges. La section du temps du BIPM est aussi intéressée par d'autres méthodes de comparaison de temps et de fréquence, comme les mesures de phase ou les comparaisons d'horloges par aller et retour sur des satellites géostationnaires.

#### 4.3.1 Global Positioning System (GPS) et 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° 29 du GPS et le programme n° 4 du GLONASS ont été implantés dans les récepteurs le 1<sup>er</sup> octobre 1997 ; le programme n° 30 du GPS et le programme n° 5 du GLONASS ont été implantés le 30 mars 1998.

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 de deux liens à longue distance, entre le NIST et l'OP et entre le CRL et l'OP, complétés par des réseaux locaux en étoile à l'échelle des continents. Pour les comparaisons à longue distance, les données sont corrigées à l'aide des mesures ionosphériques prises sur place et des éphémérides précises des satellites produites après coup. Une étude a montré l'avantage d'appliquer le même processus pour les comparaisons horaires nord-sud entre le SP et l'OP, bien que ces laboratoires ne soient distants que de 1200 km [5]. Le BIPM effectue la collecte et l'étude des données brutes du GLONASS de dix laboratoires horaires, mais ces données ne sont pas utilisées actuellement pour le calcul du TAI.

Le BIPM publie, dans la *Circulaire T*, une évaluation des différences de temps quotidiennes [ $UTC - \text{temps du GPS}$ ] et [ $UTC - \text{temps du GLONASS}$ ]. 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 et 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. De juin à août 1997, une série d'étalonnages différentiels d'équipements de réception du GPS a été effectuée entre l'OP et les laboratoires horaires européens équipés de stations pour les comparaisons horaires par aller et retour. Depuis cette date, deux autres campagnes d'étalonnage ont été effectuées : d'octobre 1997 à janvier 1998 et de février à avril 1998 [17, 18]. Une quatrième campagne d'étalonnage, incluant en plus des laboratoires européens deux laboratoires horaires situés aux États-Unis, a débuté en mai 1998, mais, malheureusement elle a été interrompue en juillet 1998 en raison de la perte du récepteur portable pendant le transport entre deux des laboratoires. 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, on a observé des écarts plus grands. Ils sont probablement liés à des modifications non signalées du dispositif expérimental dans les laboratoires hôtes.

Le premier étalonnage différentiel entre des récepteurs du GPS et du GLONASS à canaux multiples, utilisant l'un ou l'autre code, a été effectué d'août à novembre 1997 [19]. La société 3S Navigation, le NMi-VSL et le BIPM y ont participé. La seconde partie de cette campagne a débuté en février 1998. Les résultats des récepteurs du GPS et du GLONASS utilisant le code C/A sont semblables à ceux que l'on obtient habituellement à l'aide de récepteurs GPS classiques à un seul canal utilisant le code C/A ; les résultats préliminaires des récepteurs du GLONASS utilisant le code P semblent indiquer une amélioration de la stabilité pour des moyennes de quelques jours. Cette constatation devra être confirmée par d'autres études ultérieures.

*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, et plusieurs décisions prises par ce sous-groupe résultent des études entreprises par le 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. Depuis mai 1998, presque tous les laboratoires horaires qui contribuent au TAI fournissent des données selon ce nouveau format.

Le BIPM joue 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. Les suggestions du BIPM à ce sujet ont été officiellement approuvées lors du forum de discussion organisé par le sous-groupe le 1<sup>er</sup> décembre 1997 à Long Beach (Californie, États-Unis).

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. Après avoir fabriqué trois fours prototypes thermorégulés pour protéger les antennes du GPS et du GLONASS, et apporté la preuve d'une amélioration des comparaisons horaires, le BIPM s'est équipé 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 [9, 14].

Le BIPM est aussi préoccupé par le problème du « changement du numéro de semaine du GPS » qui aura lieu le 22 août 1999 quand le numéro de semaine du GPS passera de 1023 à 1024. Puisque le numéro de semaine diffusé par satellite est codé sur 10 bits, le numéro de semaine passera à 0 pour la semaine 1024. Presque tous les récepteurs du GPS utilisés pour le calcul du TAI utilisent un logiciel qui n'est pas prévu pour traiter ce passage à la semaine 1024 et qui interprètera la date en question avec une erreur de plus de dix-neuf ans. Un essai a été effectué par le BIPM au CNES, Toulouse (France) à l'aide de leur simulateur de signal du GPS. Un récepteur horaire classique du GPS a observé une constellation fictive du GPS pendant la période du 21 au 22 août 1999. L'essai a montré que les récepteurs ne s'arrêtent pas quand le changement de semaine a lieu, mais, comme ils détectent une erreur de date, ils n'utilisent pas la nouvelle date et lient les observations ultérieures aux dates données par l'oscillateur interne. Il s'ensuit que les données en vues simultanées sont données en référence à une échelle de temps qui dérive par rapport à l'UTC, ce qui empêche le calcul des vues simultanées strictes. De nouvelles EPROMS remédiant à ce problème de logiciel seront distribuées le moment venu par les fabricants de récepteurs. Le

problème supplémentaire du passage à l'an 2000, qui se traduit par 00 dans les récepteurs, sera aussi pris en compte dans la mise à jour du logiciel.

*iv) Vues simultanées multiples*

Plusieurs études ont été effectuées pour étendre la technique classique de comparaison horaire par vues simultanées du GPS aux observations par des récepteurs à canaux multiples et système mixte (GPS et GLONASS). L'idée est de tirer profit de toutes les observations de chaque site pour calculer autant de vues simultanées que possible entre deux sites. 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. Cela augmente le nombre de vues simultanées quotidiennes d'un facteur 20 par rapport à la technique classique, et permet ainsi un gain d'un facteur 4,5 en précision. Pour les récepteurs du GLONASS équipés de cartes additionnelles utilisant le code P, le nombre de vues simultanées augmente davantage. De plus, les résultats des vues simultanées utilisant le code P sont potentiellement de meilleure qualité que ceux utilisant le code C/A.

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

Les deux récepteurs à canaux multiples sont équipés d'antennes thermorégulées. Ils ont été soigneusement comparés sur place pendant une période de sept jours en avril 1998. La comparaison des vues simultanées individuelles entre les deux est caractérisée par des écarts-types respectifs de 1,4 ns et de 2,2 ns pour les observations des signaux du GPS et du

GLONASS, utilisant tous les deux le code C/A. (Les résultats obtenus pour le GLONASS utilisant le code C/A pourraient être améliorés en éliminant les écarts dus aux différentes fréquences des signaux du GLONASS). Les niveaux de bruit passent à 130 ps et 220 ps pour une durée moyenne d'un jour.

Une étude semblable sur place, effectuée en novembre 1997, à partir des données de récepteurs du GLONASS à un seul canal utilisant le code P 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 [6]. La mise en œuvre de récepteurs du GLONASS à canaux multiples utilisant le code P devrait encore améliorer ce résultat.

Les résultats obtenus lors d'une comparaison d'horloges, entre le NMI-VSL et le BIPM, font apparaître un gain en stabilité d'un facteur 4 entre les vues simultanées de récepteurs du GPS à un seul canal utilisant le code C/A, et les vues simultanées des récepteurs GPS/GLONASS à canaux multiples, utilisant aussi le code C/A, pour des durées moyennes inférieures à  $10^4$  s [9]. Les autres effets systématiques observés sur des temps plus longs sont en partie réduits par l'utilisation d'antennes TSA.

Le récepteur Allen Osborne Associates TTR-4P en service au BIPM délivre aussi des observations du GPS en mode canaux multiples et code C/A. Les données de comparaisons d'horloges à distance sont un peu décevantes, toutefois, en raison du comportement irrégulier du récepteur et de la sensibilité élevée du matériel aux changements de conditions ambiantes [12, 13].

Le BIPM étudie aussi des récepteurs de poche bon marché du GPS à canaux multiples utilisant le code C/A : un logiciel qui tient compte de toutes les normes agréées pour les comparaisons horaires a été mis au point pour un récepteur de ce type, le récepteur Motorola Oncore à huit canaux [8, 10].

#### 4.3.2 Mesures de phase

Les comparaisons de temps et de fréquence du GPS peuvent aussi être effectuées au moyen de mesures de la phase de la porteuse à deux fréquences, plutôt qu'avec des mesures de code. Cette technique, communément utilisée en géodésie, peut être adaptée aux besoins des comparaisons horaires : on espère obtenir une incertitude de  $1 \times 10^{-15}$  pour les comparaisons de fréquence pour une période de un jour. Un récepteur Ashtech Z12T a été acheté dans ce but ; il est en service au BIPM depuis décembre 1997. Une étude détaillée de deux récepteurs, placés côte à côte, est en cours, en

collaboration avec le BNM-LPTF, qui possède un récepteur du même type. Les essais préliminaires montrent que :

- Dans la configuration d'une ligne de base nulle (comparaison de deux récepteurs reliés à la même horloge locale et à la même antenne), le bruit observé est caractérisé par un écart-type de 1,2 ps pour des moyennes de 30 s. Des pics d'amplitude de 10 ps à 20 ps ont été constatés pour des moyennes plus longues [14]. Ils sont dus à des effets mécaniques ou à une sensibilité aux variations de température de l'unité centrale.
- Dans la configuration d'une ligne à courte base (comparaison de deux récepteurs reliés à une même horloge locale, mais dont les antennes sont distantes de plusieurs mètres) le bruit observé est caractérisé par un écart-type de 3,4 ps pour des moyennes de 30 s. Les variations dans les retards dus à la sensibilité des antennes aux variations de température, de l'ordre de 2 ps/°C, peuvent être réduites par l'utilisation d'antennes TSA. Les câbles des antennes sont aussi sensibles aux variations de température d'environ 1 ps/(m · °C), ce qui a pour conséquence des variations dans les comparaisons de récepteurs d'environ 120 ps quand les câbles sont en plein soleil [14]. L'emploi de câbles à coefficients de température bas et de connecteurs de bonne qualité a réduit cet effet lors d'une expérience effectuée en août 1998. Dans cette comparaison de fréquence sur une ligne de base de 1,7 m, on a obtenu un écart-type d'Allan modifié de  $4 \times 10^{-17}$  pour une moyenne de 60 000 s.

Notre objectif principal est de vérifier la validité de cette technique pour des comparaisons de fréquence sur des distances de plusieurs centaines de kilomètres et pour des moyennes d'environ un jour, de façon à l'appliquer à la comparaison d'étalons primaires de fréquence de très haute exactitude. De plus, quand les retards des récepteurs sont étalonnés de manière absolue, cette technique peut aussi servir aux comparaisons horaires. Ces expériences sont effectuées dans le cadre du nouveau projet pilote IGS/BIPM mis en place pour étudier les comparaisons exactes de temps et de fréquence par des mesures de phase et de code du GPS. Une première réunion des personnes impliquées dans ce projet a eu lieu au BIPM les 22 et 23 juin 1998.

La possibilité de faire fonctionner le récepteur Ashtech Z12T à deux fréquences permet de l'utiliser pour mesurer les retards ionosphériques des signaux du GPS. Ces mesures ont été utilisées pour compléter et réétalonner (après une panne en mars 1998) les mesures de retard ionosphérique obtenues avec un ancien équipement Nitzuki 7633 utilisé habituellement au BIPM pour corriger les mesures du temps du GPS effectuées à l'OP.

Les récepteurs 3S Navigation en service au BIPM délivrent des mesures de phase du GLONASS, à condition d'adapter le logiciel pour la collecte automatisée des données. Quand ce sera fait, nous avons l'intention de participer à la campagne internationale du GLONASS, IGEX'98, organisée par l'AIG, l'IGS, et l'ION, qui doit avoir lieu d'octobre à décembre 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 a tenu sa 5<sup>e</sup> réunion à Boulder (Colorado, États-Unis), les 8 et 9 décembre 1997. Des réunions plus techniques des représentants des stations actives dans ce domaine ont eu lieu les 9, 10 et 11 mars 1998 à Varsovie (Pologne), à l'occasion du 12<sup>e</sup> EFTF, et les 30 juin et 1<sup>er</sup> juillet 1998 à Graz (Autriche). Les principaux points discutés lors de ces réunions étaient la comparaison des méthodes de liaisons horaires 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 des données horaires par aller et retour de sept stations et il a entrepris le traitement de liaisons entre 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 [17, 18].

#### 4.4 Pulsars (G. Petit, B. Rougeaux\*)

Les pulsars-milliseconde peuvent être considérés comme des horloges stables, dont on peut traiter les données par un algorithme optimisé pour la stabilité. 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 janvier 1998, la dernière version de sa réalisation en temps différé du temps terrestre, TT(BIPM98). Cette collaboration se poursuit aussi dans le cadre du Groupe de travail sur le chrono-métrage des pulsars de la Commission 31 (Temps) de l'UAI, dont G. Petit est le président.

---

\* Étudiante en thèse de doctorat (travail en partie financé par le CNES).

Une nouvelle technique qui pourrait être utilisée dans les observatoires radioastronomiques pour obtenir des données relatives aux pulsars est mise au point en collaboration avec le CNES. L'application de cette technique à la recherche de nouveaux pulsars constitue le sujet de thèse de doctorat de B. Rougeaux, travail entrepris au BIPM en collaboration avec le CNES, l'Observatoire Midi-Pyrénées, Toulouse (France) et l'OP.

Les principales étapes et l'état d'avancement de l'expérience sont les suivants. Le système d'acquisition des données acheté par le CNES a été installé au radio-observatoire de Nançay (France) en novembre 1996 et des observations de pulsars connus ont été réalisées à titre d'essais. L'ensemble du matériel et du logiciel nécessaire au traitement des données a été mis en place en 1997. Certains éléments du matériel conçus par le CNES ont été construits au BIPM et le logiciel a été écrit au BIPM par B. Rougeaux ; il a constitué la majeure partie de son travail de doctorat. L'efficacité de ce système, mis en œuvre en mars 1998, a été validée par la détection des deux pulsars que l'on savait avoir observé pendant les essais. Entre temps, un programme d'observations pour la recherche de nouveaux pulsars, couvrant à l'origine un angle solide de 1,5 msr, a débuté à Nançay. Le traitement des données de ces observations est en cours au BIPM. Il nécessite de très importants moyens informatiques et, dans le dispositif actuel, il se déroule en deux étapes. Les données sont tout d'abord traitées par un réseau de processeurs Pentium localisés dans différentes sections du BIPM, qui sont utilisés de nuit et en fin de semaine. Les résultats sont ensuite envoyés par le réseau Intranet vers l'ordinateur central du BIPM (station de travail SUN) où se déroule la deuxième étape. À l'avenir, le traitement sera effectué sur un ordinateur parallèle en cours de mise en œuvre au CNES.

#### 4.5 **Références spatio-temporelles** (G. Petit, P. Wolf)

En 1997 le Comité international et l'UAI ont créé un Comité mixte BIPM/UAI sur les systèmes de référence spatio-temporels et la métrologie dans le cadre de la relativité générale, ayant pour objectif d'unifier les travaux sur les références spatio-temporelles qui étaient effectués auparavant dans le cadre du Groupe de travail du CCDS sur l'application de la relativité à la métrologie et d'un certain nombre de groupes de travail de l'UAI, de l'UGGI et de l'IERS. Le président de ce Comité mixte est G. Petit et la liste des membres a été établie. Ce Comité mixte a déjà publié trois circulaires. Après avoir défini ses missions, en accord avec le Groupe de travail de l'UAI sur la relativité dans le domaine de la mécanique céleste et de l'astronomie en

particulier, il se consacre maintenant à l'étude de la réalisation des temps-coordonnées barycentrique et géocentrique au niveau d'incertitude actuel et prévisible. 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/welcome.html>).

