

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES



COMITÉ INTERNATIONAL
DES
POIDS ET MESURES

Procès-verbaux de la
76^e session — 1987

TOME 55

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

ISBN 92-822-2096-6

NOTICE SUR LES ORGANES DE LA CONVENTION DU MÈTRE

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

Le Bureau International a son siège près de Paris, dans le domaine (43 520 m²) du Pavillon de Breteuil (Parc de Saint-Cloud) mis à sa disposition par le Gouvernement français ; son entretien est assuré à frais communs par les États membres de la Convention du Mètre (1).

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

- d'établir les étalons fondamentaux et les échelles 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 déterminations relatives aux constantes physiques 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).

La Conférence Générale est formée des délégués de tous les États membres de la Convention du Mètre et se réunit actuellement tous les quatre ans. Elle reçoit à chacune de ses sessions le Rapport du Comité International sur les travaux accomplis, et a pour mission :

- 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 les décisions importantes concernant l'organisation et le développement du Bureau International.

Le Comité International est composé de 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.

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 (1937) et des rayonnements ionisants (1960). Dans ce but, un agrandissement des premiers laboratoires construits en 1876-1878 a eu lieu en 1929 et deux nouveaux bâtiments ont été construits en 1963-1964 pour les laboratoires de la section des rayonnements ionisants.

(1) Au 31 décembre 1987, quarante-sept États sont membres de cette Convention : Afrique du Sud, Allemagne (Rép. Fédérale d'), Allemande (Rép. Démocratique), Amérique (É.-U. d'), Argentine (Rép.), Australie, Autriche, Belgique, Brésil, Bulgarie, Cameroun, Canada, Chili, Chine (Rép. Pop. dc), Corée (Rép. de), Corée (Rép. Pop. Dém. de), Danemark, Dominicaine (Rép.), Égypte, Espagne, Finlande, France, Hongrie, Inde, Indonésie, Iran, Irlande, Israël, Italie, Japon, Mexique, Norvège, Pakistan, Pays-Bas, Pologne, Portugal, Roumanie, Royaume-Uni, Suède, Suisse, Tchécoslovaquie, Thaïlande, Turquie, U.R.S.S., Uruguay, Venezuela, Yougoslavie.

Une quarantaine de physiciens ou 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 dans les domaines mentionnés ci-dessus. Ces travaux font l'objet d'un rapport annuel détaillé qui est publié avec les procès-verbaux des séances du Comité International. La dotation annuelle du Bureau International est de l'ordre de 15 692 500 francs-or (en 1987), soit environ 28 475 000 de francs français.

Devant l'extension des tâches confiées au Bureau International, le Comité International a institué depuis 1927, 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 des recommandations concernant les unités, en vue des décisions que le Comité International est amené à prendre directement ou à soumettre à la sanction de la Conférence Générale pour assurer l'unification mondiale des unités de mesure.

Les Comités Consultatifs ont un règlement commun (*BIPM Proc.-Verb. Com. Int. Poids et Mesures*, 31, 1963, p. 97). Chaque Comité Consultatif, dont la présidence est généralement confiée à un membre du Comité International, est composé de délégués de chacun des grands laboratoires de métrologie et des instituts spécialisés dont la liste est établie par le Comité International, de membres individuels désignés également par le Comité International et d'un représentant du Bureau International. Ces Comités tiennent leurs sessions à des intervalles irréguliers; ils sont actuellement au nombre de huit :

1. Le 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 Comité précédent (CCE) s'est occupé des questions de photométrie).
3. Le Comité Consultatif de Thermométrie (CCT), créé en 1937.
4. Le Comité Consultatif pour la Définition du Mètre (CCDM), créé en 1952.
5. Le Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde (CCDS), créé en 1956.
6. Le Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CCEMRI), créé en 1958. En 1969, ce Comité Consultatif a institué quatre sections : Section I (Rayons X et γ , électrons), Section II (Mesure des radionucléides), Section III (Mesures neutroniques), Section IV (Étalons d'énergie α); cette dernière Section a été dissoute en 1975, son domaine d'activité étant confié à la Section II.
7. Le Comité Consultatif des Unités (CCU), créé en 1964 (ce Comité Consultatif a remplacé la « Commission du Système d'Unités » instituée par le CIPM en 1954).
8. Le Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées (CCM), créé en 1980.

Les travaux de la Conférence Générale, du Comité International, des Comités Consultatifs et du Bureau International sont publiés par les soins de ce dernier 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* ;
- *Sessions des Comités Consultatifs* ;
- *Recueil de Travaux du Bureau International des Poids et Mesures* (ce Recueil hors commerce rassemble les articles publiés dans des revues et ouvrages scientifiques et techniques, ainsi que certains travaux publiés sous forme de rapports multicopiés).

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 en 1966 par décision du Comité International.

Depuis 1965 la revue internationale *Metrologia*, éditée sous les auspices du Comité International des Poids et Mesures, publie des articles sur les principaux travaux de métrologie scientifique effectués dans le monde, sur l'amélioration des méthodes de mesure et des étalons, sur les unités, etc., 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 9 octobre 1987

Président

1. D. KIND, président de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 3300 Braunschweig, Rép. Féd. d'