Une des études importantes entreprises au BIPM 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 uns aux autres. Ces définitions sont valables jusqu'aux termes d'ordre  $c^{-2}$  du développement post-Newtonien, mais entraînent des ambiguïtés si l'on se situe à l'ordre  $c^{-4}$ . Les termes de cet ordre décrivent des effets qui peuvent atteindre quelques  $10^{-16}$  en fréquence relative pour une horloge en fonctionnement dans le système solaire ; aussi les études à venir devront-elles en tenir compte. Il devient donc nécessaire d'adopter de nouvelles conventions, par exemple pour la jauge utilisée.

## 4.6 Publications, conférences et voyages : section du temps

### 4.6.1 Publications extérieures

1. Thomas C., Time activities at the Bureau International des Poids et Mesures, *Proc. IAG'97*, 1997, 1-4.
2. Thomas C., Azoubib J., Proposal for updating TAI algorithm, *Proc. 29th PTTI*, 1997, 7-17.
3. Thomas C., The accuracy of TAI, *Proc. 29th PTTI*, 1997, 19-26.
4. Douglas R., Thomas C., The CCTF working group on the expression of uncertainties in primary frequency standards, *Proc. 29th PTTI*, 1997, 85-95.
5. Jaldehag K., Thomas C., Azoubib J., Use of a dual-frequency multi-channel geodetic GPS receiver for the estimation of ionospheric delays applied to accurate time transfer, *Proc. 12th EFTF*, 1998, 499-504.
6. Azoubib J., Lewandowski W., A test of GLONASS P-code time transfer, *Proc. ION GPS'98*, 1998, 1729-1735.
7. Azoubib J., Lewandowski W., de Jong G., A new approach to common-view time transfer using 'All-in-view' multi-channel multi-code GPS and GLONASS observations, *Proc. 29th PTTI*, 1997, 299-308.

8. Nawrocki J., Lewandowski W., Azoubib J., Time transfer with GPS multi-channel Motorola Oncore receiver using CCDS standards, *Proc. 29th PTTI*, 1997, 319-328.
9. Azoubib J., Lewandowski W., de Jong G., A new approach to international time transfer: multi-channel multi-code GPS + GLONASS common-view observations, *Proc. 12th EFTF*, 1998, 87-93.
10. Nawrocki J., Lewandowski W., Azoubib J., GPS multi-channel common-view time transfer using Motorola Oncore receiver with CCTF standards, *Proc. 12th EFTF*, 1998, 510-515.
11. de Jong G., Lewandowski W., GLONASS/GPS time transfer and the problem of the determination of receiver delays, *Proc. 12th EFTF*, 1998, 79-86.
12. Petit G., Thomas C., Moussay P., Davis J.A., Miranian M., Palacio J., Multi-channel GPS common-view time transfer experiments: First results and uncertainty study, *Proc. 29th PTTI*, 1997, 309-318.
13. Hahn J., Nau H., Moussay P., On the improvements and suggestions of GPS common-view with multi-channel time receivers – first results, *Proc. 29th PTTI*, 1997, 287-298.
14. Petit G., Thomas C., Jiang Z., Uhrich P., Taris F., Use of GPS Ashtech Z12T receivers for accurate time and frequency comparisons, *Proc. IEEE FCS*, 1998, 306-314.

#### 4.6.2 Publications du BIPM

15. Thomas C., Azoubib J., TAI computation: suggestion for an alternative algorithm, *Report to the CCTF working group on TAI*, 1997, 10 p.
16. Thomas C., Weighting factors attributed to measurements of primary frequency standards in estimating the accuracy of TAI, *Rapport BIPM-98/2*, 1998, 21 p.
17. Lewandowski W., Moussay P., Differential time corrections for GPS time equipment located at the OP, CH, SP, VSL, DTAG, PTB, NPL, TUG, IEN and OCA: second evaluation, *Rapport BIPM-98/1*, 1998, 31 p.
18. Lewandowski W., Moussay P., Differential time corrections for GPS time equipment located at the OP, CH, SP, VSL, DTAG, IEN, ROA, IPQ and OCA: third evaluation, *Rapport BIPM-98/7*, 1998, 30 p.

19. Azoubib J., de Jong G., Lewandowski W., Differential time corrections for multi-channel GPS and GLONASS time equipment located at 3S Navigation, BIPM and VSL, *Rapport BIPM-97/6*, Part 1 of 2, 1997, 35 p.

#### 4.6.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

C. Thomas s'est rendue :

- au BNM-LPTF, Paris (France), le 26 novembre 1997, pour des discussions sur les mesures de phase du GPS.
- à Long Beach (Californie, États-Unis), du 1<sup>er</sup> au 4 décembre 1997, pour assister à la 29<sup>e</sup> réunion du PTTI, exposés sur « Proposal for updating TAI algorithm » et « The accuracy of TAI ». Elle a assisté au forum sur la normalisation du GPS et du GLONASS organisé par le Sous-groupe de travail du CCTF sur la normalisation des comparaisons d'horloge par le GPS et le GLONASS et présenté un exposé sur « Reference date of tracking schedules and data format », et a assisté à la 2<sup>e</sup> réunion du Groupe de travail du CCTF sur l'expression des incertitudes dans les étalons primaires de fréquence.
- à Sèvres (France), du 23 au 25 janvier 1998, pour assister à la réunion des directeurs de laboratoires nationaux, et les 22 et 23 juin 1998 pour coprésider la 1<sup>re</sup> réunion du projet pilote IGS/BIPM.
- au CNES, Toulouse (France), avec P. Moussay, le 12 mai 1998, pour une expérience sur le passage à la semaine 1024 du GPS.
- à Pasadena (Californie, États-Unis), du 25 au 29 mai 1998, pour assister au 52<sup>e</sup> FCS, exposé sur « Use of GPS Ashtech Z12T receivers for accurate time and frequency comparisons ».
- à Évreux (France), le 19 juin 1998, pour l'examen oral de C. Terpereau.
- à l'OP, Paris (France), du 21 au 23 septembre 1998, pour assister aux Journées 1998 Systèmes de Référence Spatio-Temporels.

C. Thomas et G. Petit se sont rendus :

- à l'université de Franche-Comté, Besançon (France), le 16 janvier 1998, comme membres du jury pour l'habilitation à diriger des recherches présentée par F. Vernotte.
- au LRBA, Vernon (France), le 11 juin 1998, pour des discussions sur l'étalonnage absolu du récepteur Ashtech Z12T du BIPM.

W. Lewandowski s'est rendu :

- à Long Beach (Californie, États-Unis), du 1<sup>er</sup> au 4 décembre 1997, pour assister à la 29<sup>e</sup> réunion du PTTI, exposé sur « A new approach to common-view time transfer using 'All-in-view' multi-channel multi-code GPS and GLONASS observations » et assister au forum sur la normalisation du GPS et du GLONASS organisé par le Sous-groupe de travail du CCTF sur la normalisation des comparaisons d'horloge par le GPS et le GLONASS, exposé sur « Common standards for GPS and GLONASS common-view multi-channel and multi-code observations ».
- aux laboratoires Hewlett Packard, Palo Alto (Californie, États-Unis), le 5 décembre 1997, pour un échange d'informations sur l'utilisation des récepteurs Motorola pour les comparaisons horaires exactes.
- à Boulder (Colorado, États-Unis), les 8 et 9 décembre 1997, pour la 5<sup>e</sup> réunion du Groupe de travail du CCTF sur les comparaisons d'horloges par aller et retour sur satellite.
- à Varsovie (Pologne), du 10 au 12 décembre 1997, pour assister à la 6<sup>e</sup> réunion européenne de l'International Information Subcommittee of the Civil GPS Service Interface Committee, exposé sur « GPS + GLONASS time transfer ».
- à Varsovie (Pologne), du 9 au 20 mars 1998, pour assister à la 12<sup>e</sup> réunion de l'EFTE, exposé sur « A new approach to international time transfer: multi-channel multi-code GPS + GLONASS common-view observations », assister à une réunion des stations participant aux activités du Groupe de travail du CCTF sur les comparaisons d'horloges par aller et retour sur satellite, et visiter le GUM.
- à Alexandria (Virginie, États-Unis), du 7 au 9 avril 1998, pour assister à la 31<sup>e</sup> réunion du Civil GPS Service Interface Committee, exposé sur « Recent studies in GPS, GLONASS and two-way time satellite transfers ».
- à l'USNO, Washington DC (États-Unis), le 10 avril 1998, pour discuter des progrès récents du GPS et du GLONASS et des comparaisons d'horloges par aller et retour.
- au GUM, Varsovie (Pologne), du 18 au 25 mai 1998, pour discuter de la coordination des laboratoires horaires polonais.
- à Graz (Autriche), du 30 juin au 1<sup>er</sup> juillet 1998, pour une réunion des stations participant aux activités du Groupe de travail du CCTF sur les comparaisons d'horloges par aller et retour sur satellite.

- à la Commission européenne, Bruxelles (Belgique), le 25 juillet, les 1<sup>er</sup> et 21 septembre 1998, pour assister au forum du GNSS sur « Future shape of Global Navigation Satellite Systems in Europe ».
- à Nashville (Tennessee, États-Unis), du 13 au 18 septembre 1998, pour assister à la conférence ION GPS'98, exposé sur « A test of GLONASS P-code time transfer », et à la 32<sup>e</sup> réunion du Civil GPS Service Interface Committee, exposé d'ouverture de la séance sur le temps.

G. Petit s'est rendu :

- à Nançay (France), le 27 octobre 1997, les 26 et 27 mai 1998, du 24 au 26 août et les 22 et 23 septembre 1998, pour l'observation de pulsars.
- à Paris (France), le 26 novembre 1997 et le 5 mars 1998, pour assister à des réunions du conseil scientifique de l'IERS ; le 15 décembre 1997 pour une réunion aux services centraux du CNES.
- à Long Beach (Californie, États-Unis), du 2 au 4 décembre 1997, pour assister à la 29<sup>e</sup> réunion du PTTI, exposé sur « Multi-channel common view time transfer experiments: first results and uncertainty study », et assister au forum sur la normalisation du GPS et du GLONASS organisé par le Sous-groupe de travail du CCTF sur la normalisation des comparaisons d'horloge par le GPS et le GLONASS, exposé sur « Allen-Osborne Associates TTR-4P time links using 30 s and reconstructed 13 min data ».
- à Varsovie (Pologne), du 10 au 12 mars 1998, pour la 12<sup>e</sup> réunion de l'EFTF.
- à Berne (Suisse), du 17 au 21 août 1998, pour suivre une formation sur les logiciels de traitement des mesures du GPS à l'Institut d'astronomie de l'université de Berne.
- à Londres (Royaume-Uni), les 12 et 13 septembre 1998, pour assister à la 6<sup>e</sup> réunion sur « Physical interpretation of relativity theory », exposé sur « Realization of barycentric and geocentric coordinate times ».

P. Wolf s'est rendu :

- au BNM-LPTF, Paris (France), le 9 décembre 1997, pour assister à un séminaire organisé par l'ESA et le CNES sur ACES, exposé sur « Applications of ACES ».
- à Arcachon (France), du 9 au 12 mars 1998, pour assister au séminaire de prospective scientifique du CNES.

- à Neuchâtel (Suisse), le 12 juin 1998, pour assister à l'atelier sur ACES, exposé sur « Applications of ACES in time metrology ».
- à Paris (France), le 25 juin 1998, à l'École normale supérieure, pour un exposé sur « Test de la relativité restreinte à l'aide du système GPS ».
- à Tirrenia (Italie), du 20 au 24 septembre 1998, pour assister au symposium « Around Virgo » (INFN/CNRS).

#### 4.7 Activités en liaison avec des organisations extérieures

C. Thomas est membre de la Commission 31 (Temps) de l'UAI, du Comité national français de géodésie et géophysique, du CRL External Review Committee (Japon), et membre des comités scientifiques de l'EFTF et du PTTI. Elle est co-présidente du projet pilote IGS/BIPM sur l'étude des comparaisons exactes de temps et de fréquence à l'aide des mesures de phase et de code du GPS.

W. Lewandowski est le représentant du BIPM au Comité civil du GPS et président de son sous-comité sur le temps.

G. Petit participe aux travaux de l'UAI en tant que vice-président de la Commission 31 (Temps), président du Groupe de travail de la Commission 31 sur le chronométrage 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 membre du Conseil scientifique du GRGS (France) et du bureau central de l'IERS (France). Il est aussi 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, du Groupe de travail 1 du Comité commun BIPM/ISO/CEI/IFFC/UICPA/UIPPA/OIML pour les guides en métrologie, et il participe aux travaux du GREX (Groupe de recherche du CNRS : gravitation et expériences).

#### 4.8 Activités liées au travail des Comités consultatifs

C. Thomas est secrétaire exécutive du CCTF. Elle est secrétaire du Groupe de travail du CCTF sur l'expression des incertitudes dans les étalons primaires de fréquence et du Sous-groupe de travail du CCTF sur la normalisation des comparaisons d'horloges par le GPS et le GLONASS, et membre du Groupe de travail du CCTF sur le TAI.

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

G. Petit est membre du Sous-groupe de travail du CCTF sur la normalisation des comparaisons d'horloges par le GPS et le GLONASS.

#### 4.9 Visiteurs de la section du temps

- M. A. Bauch (PTB), le 17 octobre 1997.
- MM. C. Salomon (ENS), A. Clairon et P. Laurent (BNM-LPTF), le 22 octobre 1997.
- Mme R. Casswell (United States Coast Guard), le 3 novembre 1997.
- M. M. Soffel (Université de Dresde, Allemagne), le 11 février 1998.
- MM. P. Urich, F. Taxis, A. Campos (BNM-LPTF), les 25 mars, 3 avril et 10 juin 1998.
- MM. P. Urich, F. Taxis, R. Tourde, G. Fréon, A. Campos, P. Blondé, C. Andreucci (BNM-LPTF), le 31 mars 1998.
- M. P. Bouyer (Institut d'Optique, Orsay, France), le 8 avril 1998.
- MM. R. Snow et X. De Salas (Ashtech), D. Ganieux (Martec), le 23 avril 1998.
- M. P. Dorsic (SMU), les 5 mai et 9 septembre 1998.
- M. A. Ennaji (IUT d'Évreux, France), le 14 mai 1998.
- Mme S. Baker (Signal), le 15 juin 1998.
- Mme S. Kim (3S Navigation), les 2 et 3 juillet 1998.
- M. M. Imae (CRL), le 3 juillet 1998.
- M. D. Ganieux (Martec), le 3 juillet 1998.
- MM. D.G. Larsen et K. Johnston (USNO), le 31 août 1998.
- MM. H. Secrétan et M. Brunet (CNES), le 7 septembre 1998.

#### 4.10 Stagiaires et étudiants

- M. K. Jaldehag (SP), du 6 au 10 octobre 1997 et du 20 au 30 janvier 1998, pour des travaux sur les liaisons horaires.
- M. J. Nawrocki (AOS), du 8 au 31 octobre 1997 et du 10 septembre au 2 octobre 1998, pour des travaux sur les liaisons horaires.

- C. Terpereau (IUT d'Évreux, France), du 30 mars au 19 juin 1998, pour des travaux sur les liaisons horaires.
- B. Rougeaux, étudiante en doctorat, université de Toulouse (France).

## 5 ÉLECTRICITÉ (T.J. WITT)

### 5.1 Potentiel électrique : effet Josephson (D. Reymann)

En octobre 1997, nous avons envoyé notre étalon de tension de 1 V à réseau de jonctions de Josephson au CEM (Espagne) pour une comparaison sur place. Le résultat, exprimé sous forme d'une différence entre les valeurs attribuées par les laboratoires à un étalon de 1,018 V, et de l'incertitude-type composée,  $u_c$ , des incertitudes de type A et B, est :

$$U_{\text{CEM}} - U_{\text{BIPM}} = 0,0 \text{ nV}, \quad u_c = 0,2 \text{ nV}.$$

Pendant cette comparaison nous avons observé une dispersion exceptionnellement élevée des mesures individuelles obtenues avec notre étalon de référence de transfert de tension, due à l'influence des interférences électromagnétiques sur nos instruments. Pour en identifier les causes, nous avons essayé plusieurs configurations instrumentales, incluant aussi les équipements auxiliaires dans le laboratoire. Le grand nombre de mesures réalisées avec des configurations différentes a aidé à réduire l'incertitude finale. Nous avons alors observé une dispersion normale des résultats de mesure lors des comparaisons directes.

À la PTB (Allemagne), nous avons effectué en janvier 1998 la première comparaison trilatérale d'étalons de tension de 10 V à réseau de jonctions de Josephson avec la PTB et le SP (Suède). Les résultats de la comparaison, exprimés sous forme d'une différence entre les valeurs attribuées par les participants à chaque étalon de 10 V, et de l'incertitude-type composée de type A et de type B sont

$$U_{\text{PTB}} - U_{\text{BIPM}} = -0,3 \text{ nV}, \quad u_c = 0,5 \text{ nV},$$

et

$$U_{\text{SP}} - U_{\text{BIPM}} = +1,4 \text{ nV}, \quad u_c = 1,2 \text{ nV}.$$

Les techniques employées au cours de ces comparaisons, y compris l'usage d'un réseau flottant et d'un détecteur de zéro ultrasensible, nous ont permis

d'obtenir une résolution des mesures plus fine de presque deux ordres de grandeur que celle obtenue dans la plupart des mesures d'étalons de tension à diodes de Zener utilisant des réseaux de jonctions de Josephson et des nanovoltmètres numériques. Grâce à cette amélioration de la résolution, nous avons observé pendant la comparaison une dépendance faible, mais intéressante, à la puissance micro-ondes du signal de sortie en courant continu du réseau appartenant au SP. Après la comparaison, nous avons effectué d'autres mesures avec ce réseau au BIPM. Lors de l'étude soignée des marches de courant, nous avons constaté que certains résultats ne sont pas symétriques sur l'axe des tensions et ne correspondent pas à une résistance nulle. Ces anomalies ne sont pas reproductibles d'un jour à l'autre. Il convient donc de poursuivre cette étude.

## 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 à Teddington (Royaume-Uni) et nous l'y avons comparé à celui du NPL. Cette comparaison est la quatrième de la série définie dans le programme du BIPM, pour 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 trois comparaisons précédentes. L'appareillage complet à effet Hall quantique transportable du BIPM et trois étalons de résistance de valeur nominale 100  $\Omega$ , 1  $\Omega$  et 10 000  $\Omega$  ont été transportés au NPL. Une fois sur place, nous avons mesuré du 8 au 12 décembre 1997 un étalon de 100  $\Omega$  en fonction de  $R_{K-90}$ , la valeur recommandée pour la constante de von Klitzing, à l'aide des étalons à effet Hall quantique des deux laboratoires. Des mesures similaires de rapports 10 000  $\Omega$ /100  $\Omega$  et 100  $\Omega$ /1  $\Omega$  ont aussi été effectuées. Les résultats provisoires de la comparaison sont satisfaisants. Le NPL a mesuré notre étalon de 100  $\Omega$  en fonction de  $R_{K-90}$  selon leur procédure habituelle, c'est-à-dire que l'étalon de 100  $\Omega$  du BIPM est comparé à un étalon de transfert de 100  $\Omega$  du NPL, qui est lui-même mesuré en fonction de  $R_{K-90}$ . La différence relative entre les valeurs assignées à l'étalon de 100  $\Omega$  du BIPM est d'environ  $5 \times 10^{-9}$ . Le NPL a essayé de confirmer ce résultat en comparant directement l'étalon de résistance de 100  $\Omega$  du BIPM à son étalon

à effet Hall quantique, mais la dispersion des résultats était trop élevée pour assurer une bonne vérification, aussi seuls les résultats du NPL obtenus avec la résistance de transfert ont été retenus. Le NPL a constaté ultérieurement qu'il convenait d'apporter une petite correction supplémentaire pour tenir compte de la résistance dans les fils quand on connecte une résistance en dérivation lors de l'étalonnage du détecteur à son pont. L'application de cette correction réduit la différence entre les valeurs assignées à l'étalon de 100  $\Omega$  du BIPM à  $1 \times 10^{-9}$ . Le BIPM mesure des rapports de 10 000  $\Omega$ /100  $\Omega$  et de 100  $\Omega$ /1  $\Omega$  en une seule étape à l'aide d'un pont de résistance de rapport 100. Le NPL mesure ces rapports en deux étapes à l'aide d'un pont de résistance de rapport 10 et de résistances intermédiaires de 1000  $\Omega$  ou de 10  $\Omega$ . Les valeurs du rapport 10 000  $\Omega$ /100  $\Omega$  mesuré par les deux laboratoires diffèrent de  $3,3 \times 10^{-9}$ . Les mesures du rapport 100  $\Omega$ /1  $\Omega$  étaient, dans une certaine mesure, affectées d'un effet Peltier pour la résistance de 1  $\Omega$  et d'une fuite de résistance fortuite entre cette résistance et son enveloppe. En dépit de ces problèmes, les valeurs mesurées diffèrent de moins de  $15 \times 10^{-9}$ .

### 5.2.2 Mesures d'impédance (F. Delahaye, assisté de D. Bournaud)

Cette année, nous avons atteint un objectif important : l'implantation d'une chaîne d'étalonnage pour la mesure de capacités en fonction de  $R_{K-90}$ . Cela nous a permis de participer à deux comparaisons internationales différentes d'étalons de capacité. La première est la comparaison CCEM 92-1, coordonnée par le NIST, qui a fourni deux étalons voyageurs de 10 pF. Ces étalons ont été mesurés au BIPM en novembre-décembre 1997. La deuxième comparaison est le projet 345 d'EUROMET ; elle est coordonnée par le NPL, qui a fourni deux étalons voyageurs, l'un de 10 pF et l'autre de 100 pF. Les deux étalons du NPL ont été mesurés au BIPM en avril-mai 1998.

La chaîne d'étalonnage de capacités du BIPM comprend un pont de capacité de rapport 10 allant de 10 pF à 2000 pF et un pont de quadrature, fonctionnant à 1541 Hz, pour relier deux étalons de 2000 pF à deux étalons de résistance de 51,6 k $\Omega$ . Les deux étalons de résistance sont mesurés à très basse fréquence (1 Hz) en fonction de  $R_{K-90}$ . Un travail important accompli cette année a consisté à déterminer la dépendance en fréquence de deux résistances de 51,6 k $\Omega$  dans le domaine allant de 1 Hz à 1541 Hz. Nous avons construit à cet effet une résistance coaxiale conçue de manière à nous permettre de calculer sa dépendance en fréquence. La résistance a une valeur nominale de 1290,6  $\Omega$  et se présente sous la forme d'un fil Isohm de 27 cm de long et de 20  $\mu$ m de diamètre. Nous pensons que les variations relatives de

cette résistance sont inférieures à  $1 \times 10^{-8}$  dans le domaine allant de 1 Hz à 1541 Hz. Le rapport entre les deux résistances de 51,6 k $\Omega$  et la résistance coaxiale de 1290,6  $\Omega$  a été mesuré à 1 Hz et à 1541 Hz à l'aide de ponts conçus à cet effet. Dans le même domaine de fréquence, la différence relative de résistance observée entre les deux résistances de 51,6 k $\Omega$  était de  $-13 \times 10^{-8}$ , avec une incertitude-type d'environ  $2 \times 10^{-8}$ .

Cette année nous avons aussi mis au point une autre méthode pour déterminer le rapport de valeur nominale 10 du diviseur inductif principal de notre pont de capacité. La première méthode utilise une technique de comparaison pas à pas des onze sections du diviseur inductif ; la nouvelle méthode fait appel à la permutation de capacités parmi une série de onze étalons de 10 pF. Les deux méthodes sont en accord à  $1 \times 10^{-8}$  avec une incertitude totale du même ordre.

Nous avons aussi étudié cette année le fonctionnement de notre chaîne d'étalonnage de capacités à différentes fréquences. En particulier, nous avons fait fonctionner la chaîne à des fréquences de 1464 Hz et de 1027 Hz ainsi qu'à la fréquence nominale de 1541 Hz. Nous avons utilisé pour cela le pont de quadrature avec deux capacités portées respectivement à 2100 pF et à 3000 pF, en ajoutant des capacités de 100 pF ou de 1000 pF en parallèle avec les capacités classiques de 2000 pF. Les mesures de capacité à ces trois fréquences permettent d'obtenir par extrapolation la valeur de la capacité à d'autres fréquences, par exemple à 1592 Hz et à 1000 Hz.

Nous avons récemment effectué une estimation provisoire des incertitudes de la chaîne d'étalonnage. Pour des mesures d'étalons de capacité de 10 pF ou de 100 pF à 1541 Hz, ainsi que pour l'évaluation de leurs valeurs à 1592 Hz, l'incertitude-type composée relative est d'environ  $4 \times 10^{-8}$ .

Cette année, le BIPM a participé aux comparaisons de capacités du CCEM et d'EUROMET mentionnées plus haut et au projet 432 d'EUROMET, qui est une comparaison de résistances en courant alternatif coordonnée par le CMI. Les participants mesurent la dépendance en fréquence de deux résistances Vishay de 12 906  $\Omega$  et de 6453  $\Omega$  du courant continu jusqu'à 5000 Hz. Les étalons voyageurs ont été mesurés au BIPM en mars-avril 1998. Ces mesures sont fondées sur notre étalon de résistance coaxial calculable de 1290,6  $\Omega$ . Les rapports sur la participation du BIPM aux deux comparaisons de capacité ont été préparés et envoyés aux laboratoires pilotes. Un rapport détaillant les résultats que nous avons obtenus lors de la comparaison de résistances en courant alternatif est en préparation.

Nous sommes maintenant prêts à étalonner des capacités de 10 pF, 1000 pF et 100 pF et à participer aux comparaisons bilatérales de capacité à ces valeurs. Le laboratoire participant devra fournir les étalons voyageurs, étalons de la plus haute qualité métrologique.

### 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 ou la température, nous pouvons corriger certaines erreurs et ainsi réduire les incertitudes au niveau de la stabilité intrinsèque des étalons. Cela fait l'objet des deux paragraphes suivants.

#### 5.3.1 Mesures des coefficients de température et de pression des étalons de tension à diodes de Zener

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 que les laboratoires nationaux de métrologie nous envoient à étalonner, ou de ceux utilisés par les laboratoires nationaux et le BIPM comme étalons voyageurs dans les comparaisons bilatérales. Nous avons maintenant mesuré environ vingt étalons à diodes de Zener et nous disposons d'assez de résultats pour en tirer des conclusions générales.

Les variations relatives, en fonction de la température ambiante, de la tension de sortie des dix-sept étalons Fluke 732B à 1,018 V que nous avons étudiés se situent entre  $-39 \times 10^{-9}/\text{K}$  et  $41 \times 10^{-9}/\text{K}$ . En prenant en compte les incertitudes de mesure, nous concluons que les coefficients de température de seize d'entre eux sont bien différents de zéro. Les variations relatives de la tension de sortie des mêmes instruments à 10 V se situent entre  $-15 \times 10^{-9}/\text{K}$  et  $16 \times 10^{-9}/\text{K}$ , onze coefficients de température sur dix-sept diffèrent nettement de zéro. Des corrections peuvent être apportées aux tensions de sortie ; elles sont fondées sur la résistance mesurée des thermistances internes aux instruments. Au cours des comparaisons effectuées, nous avons trouvé que ces corrections pouvaient atteindre  $7 \times 10^{-8}$ . Pour certaines diodes de Zener, nous avons répété ces mesures plusieurs fois sur une période d'un an et demi environ, et nous avons observé que les coefficients de température sont reproductibles dans les limites de leurs incertitudes de mesure. Un rapport détaillé sur la dépendance en température figure sous la référence [2].

Pour quinze des dix-sept instruments 732B, les coefficients relatifs de pression de la tension de sortie à 1,018 V varient de  $1,7 \times 10^{-9}/\text{hPa}$  à  $2,3 \times 10^{-9}/\text{hPa}$ . Pour une tension de sortie de 10 V, ils varient de  $1,7 \times 10^{-9}/\text{hPa}$  à  $2,1 \times 10^{-9}/\text{hPa}$ . La pression moyenne au BIPM est de 1010 hPa, mais elle peut être de 800 hPa dans les laboratoires situés à haute altitude. Il faut alors apporter une correction pouvant atteindre  $4 \times 10^{-7}$ . Nous avons répété les mesures de coefficients de pression de huit de ces instruments sur une période de l'ordre de deux ans, et ainsi confirmé la reproductibilité des valeurs de ces coefficients. Les coefficients de pression de deux des dix-sept instruments 732B sont inférieurs aux autres d'environ un facteur dix et sont de signe opposé. Les deux instruments en question sont d'anciens modèles fondés sur des diodes de Zener qui ne sont plus fabriquées. Nous avons préparé un rapport détaillé sur les coefficients de pression.

#### 5.3.2 Détermination du bruit et de la stabilité des étalons de tension

De 1994 à 1996, 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. Nous avons repris ce travail et nous appliquons aussi d'autres techniques générales adaptées à l'analyse des séries temporelles. Un des objectifs est d'optimiser les procédures de mesure et de comparaison des étalons de tension. Nous avons obtenu des résultats préliminaires assez intéressants.

#### 5.4 Comparaisons bilatérales d'étalons électriques au BIPM (T.J. Witt, assisté de D. Avrons et de 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 à la fois les laboratoires nationaux de métrologie qui utilisent leurs propres étalons à effet Josephson et 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 préalables. Jusqu'à l'année dernière, les étalons voyageurs utilisés étaient ceux envoyés par les laboratoires nationaux de métrologie. Nous avons acquis récemment de nouveaux étalons voyageurs et nous vérifions actuellement leur comportement en fonction de la température et de la pression. Quand des résultats satisfaisants auront été obtenus, ces étalons s'ajouteront à ceux utilisés dans le cadre de notre programme de comparaisons bilatérales. En

février 1998, en plus des six instruments 732B et des cinq étalons de résistance de 10 k $\Omega$  de modèle SR-104 utilisés dans ce programme, nous avons reçu six étalons de 1  $\Omega$  du CSIRO, Lindfield (Australie). Nous utilisons aussi deux étalons de résistance plus anciens de 1  $\Omega$  du CSIRO qui ont été donnés au BIPM dans les années 1980.

Nous utilisons maintenant nos étalons voyageurs à diodes de Zener de façon courante et nous considérons que l'incertitude relative associée à chacun d'entre eux est inférieure à  $1 \times 10^{-7}$ , même après transport en fret. En 1998, pour la première fois, nous avons utilisé deux résistances SR104 et deux anciennes résistances de 1  $\Omega$  du CSIRO comme étalons voyageurs dans une comparaison bilatérale avec le FORBAIRT (Irlande). Les étalons ont été envoyés en fret sans effet dommageable apparent sur leur comportement.

Depuis octobre 1997 nous avons terminé les comparaisons bilatérales mentionnées dans les tableaux suivants. Ces tableaux montrent que ces comparaisons sont efficaces pour maintenir des étalons de référence exacts à plusieurs  $10^{-7}$  près dans les laboratoires nationaux de métrologie qui ne possèdent pas d'étalons à effet Josephson ou à effet Hall quantique. Elles confirment aussi à plusieurs  $10^{-8}$  près l'équivalence des étalons de tension et de résistance des laboratoires nationaux de métrologie qui possèdent des étalons quantiques. Une comparaison supplémentaire de résistance est en cours et on réfléchit à réaliser plus de comparaisons de tension.

**Étalons de tension :  $\Delta U = U_{\text{LAB}} - U_{\text{BIPM}}$**

Laboratoire	Date	1,018 V		10 V		change- ment
		$\Delta U/\mu\text{V}$	$u_c/\mu\text{V}$	$\Delta U/\mu\text{V}$	$u_c/\mu\text{V}$	
JV (Oslo)	1997-10-09	-0,04	0,02			non
NML (Dublin)	1998-04-09	-0,3	0,5	-2,5	2,5	
PSB (Singapour)	1998-04-27			0,16	0,11	non

**Étalons de résistance :  $\Delta R = R_{\text{LAB}} - R_{\text{BIPM}}$**

Laboratoire	Date	1 $\Omega$		10 k $\Omega$		change- ment
		$\Delta R/\mu\Omega$	$u_c/\mu\Omega$	$\Delta R/c\Omega$	$u_c/c\Omega$	
JV (Oslo)	1997-10-09	0,03	0,06	0,01	0,07	non
NML (Dublin)	1998-04-15	0,03	0,2			non
NML (Dublin)	1998-04-22			0,23	0,75	oui
CMI (Prague)	1998-06-12	0,11	0,10			oui

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

Cette année, les étalonnages de routine suivants ont été effectués : étalons à diode de Zener à 1,018 V et à 10 V pour la Belgique et le Brésil ; étalons de résistance de 1  $\Omega$  pour la Belgique, la Hongrie, la Suède et la Turquie ; étalons de résistance de 10 k $\Omega$  pour la Belgique, le Danemark et la Suède.

Dans le cadre d'une étude spéciale, deux étalons à diode de Zener du BIPM ont été envoyés à l'OMH (Hongrie) pour servir d'étalons de référence pour l'étalonnage de leur étalon national. Des mesures ont été faites au BIPM avant et après leur envoi pour estimer la tension des étalons voyageurs pendant la durée des mesures à l'OMH.

**5.6 Publications, conférences et voyages : section d'électricité**

**5.6.1 Publications extérieures**

1. Reymann D., Witt T.J., Andreone D., Cerri R., Godone A., Comparison of the Josephson voltage standards of the IEN and the BIPM, *Metrologia*, 1998, **35**, 21-24.
2. Witt T.J., Measurements of the temperature dependence of output voltages of some Zener diode based voltage standards, *IEE Proc. Sci. Meas. Tech.*, 1998, **145**, 154-158.
3. Witt T.J., Electrical resistance standards and the quantum Hall effect, *Rev. Sci. Instrum.*, 1998, **69**, 2823-2843.

## 5.6.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

T.J. Witt s'est rendu :

- au CEM, Tres Cantos (Espagne), les 29 et 30 octobre 1997, pour une réunion d'experts d'EUROMET dans le domaine de l'électricité.
- au NPL, Teddington (Royaume-Uni), du 4 au 6 novembre 1997, pour assister à la British Electromagnetic Measurements Conference. Il y a présenté un exposé intitulé « Measurements of the temperature dependence of the output voltages of some Zener diode based voltage standards » ; voir *Conference Digest*, Eighth International Conference on Electromagnetic Measurement, 1997, 23-1 à 23-4.
- à l'IEN, Turin (Italie), le 27 avril 1998, pour une réunion du Conseil scientifique de l'IEN.
- aux laboratoires de la société Fluke Corporation, Everett (Washington, États-Unis), le 4 août 1998, pour des discussions liées aux étalons de tension électroniques fondés sur des diodes de Zener. Il y a présenté un exposé sur la dépendance en pression et en température de tels étalons.
- à l'université Brunel, Uxbridge (Royaume-Uni), le 2 septembre 1998, en qualité d'examineur extérieur à la soutenance de thèse de doctorat de Sze Wey Chua intitulée « AC quantized Hall resistance as a standard of impedance ».
- à l'INMETRO, Rio de Janeiro (Brésil), du 11 au 18 septembre 1998, pour assister à III SEMETRO, la 3<sup>e</sup> conférence internationale sur les mesures en électricité, et visiter l'INMETRO. Il y a présenté un exposé intitulé « Recent advances in voltage and impedance metrology at the BIPM ».

T.J. Witt et D. Reymann se sont rendus :

- au CEM, Madrid (Espagne), du 13 au 17 octobre 1997, pour une comparaison sur place d'étalons de tension de 1,018 V à effet Josephson ; T.J. Witt y a présenté un exposé intitulé « BIPM comparisons of Josephson voltage standards ».
- à la PTB, Braunschweig (Allemagne), du 26 au 30 janvier 1998, pour une comparaison trilatérale sur place d'étalons de 10 V à effet Josephson ; T.J. Witt y a présenté un exposé sur « BIPM comparisons of voltage standards: on-site comparisons of Josephson standards and bilateral comparisons using conventional travelling standards ».

T.J. Witt, F. Delahaye et D. Reymann ont participé à la CPEM'98, Washington DC (États-Unis), du 6 au 10 juillet 1998, et y ont présenté ou co-signé les exposés et posters suivants :

- Pressure coefficients of some Zener-diode based electronic voltage standards, T.J. Witt, exposé ; voir aussi *CPEM'98 Digest*, 1998, 305-306.
- Comparison of the Josephson voltage standards of the CEM and the BIPM, D. Reymann, T.J. Witt, J. Balmisa, P. Castejón, S. Pérez, poster ; voir aussi *CPEM'98 Digest*, 1998, 353-354.
- Using 10 V Josephson voltage standards to estimate the uncertainty of Zener voltage references as travelling standards, J.P. Lo-Hive, D. Reymann, G. Genevès, poster ; voir aussi *CPEM'98 Digest*, 1998, 349-350.
- A three-way, on-site comparison of the 10 V Josephson voltage standards of the PTB, the SP and the BIPM, D. Reymann, T.J. Witt, G. Eklund, H. Pajander, H. Nilsson, R. Behr, T. Funck, F. Müller, poster ; voir aussi *CPEM'98 Digest*, 1998, 351-352.

F. Delahaye et T.J. Witt ont visité le NPL, Teddington (Royaume-Uni), du 8 au 12 décembre 1997, pour une comparaison sur place d'étalons à effet Hall quantique.

F. Delahaye s'est rendu à Genève (Suisse), les 29 et 30 avril 1998, pour une réunion du Comité commun sur les guides en métrologie.

### 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 et du comité technique de la CPEM. 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.

D. Reymann est membre du comité technique de la CPEM'98.

### 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. J. Boháček (Université technique tchèque), du 27 mars au 3 avril 1998.
- M. V. Tan (PSB), le 3 avril 1998.
- M. A. Jakab (OMH), le 6 avril 1998.
- Mme S. Selçik (UME), le 29 avril 1998.
- MM. A. Šebela et P. Chrobok (CMI), le 5 mai et le 24 juin 1998.
- M. K. Armstrong (FORBAIRT), le 14 mai 1998.
- M. Ling Xiang Liu (PSB), le 22 mai 1998.

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

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

La comparaison internationale de radiomètres cryogéniques effectuée à la demande de la 13<sup>e</sup> session du CCPR en 1994 est maintenant terminée. Cette comparaison est fondée sur la circulation de récepteurs de transfert, construits et étudiés au BIPM. Quinze laboratoires nationaux y ont participé : le BNM-INM (France), le CSIRO (Australie), le DFM (Danemark), l'ETL (Japon), l'HUT (Finlande), l'IFA (Espagne), l'IRL (Nouvelle-Zélande), le KRISS (Rép. de Corée), le NIM (Chine), le NIST (États-Unis), le NMi-VSL (Pays-Bas), le NPL (Royaume-Uni), le NRC (Canada), la PTB (Allemagne) et le SP (Suède). Un laboratoire a reçu les récepteurs, mais n'a pas pu effectuer les mesures ; il les a retournés sans les étalonner.

Le BIPM, en qualité de laboratoire pilote, a fait circuler les récepteurs en trois groupes séparés, chacun constitué de cinq participants. Le premier groupe a achevé ses mesures en 1997, les deuxième et troisième en 1998. Conformément à la décision de la 14<sup>e</sup> session du CCPR, les rapports préliminaires sur les résultats n'ont été diffusés qu'aux participants, ils restent confidentiels jusqu'à ce que le rapport final soit discuté lors de la prochaine session du CCPR. Une circulation complémentaire de récepteurs de transfert

est en cours : elle concerne de nouveaux participants ainsi que certains autres qui ont participé aux premières mesures et qui souhaitent répéter l'exercice.

L'étude des caractéristiques des récepteurs de transfert se poursuit. Les résultats d'une étude sur les effets de la non-linéarité et de la polarisation sur les récepteurs à piège en silicium ont été présentés à la conférence NEWRAD en octobre 1997. Les mesures absolues effectuées à l'aide du radiomètre cryogénique du BIPM s'étendent maintenant au proche infrarouge.

## 6.2 Photométrie (R. Köhler, M. Stock, Y. Ohno, assistés de C. Garreau)

Dans le domaine de la photométrie, le BIPM est le laboratoire pilote d'une comparaison clé de sensibilité lumineuse de photomètres. C'est la première comparaison du CCPR d'une grandeur photométrique fondée sur des récepteurs au lieu de lampes ; quinze laboratoires y ont participé. Des photomètres du commerce appropriés, de type entièrement filtré et thermorégulés, avaient été sélectionnés pour cette comparaison.

Les participants ont acheté leurs propres photomètres et chacun en a envoyé deux au minimum au BIPM, accompagnés des résultats d'étalonnage. Trente-trois photomètres au total ont été comparés. Les mesures ont été faites à la température de couleur de 2856 K et à un niveau d'éclairement lumineux d'environ 40 lx.

En général, les récepteurs ont fait preuve d'une bonne stabilité pendant la durée de la comparaison et l'accord global entre les participants est acceptable, même si certains résultats d'étalonnage divergent de manière non négligeable par rapport aux autres. Les participants ont été informés de leurs résultats individuels, résultats qui seront rendus publics après discussion lors de la prochaine session du CCPR.

Le BIPM a participé aux comparaisons clés de flux lumineux et d'intensité lumineuse dont la PTB est laboratoire pilote. Pour établir un lien robuste entre les unités photométriques dérivées des comparaisons internationales de 1985, la PTB a envoyé deux lots de lampes à étalonner au BIPM.

Jusqu'à récemment, les grandeurs photométriques, comme le flux lumineux et l'intensité lumineuse, étaient conservées au BIPM à l'aide de groupes de lampes. Les valeurs du flux et de l'intensité attribuées à ces lampes correspondent aux moyennes des valeurs obtenues lors de la comparaison internationale la plus récente, c'est-à-dire qu'elles datent de 1985. La moyenne internationale est probablement une bonne approximation d'une réalisation idéale, proche de la valeur du SI, mais il est difficile de garantir la stabilité des lampes et d'établir les incertitudes correspondantes. Il a donc été

décidé de trouver une autre approche, en particulier à cause des intervalles prolongés entre les comparaisons photométriques.

La définition de la candela adoptée par la 16<sup>e</sup> Conférence générale en 1979 permet de réaliser la candela au moyen de méthodes radiométriques. Comme il est possible de trouver des photomètres du commerce de bonne qualité et assez stables, il a été décidé de réaliser la candela de manière indépendante au BIPM. Des photomètres ont été achetés auprès de deux fabricants, et des ouvertures étalonnées achetées au NPL leur ont été adaptées.

Des mesures spectro-radiométriques ont été faites à l'aide d'un monochromateur double et d'un récepteur à piège en silicium. La sensibilité spectrale du récepteur à piège est déterminée à six longueurs d'onde, en l'étalonnant par rapport au radiomètre cryogénique du BIPM. Cette sensibilité spectrale est alors interpolée et transférée aux photomètres.

Ces mesures ont permis de déterminer l'écart entre la sensibilité spectrale des récepteurs et la courbe idéalisée  $V(\lambda)$  qui décrit la fonction de réponse physiologique de l'œil humain. En combinant cette valeur et celle de la sensibilité spectrale absolue au maximum de la courbe et en tenant compte de l'aire de l'ouverture, il est possible de calculer la sensibilité lumineuse de chaque photomètre.

La sensibilité lumineuse du photomètre obtenue à l'aide de ces mesures a été comparée à la candela conservée par un groupe de lampes au BIPM. Compte tenu de l'accord satisfaisant obtenu, il est raisonnable de supposer que la nouvelle réalisation de la candela au BIPM donnera une évaluation plus robuste de la grandeur intensité lumineuse.

Encouragés par le succès de la réalisation de la candela, nous avons effectué une réalisation indépendante de l'unité de flux lumineux, le lumen. Pour passer de la candela au lumen, on utilise traditionnellement des goniophotomètres afin d'intégrer le flux en provenance d'une source. Toutefois, les récents travaux de Y. Ohno du NIST ont montré qu'on peut aussi utiliser une sphère intégrante. M. Ohno a travaillé sur ce projet en qualité de stagiaire au BIPM au cours du mois de juin 1998.

La sphère intégrante de 1,5 m de diamètre du BIPM a été modifiée à cet effet. Un trou supplémentaire a été percé dans la paroi de la sphère pour y placer un photomètre, et une source à faisceau, montée de manière mécanique, de façon telle qu'on puisse la pointer sur n'importe quel point de la paroi interne de la sphère, a ensuite été introduite dans la sphère. Ce dispositif permet de cartographier la sensibilité de la surface de la sphère. C'est un préalable

essentiel à la comparaison du flux d'une source à l'intérieur de la sphère, avec un flux connu venant de l'extérieur.

Les premiers résultats indiquent que la sensibilité de la sphère dépend fortement de la température. Des études complémentaires sont en cours.

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

Pour préparer la comparaison du CCM de mesures de moyennes pressions, la balance de pression achetée récemment par le BIPM pour servir d'étalon de transfert a été utilisée dans un projet pilote auquel ont participé le BIPM et le NPL. Il s'agissait de vérifier si elle était adaptée à des comparaisons de haute exactitude d'étalons primaires de pression. La balance de pression a été étalonnée dans les deux laboratoires en mode absolu dans le domaine de 10 kPa à plus de 100 kPa. Les résultats montrent un accord satisfaisant entre les étalons primaires dans tout le domaine de pression. Des vérifications complémentaires de l'étalon de transfert ont été effectuées au NPL et la comparaison internationale a débuté en avril 1998. L'interféromètre à lumière blanche de notre manobaromètre a été entièrement réaligné et les optiques ont été nettoyées. L'amplitude des franges d'interférence se trouve maintenant multipliée par plusieurs unités par rapport à celle obtenue par le passé.

### **6.4 Thermométrie (R. Pello)**

Dans le domaine de la thermométrie, on a comparé une cellule au gallium achetée récemment à l'ancienne cellule. La nouvelle s'est montrée instable et a dû être remplacée. La cellule de remplacement est à l'étude. Des cellules à point triple de l'eau appartenant au NIM et au CENAM ont été comparées à celles du BIPM.

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

Des lampes d'intensité lumineuse ont été étalonnées pour la République tchèque et pour Singapour. Des jauges de pression ont aussi été étalonnées pour d'autres sections du BIPM : des étalonnages de ce type nous sont demandés environ une fois par mois.

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

Un nouveau serveur Internet et Intranet a été acheté et installé. Le site du BIPM est maintenant accessible en ligne sur le Web et il est consulté fréquemment de l'extérieur. Dans le cadre du développement du réseau et de la micro-informatique au BIPM, une série de cours de formation sur différents thèmes a été organisée à l'intention du personnel du BIPM. Environ quarante-cinq personnes ont participé à un ou plusieurs cours.

**6.7 Publications, conférences et voyages : section de radiométrie, photométrie, thermométrie et manométrie****6.7.1 Publication extérieure**

Quinn T.J., International equivalence of national measurement standards in thermometry, *Proc. TempBeijing'97* (the International Conference of the Temperature and Thermal Measurements), Standards Press of China, Beijing, 1997, 1-3.

**6.7.2 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)**

R. Köhler s'est rendu :

- à Tucson (Arizona, États-Unis), du 27 au 29 octobre 1997, pour assister à la conférence NEWRAD.
- au JV, Oslo (Norvège), du 9 au 11 mars 1998, pour une réunion d'experts d'EUROMET en thermométrie et faire un exposé sur « Radio-metry and photometry at the BIPM ».
- à l'OMH, Budapest (Hongrie), les 16 et 17 mars 1998, pour une réunion de spécialistes d'EUROMET en radiométrie et photométrie.
- au DFM, Copenhague (Danemark), le 19 mars 1998, pour des discussions sur la base de données commune à EUROMET et au NIST sur les comparaisons clés.
- au DFM, Copenhague (Danemark), les 23 et 24 avril 1998, pour évaluer le DFM en tant que laboratoire d'étalonnage et pour des mesures avec le radiomètre cryogénique du DFM.
- au NIST, Gaithersburg (Maryland, États-Unis), les 13 et 14 mai 1998.
- à la société Dynatherm, Baltimore (Maryland, États-Unis), le 15 mai 1998, pour visiter cette société et discuter de caloducs.

- au NIST, Boulder (Colorado, États-Unis), du 18 au 21 mai 1998, pour une réunion de la Division 2 de la CIE, pour une présentation orale sur « International comparisons initiated by the CCPR » à la réunion du CORM et pour une réunion du Groupe de travail du CCPR sur les comparaisons clés.

R. Köhler et M. Stock se sont rendus :

- à l'IRMM, Commission européenne, Geel (Belgique), le 16 février 1998.
- à la PTB, Berlin (Allemagne), les 2 et 3 mars 1998, pour visiter BESSY-2 et les laboratoires de thermométrie de la PTB.
- à Paris (France), les 23 et 24 mars 1998, pour participer à un séminaire sur les incertitudes de mesure de température.

R. Goebel et M. Stock se sont rendus :

- à Tucson (Arizona, États-Unis), du 27 au 29 octobre 1997, pour la conférence NEWRAD ; ils y ont présenté un poster intitulé « Non-linearity and polarization effects in silicon trap detectors ».
- au NRC, Ottawa (Canada), le 31 octobre 1997, pour visiter les laboratoires de radiométrie, de photométrie et de thermométrie.

R. Pello et M. Stock se sont rendus au NPL, Teddington (Royaume-Uni), les 15 et 16 octobre 1997, pour un projet pilote afin de préparer la comparaison du CCM sur les moyennes pressions.

R. Pello s'est rendu à Paris (France), les 26 et 27 mars 1998, pour participer à un séminaire sur le comportement des couples thermoélectriques platine/palladium.

## 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. M. Simionescu (INM, Roumanie), le 14 janvier 1998.
- MM. P. Henri et S. Bac (IRMM), du 16 au 27 mars 1998.
- M. P. Rullhusen (IRMM), les 25 et 26 mars 1998.
- M. N. Fox (NPL), le 20 avril 1998.

### 6.11 Stagiaire et étudiant

- M. A. Véron (IUT d'Orsay, France), du 6 mars au 30 juin 1998.
- Y. Ohno (NIST), du 1<sup>er</sup> au 30 juin 1998, détermination du lumen à l'aide de la sphère intégrante.

## 7 RAYONNEMENTS IONISANTS (M. BOUTILLON)

### 7.1 Rayons x et $\gamma$ (M. Boutillon, P.J. Allisy-Roberts, D.T. Burns, F. Luhana\*, assistés de D. Carnet et P. Roger)

#### 7.1.1 Facteurs de correction dans les chambres à paroi d'air

On a utilisé le programme de calcul de Monte Carlo EGS4 pour calculer les facteurs de correction pour la perte des électrons et pour la diffusion des photons dans les chambres étalons à paroi d'air, pour des qualités de faisceau allant de 10 kV à 300 kV. On a constaté que les résultats obtenus, suivant une méthode déjà décrite, qui utilisait une géométrie cylindrique pour évaluer les

---

\* Chercheur associé du CSIR-NML (Afrique du Sud).

facteurs de correction de manière plus flexible, étaient en désaccord avec les résultats obtenus avec une géométrie rectangulaire. La source de cette erreur n'est pas encore connue, mais les nouveaux résultats sont en bon accord avec ceux obtenus par d'autres chercheurs et fondés sur une géométrie rectangulaire. La réévaluation des facteurs de correction à appliquer à toutes les chambres à paroi d'air qui ont pris part aux comparaisons du BIPM est presque terminée.

#### 7.1.2 Amélioration de la détermination de la dose absorbée dans l'eau

L'incertitude de type A la plus importante dans la détermination actuelle de la dose absorbée dans l'eau au BIPM provient de l'estimation du volume de l'étalon, mesuré par ionométrie il y a dix ans. Des mesures complémentaires ont réduit l'incertitude-type relative sur le volume de  $1,9 \times 10^{-3}$  à  $3 \times 10^{-4}$ . La variation de la dose absorbée en fonction de petites variations de la profondeur de l'eau a aussi été remesurée pour améliorer la correction de profondeur appliquée à la réponse de la chambre.

#### 7.1.3 Facteur de correction de paroi pour les chambres à cavité utilisées dans des faisceaux de rayonnement $\gamma$

Le problème de la détermination du facteur de correction de paroi,  $k_{\text{paroi}}$ , pour les chambres à cavité utilisées pour la mesure du kerma dans l'air, n'est pas entièrement résolu. Les déterminations expérimentale et calculée de  $k_{\text{paroi}}$  pour le  $^{60}\text{Co}$  font apparaître certaines divergences. Une analyse statistique des résultats des comparaisons, réalisées au BIPM, de neuf étalons nationaux du même type (cylindrique) montre que les valeurs expérimentales de  $k_{\text{paroi}}$  sont cohérentes dans la limite de leur incertitude, mais que les valeurs calculées sont trop élevées.

Six de ces chambres ont aussi été comparées dans le faisceau de  $^{137}\text{Cs}$  du BIPM et, à cette énergie, les valeurs expérimentales correspondantes sont inférieures d'environ 0,7 %. Il semble donc qu'une étude plus approfondie de la correction de paroi soit nécessaire.

#### 7.1.4 Mise au point d'un nouvel étalon de dose absorbée

Au cours de cette année, le BIPM a pris en charge le calorimètre en graphite, l'étalon primaire mis au point par l'IRA (Suisse). Il y a un certain nombre d'années, ce calorimètre avait déjà été comparé à l'étalon de dose absorbée dans le graphite du BIPM pour le rayonnement du  $^{60}\text{Co}$  ; les valeurs mesurées

de dose absorbée étaient en bon accord. Le calorimètre sera utilisé au BIPM pour mettre au point un étalon primaire de dose absorbée dans l'eau pour le rayonnement du  $^{60}\text{Co}$ , les rayons x aux hautes énergies et les électrons. La première étape de cette procédure consiste à mettre à jour le système d'acquisition des données et à réduire la taille globale de l'étalon de manière à ce qu'il soit plus facile à transporter dans les laboratoires nationaux.

#### 7.1.5 Comparaisons et étalonnages au BIPM

Une comparaison de kerma dans l'air avec les étalons du NIST (États-Unis) a été effectuée dans le domaine des rayons x aux basses énergies. Un de ces étalons, le plus petit des deux, avait déjà été comparé à un étalon du BIPM il y a trente ans. Les résultats sont en assez bon accord. Des comparaisons ont aussi été effectuées avec l'ENEA (Italie) dans le domaine des rayons x aux énergies basse et moyenne, avec l'OFMET (Suisse) dans le domaine des rayons x aux basses énergies et avec le BNM-LCIE (France) dans le domaine des rayons x aux énergies moyennes ; les résultats sont satisfaisants. Des comparaisons en kerma dans l'air dans le rayonnement du  $^{60}\text{Co}$  ont été effectuées avec le BARC (Inde) et l'ENEA. Les résultats ne sont pas encore disponibles.

À la demande de la Section I du CCRI, le BIPM a organisé une comparaison de dose absorbée dans l'eau à des niveaux de dose élevés (jusqu'à 30 kGy) entre un certain nombre de laboratoires primaires. Cette comparaison est en cours, elle est fondée sur des dosimètres de transfert à l'alanine du NPL (Royaume-Uni) et du NIST.

Les quatre chambres de transfert choisies pour les comparaisons de dose absorbée aux hautes énergies sont régulièrement mesurées dans le faisceau de rayonnement du  $^{60}\text{Co}$  du BIPM et leur comportement est cohérent. Une procédure a été mise en place pour les comparaisons dans les laboratoires nationaux. Les premières comparaisons auront lieu au NPL, en octobre 1998.

Dans le cadre des propositions du Comité international sur l'équivalence, le BIPM a rédigé un projet décrivant une procédure applicable aux comparaisons de kerma dans l'air dans le faisceau de rayons  $\gamma$  du  $^{60}\text{Co}$ , qui a été soumis pour discussion à la Section I du CCRI.

Dix-huit étalonnages d'étalons secondaires (pour le BNM-LPRI, France, l'OFMET, Suisse, le STUK, Finlande, et l'AIEA) ont été effectués dans les faisceaux de rayonnements x et  $\gamma$ , en kerma dans l'air et en dose absorbée dans l'eau. La collaboration avec l'AIEA se poursuit sur l'irradiation de leurs dosimètres thermoluminescents dans le rayonnement du  $^{60}\text{Co}$ . En 1998 le

programme international de l'AIEA a été étendu au rayonnement du  $^{137}\text{Cs}$ , le BIPM fournissant les irradiations de référence.

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

### 7.2.1 Comparaison internationale de mesures d'activité d'une solution de $^{204}\text{Tl}$

La comparaison internationale de mesures d'activité d'une solution de  $^{204}\text{Tl}$  organisée par le BIPM est maintenant terminée. Dix-huit laboratoires ont pris part à la comparaison. Les mesures ont été faites selon douze méthodes différentes : les résultats se répartissent en deux groupes principaux dont les résultats diffèrent d'environ 6 %. Une analyse effectuée au BNM-LPRI suggère que les impuretés ne sont pas responsables de cette différence ; l'effet doit probablement être attribué à la composition chimique de la solution. Il est clair qu'il faudra poursuivre les recherches pour identifier la source de cette différence.

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

Onze nouveaux résultats ont été enregistrés dans le SIR en 1997. Huit laboratoires ont envoyé des ampoules (BARC, BNM-LPRI, CNEA, ETL, LNMRI, NIST, OMH et PTB) contenant au total huit radionucléides ( $^{59}\text{Fe}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{125}\text{I}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{139}\text{Ce}$ ,  $^{192}\text{Ir}$  et  $^{201}\text{Tl}$ ). Le nombre cumulé d'ampoules mesurées depuis le début du SIR est maintenant de six cent quatre-vingt neuf, et le nombre total de résultats indépendants est de cinq cent dix. En 1997, un résultat a été retiré (pour l' $^{131}\text{I}$ ). Depuis le début du SIR, vingt-quatre résultats ont été retirés, soit 4,7 % des résultats enregistrés. En 1998, il est prévu que nous fassions deux fois plus de mesures que les années précédentes, ce qui montre l'intérêt croissant des laboratoires nationaux pour le SIR.

Une monographie sur le SIR est en préparation ; elle donnera la liste de tous les résultats du SIR depuis l'établissement de ce système. Ce travail servira à établir le degré d'équivalence des mesures effectuées dans les différents laboratoires.

### 7.2.3 Extension du SIR aux émetteurs de rayonnement bêta : comparaison de mesures d'activité de solutions étalons de <sup>90</sup>Sr

Une ampoule de <sup>90</sup>Sr a été envoyée par l'ENEA en février 1998. Son activité a été mesurée en même temps que celle de l'ampoule de l'IRMM qui donne systématiquement un résultat divergent. L'analyse finale de la comparaison de solutions de <sup>90</sup>Sr, à laquelle onze laboratoires ont participé (BNM-LPRI, CIEMAT, ENEA, ETL, IRA, IRMM, NIST, NPL, OMH, PTB et RC) est maintenant terminée. Les résultats sont exprimés sous forme du rapport entre l'activité mesurée par le BIPM à l'aide de la méthode CIEMAT/NIST et celle déterminée par le laboratoire avec sa méthode propre. Les résultats montrent un accord acceptable, avec une valeur moyenne de 0,9996 et une incertitude-type de  $2,0 \times 10^{-3}$ . Les incertitudes individuelles exprimées sont toutefois bien supérieures à cette valeur, ce qui suggère que les laboratoires ont tendance à surestimer leurs incertitudes.

L'accord étroit entre les résultats obtenus dans cette étude suggère que l'extension du SIR aux émetteurs de rayonnement bêta, par la méthode du comptage à scintillation liquide, peut être considérée comme opérationnelle. Il faut toutefois se rappeler que cet accord a été obtenu dans des conditions favorables, les caractéristiques du radionucléide étant bien connues. Il faudra prendre un soin particulier pour les radionucléides plus difficiles à étalonner.

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

La méthode CIEMAT/NIST, qui a été utilisée dans de nombreuses comparaisons, a un inconvénient majeur : elle est fondée sur un étalon à partir duquel on prépare une série de sources affaiblies, procédure qui augmente l'incertitude. La méthode du rapport des coïncidences triples aux coïncidences doubles est une technique de scintillation liquide élégante qui évite d'utiliser un étalon de ce type. De nouveaux dispositifs électroniques ont été mis au point à cet effet, en particulier un module à triple voie capable de produire des temps morts numériques allant de 0,1  $\mu$ s à 110  $\mu$ s.

### 7.2.5 Détection des impuretés radioactives

L'efficacité du spectromètre Ge(Li) du BIPM a été mesurée entre 50 keV et 2 MeV, à l'aide d'ampoules du type du SIR placées à 20 cm ou 50 cm de distance, face au détecteur, selon une géométrie verticale. Pour évaluer l'incertitude des mesures d'activité venant des variations de la forme des

ampoules en verre, et en particulier de la base de l'ampoule, une étude expérimentale fondée sur des ampoules vides et des sources ponctuelles a été effectuée. Des incertitudes relatives allant de  $2,5 \times 10^{-3}$  à 1,2 MeV jusqu'à  $4,5 \times 10^{-3}$  à 60 keV ont été obtenues. Les autres sources d'incertitude sont le niveau de remplissage et la masse volumique de la solution radioactive, qui peuvent varier d'une ampoule à l'autre. Pour en tenir compte, on évalue par calcul le facteur de correction à l'aide d'une géométrie simple et à partir de valeurs connues pour la masse volumique et la masse de la solution.

Deux polynômes (au-dessus et en dessous de 240 keV) ont été utilisés pour ajuster le logarithme de l'efficacité mesurée au pic d'énergie totale en fonction du logarithme de l'énergie du rayonnement  $\gamma$ , avec les conditions de continuité imposées à 240 keV. L'incertitude-type relative des courbes d'efficacité se situe entre des valeurs inférieures à  $5 \times 10^{-3}$  entre 300 keV et 1,4 MeV et plus de  $1 \times 10^{-2}$  au-dessous de 100 keV et au-dessus de 1,6 MeV. L'étalonnage du détecteur Ge(Li) a été mis à l'essai avec sept ampoules du SIR soumises récemment, donnant des valeurs d'activité en accord, dans les limites de leur incertitude, avec celles exprimées par les laboratoires nationaux de métrologie.

L'évaluation de la quantité d'impuretés contenue dans les ampoules soumises au SIR est maintenant effectuée de manière routinière. Son utilité a déjà été démontrée pour deux radionucléides à durée de vie courte ( $^{201}\text{Tl}$  et  $^{99}\text{Mo}$ ).

#### 7.2.6 Étalonage de sources de $^{60}\text{Co}$ , $^{241}\text{Am}$ et $^{109}\text{Cd}$

Des sources de  $^{60}\text{Co}$  et de  $^{241}\text{Am}$  ont été mesurées à l'aide des méthodes de coïncidence  $4\pi\beta\text{-}\gamma$  et  $4\pi\alpha\text{-}\gamma$ , respectivement, à l'aide du compteur proportionnel du BIPM. La distribution des résultats montre une incertitude-type relative inférieure à  $3 \times 10^{-3}$  dans les deux cas. La méthode d'échantillonnage sélectif a aussi été employée ; l'écart entre les résultats est au maximum de  $2 \times 10^{-3}$ . Pour vérifier les résultats, d'anciennes sources de  $^{60}\text{Co}$  ont été à nouveau mesurées. Les résultats se situent à  $1 \times 10^{-3}$  de ceux obtenus lors des mesures faites en 1986. Les sources de  $^{109}\text{Cd}$  ont été étalonnées à l'aide du compteur proportionnel à pression du BIPM, qui fonctionne à une pression supérieure de 0,8 MPa à la pression atmosphérique. L'incertitude-type relative de la dispersion des résultats est de  $2,5 \times 10^{-3}$  et l'incertitude relative de type B de chaque mesure est de  $4 \times 10^{-3}$ . De plus, l'activité équivalente de la solution de  $^{109}\text{Cd}$ , mesurée dans le SIR, est en accord étroit ( $4 \times 10^{-3}$ ) avec la valeur moyenne du SIR pour le  $^{109}\text{Cd}$ .

### 7.3 Publications, conférences et voyages : section des rayonnements ionisants

#### 7.3.1 Publications extérieures

1. Allisy-Roberts P.J., Boutillon M., Variations in calibration factors of national secondary standards for x- and gamma-ray dosimetry, *Med. Biol. Eng. Comput.*, 1997, **35** - Suppl. Part 2, 1087 (abstract).
2. Allisy-Roberts P.J., Boutillon M., Ratel G., Activities of the BIPM in ionizing radiation standards, *Radioactivity Radiochemistry*, 1997, **8**, n° 4, 17 (CIRMS annual meeting abstract).
3. Boutillon M., Volume recombination parameter in ionization chambers, *Phys. Med. Biol.*, 1998, **43**, 2061-2072.
4. Burns D.T., McEwen M.R., Ion recombination corrections for the NACP parallel-plate chamber in a pulsed electron beam, *Phys. Med. Biol.*, 1998, **43**, 2033-2045.
5. Cassette P., Altitzoglou T., Broada R., Collé R., Dryak P., De Felice P., Günther E., Los Arcos J.M., Ratel G., Simpson B., Verzezen F., Comparison of activity concentration measurement of <sup>63</sup>Ni and <sup>55</sup>Fe in the framework of the EUROMET 297 project, *Appl. Radiat. Isot.*, 1998, **49**, 1403-1410.
6. Delaunay F., Leroy E., Allisy-Roberts P.J., Boutillon M., Comparaison des étalons de kerma dans l'air du BNM-LPRI et du BIPM pour les photons gamma du césium 137, *Bul. BNM*, 1997, **108**, 35-39.
7. Meghzi A., Allisy-Roberts P., Hanson W.F., Andreo P., IAEA/WHO SSDL network charter, *SSDL Newsletter*, 1997, **37**, 4-60.
8. British Committee on Radiation Units and Measurements, Memorandum: Advice on the implications of the conversion coefficients for external radiations published in ICRP Publication 74 and in ICRU report 57, *B.J.R.*, 1997, **70**, 1270-1273.
9. Picolo J.L., Seralta S., Dulieu C., Day F.E., Fennell S., Schrader H., Schötzig U., Unterweger M.P., Ratel G., International comparison of activity measurements of <sup>133</sup>Xe, *Appl. Radiat. Isot.*, 1998, **49**, 1429-1435.
10. Ratel G., Results of an international trial comparison of activity measurements of a solution of <sup>192</sup>Ir, *Appl. Radiat. Isot.*, 1998, **49**, 1437-1443.

11. Reher D.F.G., Woods M.J., Simpson B.R.S., Ratel G., Portability of the calibration of SIR of BIPM to other ionization chambers for radioactivity measurements, *Appl. Radiat. Isot.*, 1998, **49**, 1417-1419.
12. Vancraeynest G., Michotte C. *et al*, Study of the  $^{19}\text{Ne}(p,\gamma)^{20}\text{Na}$  and  $^{19}\text{Ne}(d,n)^{20}\text{Na}$  reactions and its astrophysical implications for the transition of the hot CNO cycle to the *rp* process, *Phys. Rev.*, 1998, **C57**, 2711-2723.

### 7.3.2 Rapports BIPM

13. Allisy-Roberts P.J., Boutillon M., Boas J., Huntley R., Comparison of the air kerma standards of the ARL and the BIPM for  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -rays, *Rapport BIPM-98/4*, 1998, 10 p.
14. Allisy-Roberts P.J., Boutillon M., Villevalde N.D., Oborin A.V., Yurjatin E.N., Comparisons of the standards of air kerma of the VNIIM and the BIPM for  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -rays, *Rapport BIPM-98/3*, 1998, 12 p.
15. Allisy-Roberts P.J., Shobe J., Comparison of the standards of absorbed dose to water of the NIST and the BIPM for  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -rays, *Rapport BIPM-98/5*, 1998, 9 p.
16. Boutillon M., Etard C., Pautonnier G., Comparaison des étalons de kerma dans l'air du BNM-LCIE et du BIPM dans le domaine des rayons x d'énergie moyenne, *Rapport BIPM-98/6*, 1998, 7 p.

### 7.3.3 Voyages (conférences, exposés et présentations, visites)

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

- à Teddington (Royaume-Uni), le 22 octobre 1997 et le 22 juin 1998, pour le British Committee on Radiation Units ; du 1<sup>er</sup> au 3 décembre 1997 pour la présentation annuelle des travaux sur la métrologie des rayonnements au NPL ; le 10 mars 1998 pour participer au Groupe de travail du CIPM sur l'acoustique, les ultrasons et les vibrations.
- à Londres (Royaume-Uni), le 23 octobre 1997, le 11 mars et le 16 juillet 1998, pour l'U.K. Health and Safety Commission Ionizing Radiation Advisory Committee ; le 1<sup>er</sup> mai 1998 pour étudier les propositions de la DTI concernant le NPL.

- à Washington DC (États-Unis), du 10 au 14 novembre 1997, pour un exposé au Council for Ionizing Radiation Measurements and Standards au NIST.

D.T. Burns s'est rendu :

- à Lausanne (Suisse), du 24 au 26 novembre 1997, pour des discussions sur le calorimètre étalon de l'IRA et son transport au BIPM ; du 23 au 25 mars 1998, pour un exposé à l'IRA et pour transporter le calorimètre au BIPM (avec P. Roger).
- à Vienne (Autriche), du 25 au 29 mai 1998, pour une réunion d'experts de l'AIEA sur la mise au point du nouveau code de pratique pour la dosimétrie en radiothérapie de l'AIEA.
- à Chiba (Japon), du 24 au 28 août 1998, comme représentant du BIPM à une réunion de la Main Commission de l'ICRU.

C. Michotte et G. Ratel se sont rendus à Geel (Belgique), les 26 et 27 janvier 1998, pour visiter la section de métrologie des radionucléides de l'IRMM et discuter des comparaisons en cours.

C. Michotte s'est rendue à l'université catholique de Louvain (Belgique), les 26 et 27 mars 1998, pour présenter un exposé sur l'« Étalonnage en efficacité d'un détecteur Ge(Li) entre 70 keV et 1400 keV avec une incertitude inférieure au pourcent ».

#### 7.4 Activités en liaison avec des organisations extérieures

M. Boutillon est membre du comité scientifique des SSDL de l'AIEA et conseillère pour *Physics in Medicine and Biology* et *Radiation Physics and Chemistry*.

P.J. Allisy-Roberts est membre du British Committee for Radiation Units. Elle est conseillère auprès de l'U.K. Department of Trade and Industry pour la présentation annuelle des travaux en métrologie des rayonnements au NPL et membre scientifique de l'U.K. Health and Safety Commission's Ionizing Radiations Advisory Committee.

D.T. Burns était cette année consultant auprès de l'AIEA. Il participe à la rédaction d'un code de pratique international pour la dosimétrie en radiothérapie qui doit remplacer le code actuel de l'AIEA. Il est conseiller extérieur auprès du Radiation Therapy Committee de l'AAPM et est chargé de revoir le projet de «Code of practice for high energy dosimetry» de

l'AAPM. Il a représenté le BIPM à une réunion de la Main Commission de l'ICRU en août 1998 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 a expertisé un article pour *Metrologia*.

### 7.5 Activités liées au travail des Comités consultatifs

M. Boutillon est secrétaire exécutive du CCRI. P.J. Allisy-Roberts est secrétaire exécutive du Groupe de travail du CIPM sur l'acoustique, les ultrasons et les vibrations ; elle est membre du Groupe de travail de la Section I du CCRI sur l'équivalence en métrologie. G. Ratel est membre des Groupes de travail de la Section II du CCRI sur l'extension du SIR aux émetteurs de rayonnement  $\beta$ , sur l'analyse systématique du SIR, sur l'équivalence des étalons, et sur l'analyse des résultats des comparaisons de  $^{192}\text{Ir}$ .

### 7.6 Visiteurs de la section des rayonnements ionisants

- Mme A.-M.C. Razdolescu (IFIN), le 3 octobre 1997.
- MM. A. Zanersky, S. Sepman (VNIIM), G. Schchukin, V. Chechev (Khlopin Radium Institute, Féd. de Russie) et R. Poledna (LNMRI), le 20 octobre 1997.
- MM. I. Jokelainen et J. Vanhanen (STUK), du 22 au 29 novembre 1997.
- Mlle M.-N. Péron, MM. G. Moutard et S. Staat (BNM-LPRI), le 23 janvier 1998.
- M. B. Foulis (CSIR-NML), le 23 février 1998.
- MM. D.F.G. Reher (IRMM) et M.J. Woods (NPL), le 2 mars 1998.
- M. T. Otto (CERN), le 13 mars 1998.
- M. M. Lefebvre (IUT de Cachan, France), le 26 mai 1998.
- M. B. Denecke (IRMM), le 3 juin 1998.
- M. L. Czap (AIEA), du 15 au 19 juin 1998.
- M. P. Lamperti et Mme M. O'Brien (NIST), du 29 juin au 10 juillet 1998.
- Mme R. Moning (OFMET), du 20 au 25 juillet 1998.
- Mme M. Toni et M. M. Bovi (ENEA), du 14 au 25 septembre 1998.

### 7.7 Stagiaires et étudiant

- M. F. Luhana (CSIR-NML, Afrique du Sud), du 1<sup>er</sup> décembre 1997 au 26 février 1998.
- M. P. Arenillas (CNEA), du 19 au 31 janvier 1998.
- M. G. Pugsley (IUT de Cachan, France), du 15 avril au 19 juin 1998.

## 8 PUBLICATIONS DU BIPM

### 8.1 Publications générales

Depuis octobre 1997 ont été publiés :

- *Procès-verbaux des séances du Comité international des poids et mesures*, 86<sup>e</sup> session (1997), 1998, **65**, 354 p.
- *Comité consultatif pour la quantité de matière*, 3<sup>e</sup> session (1997), 1997, 47 p.
- *Comité consultatif des unités*, 12<sup>e</sup> session (1996), 1998, 68 p.
- *Le BIPM et la Convention du Mètre*, réimpression, 1998, 63 p.
- *Le Pavillon de Breteuil : Bref historique de 1672 à nos jours*, réimpression, 1998, 19 p.
- *Besoins nationaux et internationaux dans le domaine de la métrologie : les collaborations internationales et le rôle du BIPM*, 1998, 132 p.
- *Le Système international d'unités (SI)*, 7<sup>e</sup> édition, 1998, 152 p.
- *Rapport annuel de la section du temps du BIPM (1997)*, 1998, **10**, 143 p.
- *Circulaire T* (mensuelle), 6 p.

Le BIPM dispose maintenant d'un site Web (<http://www.bipm.fr>), ainsi que d'une librairie électronique où il est possible de commander un certain nombre de publications.

### 8.2 *Metrologia* (D.A. Blackburn, P.W. Martin, J.R. Miles)

Le volume **34** de *Metrologia* a été publié en 1997. C'est le deuxième volume comprenant cinq numéros normaux ; il est révélateur d'une certaine ten-

dance, et le volume **35** suivra la même formule. Le nombre d'articles de qualité convenable proposés au journal a augmenté légèrement ces dernières années, nous pourrions donc, si nous le désirions, nous orienter uniquement vers des articles de recherche.

Le numéro spécial **34** (1), sur les activités du CCQM a suscité beaucoup d'intérêt, comme ce fut le cas pour le numéro spécial **31** (6), sur les activités du CCU. Il est prévu, dans un avenir plus éloigné, de publier des numéros spéciaux sur les activités du Comité international et de ses Comités consultatifs.

*Metrologia* est accessible en ligne sur le site <http://www.catchword.com>. Ce site permet d'accéder aux articles en mode hypertexte, ce qui a beaucoup de succès.

Il est clair que certains articles intéressent des lecteurs qui n'appartiennent pas à la communauté habituelle des métrologistes, ce qui offre une ouverture importante pour l'avenir du journal. Actuellement, l'accès en ligne à *Metrologia* est gratuit, mais le logiciel d'accès permettrait de filtrer l'accès à des individus ou des groupes autorisés et de faire payer l'accès à la page, à l'article, au numéro ou au volume. Cette question reste à l'étude.

## **9 RÉUNIONS ET EXPOSÉS AU BIPM**

### **9.1 Réunions**

Une réunion des directeurs de laboratoires nationaux de métrologie a eu lieu du 23 au 25 février 1998.

Le CCQM s'est réuni les 19 et 20 février 1998.

Le CCU s'est réuni les 8 et 9 septembre 1998.

### **9.2 Exposés**

Les exposés suivants ont été présentés au BIPM, la plupart dans le cadre général de l'information du personnel :

- L. Robertsson : My year in Boulder, le 15 octobre 1997.

- W. Lewandowski : Vues simultanées multiples par GPS et GLONASS, nouvelle approche prometteuse des comparaisons de temps, le 12 novembre 1997.
- P. Lantos (Observatoire de Meudon, France) : Les inattendus du cycle solaire, le 14 janvier 1998.
- R. Köhler : Présentation du réseau informatique et de l'accès à l'Internet au BIPM, le 28 janvier 1998.
- P. Rullhusen (IRMM, Commission européenne) : Radiation sources with relativistic electrons, le 25 mars 1998.
- P. Bouyer (Institut d'optique métrologique théorique et appliquée, Orsay, France) : L'interférométrie atomique et ses applications métrologiques, le 8 avril 1998.
- B. Denecke (IRMM, Commission européenne) : Recent developments in activity measurements at the IRMM, le 3 juin 1998.
- H. Fang (BNM-INM, Paris, France) : Le réfractomètre du BNM-INM : application à la mesure des variations de la masse volumique de l'air, le 24 juin 1998.
- C. Thomas : Le Bureau international des poids et mesures, le 22 septembre 1998 (exposé à un groupe de l'Association de l'armement terrestre).

## 10 CERTIFICATS ET NOTES D'ÉTUDE

Du 1<sup>er</sup> octobre 1997 au 30 septembre 1998, 55 Certificats et 3 Notes d'étude ont été délivrés.

### 10.1 Certificats

1997

N<sup>os</sup>

39. Étalon de force électromotrice à diode de Zener, Czech Metrological Institute (CMI), Brno, Rép. tchèque.

	n° 6 485 005 .....	
40.	Étalon de force électromotrice à diode de Zener, n° 5 740 301 .....	Service de la métrologie belge (IGM), Bruxelles, Belgique.
41.	Étalon de résistance de 1 $\Omega$ , n° 1 883 427* .....	Instituto Nacional de Metrologia Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), Rio de Janeiro, Brésil.
42.	Étalon de résistance de 1 $\Omega$ , n° 1 711 458* .....	Id.
43.	Étalon de résistance de 10 000 $\Omega$ , n° 43 007* .....	Id.
44.	Étalon de résistance de 1 $\Omega$ , n° 1 799 595* .....	Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial (INETI), Lisbonne, Portugal.
45.	Étalon de résistance de 1 $\Omega$ , n° 64 167 .....	Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut (SP), Borås, Suède.
46.	Étalon de résistance de 1 $\Omega$ , n° 64 168 .....	Id.
47.	Étalon de résistance de 10 000 $\Omega$ , n° 243 108* .....	Id.
48.	Étalon de résistance de 10 000 $\Omega$ , n° 308 019* .....	Id.
49.	Chambre d'ionisation, NE 2611A-130 .....	Office fédéral de métrologie (OFMET), Wabern, Suisse.
50.	Chambre d'ionisation, NE 2571-2690 .....	Id.
51.	Étalon de résistance de 1 $\Omega$ , n° 1616936 .....	Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME), Gebze-Kocaeli, Turquie.
52.	Étalon de résistance de 1 $\Omega$ , n° 1758733 .....	Id.
53.	Étalon de résistance de 1 $\Omega$ , n° 64179 .....	Justervesenet (JV), Kjeller, Norvège.
54.	Étalon de résistance de 1 $\Omega$ , n° 1870737 .....	Id.
55.	Étalon de résistance de 10 000 $\Omega$ , n° 25 036 .....	Id.
56.	Étalon de résistance de 10 000 $\Omega$ , n° 224 102 .....	Id.

---

\* Cet étalon a déjà été étalonné au BIPM.

57.	Étalon de force électromotrice à diode de Zener, n° 6 160 009 .....	Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial (INETI), Lisbonne, Portugal.
58.	Étalon de force électromotrice à diode de Zener, n° 6 465 008 .....	Instituto Nacional de Metrologia Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), Rio de Janeiro, Brésil.
59.	Deux chambres d'ionisation, PTW n° 620 et NE 2536/3 n° R17827 .....	Säteilyturvakeskus (STUK), Helsinki, Finlande.
60.	Chambre d'ionisation aux rayons x d'énergie moyenne, NE 2561-097 .....	Id.
61.	Chambre d'ionisation dans le faisceau de <sup>60</sup> Co, NE 2561-097 .....	Id.
62.	Laser à hélium-néon de longueur d'onde 633 nm, n° WEO 156 .....	Singapore Productivity and Standards Board (PSB), Singapour.
63.	Étalon de masse de 1 kg, en acier inoxydable, YCW .....	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), Rio de Janeiro, Brésil.
64.	Prototype de masse n° 18* .....	Royaume-Uni.

## 1998

N <sup>os</sup>		
1.	Étalon de résistance de 10 000 Ω, n° J 201 06 91 30 104* .....	Danish Institute of Fundamental Metrology (DFM), Lyngby, Danemark.
2.	Étalon de masse de 1 kg, en acier inoxydable* .....	Institut des matériaux et mesures de référence (IRMM), Commission européenne.
3.	Deux étalons secondaires d'intensité lumineuse (2800 K), n <sup>os</sup> A 615 et A 616 .....	Singapore Institute of Standards and Industrial Research (SISIR), Singapour.
4.	Étalon de force électromotrice à diode de Zener, n° 5 740 201* .....	Service de la métrologie belge (IGM), Bruxelles, Belgique.
5.	Étalon de résistance de 1 Ω, n° 76124* .....	Országos Mérésügyi Hivatal (OMH), Budapest, Hongrie.
6.	Étalon de résistance de 1 Ω, n° 470419* .....	Id.

7.	Étalon de force électromotrice à diode de Zener, n° 5565004 .....	Singapore Productivity and Standards Board (PSB), Singapour.
8.	Étalon de force électromotrice à diode de Zener, n° 6265012 .....	Id.
9.	Chambre d'ionisation, W-23342 n° 1128 .....	Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), Vienne, Autriche.
10.	Chambre d'ionisation aux rayons x d'énergie moyenne, NE 2561-265 .....	Id.
11.	Chambre d'ionisation dans le faisceau de <sup>60</sup> Co, NE 2561-265 .....	Id.
12.	Chambre d'ionisation, NE 2561-321 .....	Id.
13.	Chambre d'ionisation, NE 2571-1018 .....	Id.
14.	Étalon de force électromotrice à diode de Zener, n° 6485005* .....	Czech Metrological Institute (CMI), Prague, Rép. tchèque.
15.	Étalon de résistance de 1 Ω, n° 1816196* .....	Service de la métrologie belge (IGM), Bruxelles, Belgique.
16.	Étalon de résistance de 1 Ω, n° 1870791* .....	Id.
17.	Étalon de résistance de 100 Ω, n° 226750* .....	Id.
18.	Étalon de résistance de 10 000 Ω, n° 43021* .....	Id.
19.	Étalon de résistance de 10 000 Ω, n° 43024* .....	Id.
20.	Étalon de résistance de 1 Ω, n° S-64184 .....	Czech Metrological Institute (CMI), Prague, Rép. tchèque.
21.	Étalon de résistance de 1 Ω, n° S-64185 .....	Id.
22.	Deux étalons secondaires de température de couleur, n <sup>os</sup> 2717 et 2726* .....	Elektrotechnický Zkusební Ústav (EZU), Prague, Rép. tchèque.

23.	Deux étalons secondaires de température de couleur, n <sup>os</sup> 477 et 951* .....	Elektrotechnický Zkusební Ústav (EZU), Prague, Rép. tchèque.
24.	Trois étalons secondaires d'intensité lumineuse (2800 K), n <sup>os</sup> 511, 512 et 2/88* .....	Id.
25.	Trois étalons secondaires de flux lumineux (2800 K), n <sup>os</sup> 100391, 100392 et 100393* .....	Id.
26.	Trois étalons secondaires de flux lumineux (2800 K), n <sup>os</sup> 40511, 40512 et 40513* .....	Id.
27.	Trois étalons secondaires de flux lumineux (2800 K), n <sup>os</sup> 77A, 77C, et 14* .....	Id.
28.	Trois étalons secondaires de flux lumineux (2800 K), n <sup>os</sup> E1, E2, et E3* .....	Id.
29.	Deux étalons secondaires de flux lumineux (2800 K), n <sup>os</sup> 511 et 512* .....	Id.

## 10.2 Notes d'étude

1997

N <sup>o</sup>		
7.	Thermomètre Edale, modèle CD1.1, n <sup>o</sup> 122-1 .....	Bureau international des poids et mesures (BIPM), Sèvres, France.

1998

N <sup>os</sup>		
1.	Cellule à point triple de l'eau, n <sup>o</sup> 420 .....	Centro Nacional de Metrologia (CENAM), Mexico, Mexique.
2.	Cellule à point triple de l'eau, n <sup>o</sup> 255 .....	Institut national de métrologie (NIM), Beijing, Chine.

## 11 GESTION DU BIPM

### 11.1 Comptes

Les tableaux suivants sont la reproduction des tableaux qui figurent dans le *Rapport annuel sur la situation administrative et financière du Bureau international des poids et mesures* relatif à l'exercice 1997.

#### 11.1.1 Compte I : fonds ordinaires\*

##### Recettes

Actif au 1 <sup>er</sup> janvier 1997	23 662 921,48
Recettes budgétaires	28 609 353,11
Taxes sur les achats remboursées	860 187,67
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1997	592 350,78
<b>Total</b>	<b>53 724 813,04</b>

##### Dépenses

Dépenses budgétaires	28 516 949,11
Taxes sur les achats remboursables	1 003 863,89
Différences de change	213 774,75
Actif au 31 décembre 1997	23 990 225,29
<b>Total</b>	<b>53 724 813,04</b>

##### Détail des recettes budgétaires

Versement de contributions :			
Au titre de l'exercice 1997	20 950 055	} 26 715 139	} 26 807 543,00
Au titre de l'exercice 1996	1 748 708		
Au titre de l'exercice 1995	624 207		
Au titre de l'exercice 1994 et antérieurs	541 722		
Au titre de l'exercice 1998	2 850 447		
Prélèvement sur le compte « Remboursement aux États »	92 404		
Intérêts des fonds			1 501 559,51
Recettes diverses			300 250,60
• Cession de prototypes (kg)	125 033,07		
• Divers	175 217,53		
<b>Total</b>			<b>28 609 353,11</b>

*Dépenses du Compte I.* — Les dépenses budgétaires en 1997 se sont élevées à 28 516 949,11 francs-or pour un budget voté s'élevant à 28 624 000 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
<i>A. Dépenses de personnel :</i>				
1. Traitements	11 739 901,60	11 889 000	149 098,40	–
2. Allocations familiales et sociales	2 271 040,81	2 408 000	136 959,19	–
3. Assurance maladie (a)1	137 483,88	1 148 000	10 516,12	–
4. Assurance accidents	46 643,23	47 000	356,77	–
5. Caisse de retraite (b)	2 600 000,00	2 600 000	–	–
	17 795 069,52	20 692 000	18 092 000	
<i>B. Dépenses de fonctionnement :</i>				
1. Laboratoires et atelier	965 945,19	1 436 000	470 054,81	–
2. Chauffage, eau, électricité	394 735,52	494 000	99 264,48	–
3. Assurances	70 677,09	82 000	11 322,91	–
4. Publications	225 430,52	290 000	64 569,48	–
5. Frais de bureau	491 336,27	615 000	123 663,73	–
6. Voyages et transports de matériel	708 339,36	625 000	–	83 339,36
7. Entretien courant	370 874,87	448 000	77 125,13	–
8. Bibliothèque	358 244,01	338 000	–	20 244,01
9. Bureau du Comité	64 963,66	48 000	–	16 963,66
	3 650 546,49	4 376 000	4 376 000	
<i>C. Dépenses d'investissement :</i>				
	2 551 560,62	4 039 000	1 487 439,38	–
<i>D. Dépenses de bâtiments :</i>				
(gros travaux d'entretien et de rénovation) (c)	4 185 405,62	1 274 000	–	2 911 405,62
<i>E. Frais divers et imprévus (d) (e) :</i>				
	334 366,86	843 000	508 633,14	–
<b>Totaux</b>	<b>28 516 949,11</b>	<b>28 624 000</b>	<b>3 139 003,54</b>	<b>3 031 952,65</b>

(a) Comprenant un virement de 287 142,25 francs-or au Compte II (Caisse de retraite).

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

(c) Comprenant un virement de 3 612 954,77 francs-or au Compte V (Réserve pour les bâtiments).

(d) Comprenant un virement de 15 810 francs-or au Compte IV (Caisse de prêts sociaux).

(e) Comprenant un virement de 176 450,04 francs-or au Compte VI (Metrologia).

## 11.1.2 Compte II : caisse de retraite

**Recettes**

Actif au 1 <sup>er</sup> janvier 1997	24 823 425,05
Retenues sur les traitements	1 041 825,01
Virement du compte I *	2 887 142,25
Intérêts des fonds	1 553 613,31
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1997	658 151,53
<b>Total</b>	<b>30 964 157,15</b>

**Dépenses**

Pensions servies	4 230 438,01
Remboursement de cotisations	80 879,07
Actif au 31 décembre 1997	26 652 840,07
<b>Total</b>	<b>30 964 157,15</b>

\* Comprenant un virement de 287 142,25 francs-or provenant des économies réalisées sur l'assurance maladie (*BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 1994, **62**, 19).

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

**Recettes**

Actif au 1 <sup>er</sup> janvier 1997	113 004,08
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1997	2 879,68
<b>Total</b>	<b>115 883,76</b>

**Dépenses**

Actif au 31 décembre 1997	115 883,76
<b>Total</b>	<b>115 883,76</b>

## 11.1.4 Compte IV : caisse de prêts sociaux

<b>Recettes</b>		
Actif au 1 <sup>er</sup> janvier 1997	150 873,67	} 518 237,39
Créances au 1 <sup>er</sup> janvier 1997	367 363,72	
Créances nouvelles en cours d'année		203 910,68
Amortissements partiels des prêts :		
Capital	213 695,24	} 224 788,95
Intérêts	11 093,71	
Virement du Compte I		15 810,00
Intérêts des fonds		9 366,91
<b>Total</b>		<b>972 113,93</b>
<b>Dépenses</b>		
Prêts consentis en cours d'année		203 910,68
Créances amorties en cours d'année		213 695,24
Créances au 31 décembre 1997	357 579,16	} 554 508,01
Actif au 31 décembre 1997	196 928,85	
<b>Total</b>		<b>972 113,93</b>

## 11.1.5 Compte V : réserve pour les bâtiments

<b>Recettes</b>	
Actif au 1 <sup>er</sup> janvier 1997	1 911 246,70
Virement du Compte I	3 612 954,77
Intérêts des fonds	116 037,92
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1997	139 088,68
<b>Total</b>	<b>5 779 328,07</b>
<b>Dépenses</b>	
Dépenses Pavillon du Mail	143 681,77
Actif au 31 décembre 1997	5 635 646,30
<b>Total</b>	<b>5 779 328,07</b>

## 11.1.6 Compte VI : Metrologia

---

**Recettes**

---

Abonnements encaissés	456 168,07
Virement du Compte I	176 450,04
<b>Total</b>	<b>632 618,11</b>

---

**Dépenses**

---

Dépenses de fonctionnement	556 494,10
Dépenses d'investissement	76 124,01
<b>Total</b>	<b>632 618,11</b>

---

## 11.1.7 Compte VII : fonds de réserve pour l'assurance maladie

---

**Recettes**

---

Actif au 1 <sup>er</sup> janvier 1997	1 789 192,08
Intérêts des fonds	106 921,93
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1997	47 370,79
<b>Total</b>	<b>1 943 484,80</b>

---

**Dépenses**

---

Subvention des cotisations des retraités	25 148,10
Actif au 31 décembre 1997	1 918 336,70
<b>Total</b>	<b>1 943 484,80</b>

---

## 11.1.8 Bilan au 31 décembre 1997

Compte I	« Fonds ordinaires »	23 990 225,29
Compte II	« Caisse de retraite »	26 652 840,07
Compte III	« Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique »	115 883,76
Compte IV	« Caisse de prêts sociaux »	554 508,01
Compte V	« Réserve pour les bâtiments »	5 635 646,30
Compte VI	« Metrologia »	0,00
Compte VII	« Fonds de réserve pour l'assurance maladie »	1 918 336,70
Actif net		<b>58 867 440,13</b>

Cet actif net se décompose comme suit :

*a.* Fonds déposés en banque :

1° En francs français (1 FRF = 0,551 109 935 FO)	15 172 845,50
2° En dollars américains (1 USD = 5,9881 FRF = 3 300 101 404 FO)	11 020 147,72
3° En francs suisses (1 CHF = 4,1184 FRF = 2,269 691 158 FO)	2 040,70
4° En livres sterling (1 GBP = 9,9170 FRF = 5,465 357 229 FO)	1 216 129,37
5° En Deutsche Marks (1 DEM = 3,3457 FRF = 1,843 848 511 FO)	8 639 935,44
6° En yens (100 JPY = 4,6020 FRF = 2,536 207 923 FO)	0,00
7° En forints (1 HUF = 0,0305 FRF = 0,016 808 853 FO)	2 100,34
8° En florins (1 NLG = 2,9685 FRF = 1,635 969 843 FO)	3 680 932,15
9° En francs belges (1 BEF = 0,1622 FRF = 0,089 390 032 FO)	1 787 802,77
10° En couronnes danoises (1 DKK = 0,8784 FRF = 0,484 094 967 FO)	6 432 206,68
11° En liras italiennes (1000 ITL = 3,4045 FRF = 1,876 253 775 FO)	1 725 178,91
12° En pesetas (100 ESP = 3,9500 FRF = 2,176 884 245 FO)	2 020 046,27
13° En écus (1 XEU = 6,6135 FRF = 3,644 765 558 FO)	6 973 212,66

*b.* Espèces en caisse 18 078,11

Actif brut **58 690 656,62**

*c.* Créances de la Caisse de prêts sociaux 357 579,16

*d.* Provision pour remboursement aux États à déduire (1) -35 304,00

*e.* Sommes reçues de l'ex-Yougoslavie à déduire -145 491,65

Actif net **58 867 440,13**

(1) Compte « Remboursement aux États »

Situation au 1<sup>er</sup> janvier 1997 127 708,00

Virement au Compte I (compensation du remboursement d'avances  
faites pour le Chili) -92 404,00

Situation au 31 décembre 1997 **35 304,00**

## 11.2 Personnel

### 11.2.1 Promotion et changement de grade

- Mme Danielle Saillard, *secrétaire*, a été promue au grade de *secrétaire principale*.

### 11.2.2 Engagements

- M. Peter Wolf, né le 23 janvier 1969 à Kronstadt (Roumanie), de nationalité allemande, précédemment chercheur associé à la section du temps, est engagé en qualité de *physicien* à temps partiel à dater du 1<sup>er</sup> janvier 1998.
- M. André Zongo, né le 11 mai 1965 à Marin (France), de nationalité française, est engagé en qualité d'*agent d'entretien* contractuel à dater du 1<sup>er</sup> janvier 1998.
- M. Philippe Roger, né le 15 août 1966 à Ermont (France), de nationalité française, employé précédemment dans une société privée, a été engagé en qualité de *technicien* à la section des rayonnements ionisants à dater du 1<sup>er</sup> février 1998.
- Mme Ghislaine Negadi, née le 13 décembre 1959 à Clermont-Ferrand (France), de nationalité française, précédemment secrétaire dans une banque, a été engagée en qualité de *secrétaire* à dater du 4 mai 1998.
- M. Peter Wilson Martin, né le 7 janvier 1938 à Glasgow (Royaume-Uni), de nationalités britannique et canadienne, précédemment professeur de physique à l'université de Colombie britannique (Canada), a été engagé en qualité de *physicien principal* à dater du 1<sup>er</sup> juin 1998 ; il est rédacteur de *Metrologia* et responsable des publications du BIPM.
- M. Régis Chayramy, né le 31 octobre 1966 à Saint-Maur-des-Fossés (France), de nationalité française, précédemment technicien au BNM-LCIE, a été engagé en qualité de *technicien* dans la section d'électricité à dater du 1<sup>er</sup> septembre 1998.

### 11.2.3 Titularisation

- M. Laurent Le Mée, engagé en qualité de contractuel le 10 mars 1997, a été titularisé le 1<sup>er</sup> octobre 1997 au grade de *technicien principal*.
- M. Fabrice Boyer, engagé en qualité de contractuel le 1<sup>er</sup> septembre 1997, a été titularisé le 1<sup>er</sup> octobre 1997 au grade de *mécanicien*.

- M. Pascal Lemartrier, engagé en qualité de contractuel le 1<sup>er</sup> septembre 1997, a été titularisé le 1<sup>er</sup> octobre 1997 au grade de *maçon*.
- Mme Françoise Joly, engagée en qualité de contractuelle le 20 mai 1997, a été titularisée le 1<sup>er</sup> décembre 1997 au grade de *secrétaire de direction*.
- M. André Zongo, engagé en qualité de contractuel le 1<sup>er</sup> janvier 1998, a été titularisé le 1<sup>er</sup> août 1998 au grade de *d'agent d'entretien*.

#### 11.2.4 Chercheurs associés

- M. Leonid Vitouchkine, chercheur associé dans la section des longueurs depuis août 1993, est prolongé dans ses fonctions jusqu'en août 1999.
- M. Zhiheng Jiang, né le 13 juillet 1953 dans le Jiangsu (Chine), de nationalité chinoise, précédemment chercheur associé à l'Observatoire royal de Belgique à Bruxelles (Belgique), a été engagé en qualité de chercheur associé à la section du temps à dater du 1<sup>er</sup> janvier 1998 pour une durée d'un an.

#### 11.2.5 Départs

- M. Jacques Dias Gama, *mécanicien principal*, a pris sa retraite le 31 mars 1998 après 37 années de service.
- M. Bernard Bodson, *mécanicien principal*, a pris sa retraite le 31 mai 1998 après 21 années de service.
- M. David Alexander Blackburn, *physicien principal*, rédacteur de *Metrologia* et responsable des publications du BIPM, a pris sa retraite le 30 juin 1998 après 8 années de service.
- Mme Monique Petit, *secrétaire principale*, a pris sa retraite le 30 juin 1998 après près de 40 années de service.
- M. Auguste Montbrun, *menuisier*, a pris sa retraite le 31 juillet 1998 après 30 années de service.
- Mme Mireille Boutillon, *physicien chercheur principal*, responsable de la section des rayonnements ionisants, a pris sa retraite le 30 septembre 1998 après 10 années de service en tant que membre du personnel du Bureau international, et après 25 années de service en qualité de chercheur associé détaché au Bureau international par l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (France).

Lors de leur départ à la retraite, le directeur du Bureau les a remerciés pour leurs services dévoués et efficaces durant toutes les années qu'ils ont passées au Bureau international.

### **11.3 Bâtiments**

#### **11.3.1 Grand Pavillon**

- Remplacement d'ardoises sur une partie de la toiture.
- Peinture et rénovation de certaines salles du sous-sol.

#### **11.3.2 Petit Pavillon**

- Rénovation partielle de l'appartement des visiteurs et de l'appartement des gardiens.

#### **11.3.3 Observatoire**

- Rénovation d'un laboratoire et des installations de conditionnement d'air (Salle 103).
- Enlèvement des équipements servant à la base géodésique et à l'étalonnage des fils dans le couloir du sous-sol et rénovation.

#### **11.3.4 Bâtiment des lasers**

- Rénovation partielle de l'appartement des gardiens.

#### **11.3.5 Bâtiment des rayonnements ionisants**

- Réfection d'un bureau.
- Réfection de la salle informatique pour y installer un nouveau serveur.

#### **11.3.6 Bâtiment des neutrons**

- Poursuite des travaux préparatoires à la démolition.

#### **11.3.7 Ensemble des bâtiments**

- Installation d'un nouveau système de détection d'incendie et de fumée.

11.3.8 Extérieurs et parc

- Abattage d'un certain nombre d'arbres dangereux et remplacement.
- Réparation partielle des clôtures.

## LISTE DES SIGLES UTILISÉS DANS LE PRÉSENT VOLUME

### 1 Sigles des laboratoires, commissions et conférences

AAPM	American Association of Physicists in Medicine
AIEA	Agence internationale de l'énergie atomique
AIG	Association internationale de géodésie
AOS	Astronomiczne Obserwatorium Szerokościowe, Borowiec (Pologne)
APEC	Asia-Pacific Economic Cooperation
APMP	Asia/Pacific Metrology Programme
ARL	Australian Radiation Laboratory, Yallambie (Australie)
BARC	Bhabha Atomic Research Centre, Trombay (Inde)
BIML	Bureau international de métrologie légale
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, <i>voir</i> CCL
CCDS*	Comité consultatif pour la définition de la seconde, <i>voir</i> CCTF
CCE*	Comité consultatif d'électricité, <i>voir</i> CCEM
CCEM	(ex CCE) Comité consultatif d'électricité et magnétisme

---

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

CCEMRI*	Comité consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants, <i>voir</i> CCRI
CCL	(ex CCDM) Comité consultatif des longueurs
CCM	Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées
CCPR	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
CEI	Commission électrotechnique internationale
CEM	Centro Español de Metrología, Madrid (Espagne)
CENAM	Centro Nacional de Metrología, Mexico (Mexique)
CERN	Conseil européen pour la recherche nucléaire, Genève (Suisse)
CGPM	Conférence générale des poids et mesures
CIE	International Commission on Illumination
CIEMAT	Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Madrid (Espagne)
CIPM	Comité international des poids et mesures
CIRMS	Council on Ionizing Radiation Metrology and Standards
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)
CNEA	Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires (Argentine)
CNES	Centre national d'études spatiales, Toulouse (France)
CNRS	Centre national de la recherche scientifique, Paris (France)
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)
CORM	Council for Optical Radiation Measurements (États-Unis)

CPEM	Conference on Precision Electromagnetic Measurements
CRL	Communications Research Laboratory, Tokyo (Japon)
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)
DTAG	Deutsche Telecom AG, Darmstadt (Allemagne)
DTI	Department of Trade and Industry, Londres (Royaume-Uni)
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
ETCA	Établissement technique central de l'armement, Arcueil (France)
ETL	Electrotechnical Laboratory, Tsukuba (Japon)
EUROMET	European Collaboration in Measurement Standards
EZU	Elektrotechnický Zkusební Ústav, Prague (Rép. tchèque)
FCS	Frequency Control Symposium
FLOMEKO	IMEKO Conference on Flow Measurement of Fluids
FORBAIRT-NML	National Metrology Laboratory, Dublin (Irlande)
GREX	Groupe de recherche du CNRS : Gravitation et expériences (France)
GRGS	Groupe de recherches de géodésie spatiale
GUM	Glówny Urząd Miar/Central Office of Measures, Varsovie (Pologne)
HUT	Helsinki University of Technology, Helsinki (Finlande)
ICAG	International Conference of Absolute Gravimeters
ICRM	International Committee for Radionuclide Metrology
ICRP	International Commission on Radiological Protection
ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurements
IEE	Institution of Electrical Engineers, London (Royaume-Uni)
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, Piscataway NJ (États-Unis)

IEN	Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin (Italie)
IERS	International Earth Rotation Service
IFA	Institute for Atomic Physics, Bucarest (Roumanie)
IFCC	International Federation of Clinical Chemistry
IFIN	Institutul de Fizica si Inginerie Nucleara, Bucarest (Roumanie)
IGEX	International GLONASS Experiment
IGM	Inspection générale de la métrologie, Bruxelles (Belgique)
IGS	International GPS Service for Geodynamics
ILAC	International Laboratory Accreditation Conference
ILP	Institute of Laser Physics, Académie des sciences de Russie, Novosibirsk (Féd. de Russie)
IMEKO	International Measurement Confederation
IMGC	Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin (Italie)
INETI	Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, Lisbonne (Portugal)
INFN	Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Rome (Italie)
INM	Institutul National de Metrologie, Bucarest (Roumanie)
INM*	Institut national de métrologie, Paris (France), voir BNM-INM
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, Rio de Janeiro (Brésil)
ION	Institute of Navigation, Alexandria VA (États-Unis)
IPQ	Instituto Português da Qualidade, Lisbonne (Portugal)
IRA	Institut de radiophysique appliquée, Lausanne (Suisse)
IRL	Industrial Research Limited, Lower Hutt (Nouvelle-Zélande)
IRMM	Institut des matériaux et mesures de référence, Commission européenne/Institute for Reference Materials and Measurements, European Commission, Geel (Belgique)
ISO	Organisation internationale de normalisation
IUT	Institut universitaire de technologie
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)

JV	Justervesenet, Oslo (Norvège)
KRISS	Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon (Rép. de Corée)
LCIE*	Laboratoire central des industries électriques, Fontenay-aux-Roses (France), <i>voir</i> BNM-LCIE
LGC	Laboratory of the Government Chemist, Teddington (Royaume-Uni)
LHA	Laboratoire de l'horloge atomique, Orsay (France)
LNMRI	Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes, Rio de Janeiro (Brésil)
LPRI*	Laboratoire primaire des rayonnements ionisants, Saclay (France), <i>voir</i> BNM-LPRI
LPTF*	Laboratoire primaire du temps et des fréquences, Paris (France), <i>voir</i> BNM-LPTF
MRA	Accord de reconnaissance mutuelle/Mutual Recognition Agreement
MRI	Metrology Research Institute, Helsinki (Finlande)
NACP	Nordic Association of Clinical Physicists
NCSL	National Conference of Standards Laboratories
NEWRAD	New Developments and Applications in Optical Radiometry Conference
NIM	Institut national de métrologie, Beijing (Chine)
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	<i>voir</i> CSIR
NML	<i>voir</i> CSIRO
NML	<i>voir</i> FORBAIRT
NPL	National Physical Laboratory, Teddington (Royaume-Uni)
NRC	National Research Council of Canada, Ottawa (Canada)
NRLM	National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba (Japon)
OCA	Observatoire de la Côte d'Azur, Grasse (France)
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
OFMET	Office fédéral de métrologie/Eidgenössisches Amt für Messwesen, Wabern (Suisse)

OIML	Organisation internationale de métrologie légale
OMH	Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest (Hongrie)
OP	Observatoire de Paris (France)
PEDD	Production Engineering and Design for Development (Égypte)
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)
ROA	Real Instituto y Observatorio de la Armada, San Fernando (Espagne)
SEMETRO	Seminário Internacional de Metrologia Elétrica
SIM	Sistema Interamericano de Metrologia
SIP	Société genevoise d'instruments de physique, Genève (Suisse)
SISIR*	Singapore Institute of Standards and Industrial Research (Singapour), voir PSB
SMU	Slovenský Metrologický Ústav/Slovak Institute of Metrology, Bratislava (Slovaquie)
SP	(ex Statens Provningsanstalt) Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut/ Swedish National Testing and Research Institute, Borås (Suède)
SPIE	International Society for Optical Engineering
SSDL	Secondary Standards Dosimetry Laboratories
STUK	Säteilyturvakeskus, Helsinki (Finlande)
SUN-AMCO	Symbols, Units and Nomenclature, Atomic Masses and Fundamental Constants, Commission de l'UIPCA
TUG	Technical University, Graz (Autriche)
UAI	Union astronomique internationale
UGGI	Union géodésique et géophysique internationale
UICPA	Union internationale de chimie pure et appliquée
UIPPA	Union internationale de physique pure et appliquée
UME	Ulusai Metroloji Enstitüsü/National Metrology Institute, Marmara Research Centre, Gebze-Kocaeli (Turquie)
USNO	U.S. Naval Observatory, Washington DC (États-Unis)

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-VSL

## 2 Sigles des termes scientifiques

ACES	Horloge atomique dans l'espace/Atomic Clock Ensemble in Space
EAL	Échelle atomique libre
GLONASS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
IGS	International GPS Service for Geodynamics
EIT-90	Échelle internationale de température de 1990
KTP	Potasse titanyle phosphate
LPTF-FO1	Fontaine à césium n° 1 du Laboratoire primaire du temps et des fréquences
MJD	Jour Julien modifié
SI	Système international d'unités
SIR	Système international de référence pour les mesures d'activité d'émetteurs de rayons gamma
TAI	Temps atomique international
TCB	Temps-coordonnée barycentrique
TDCR	Rapport des coïncidences triples aux coïncidences doubles
TT	Temps terrestre
UTC	Temps universel coordonné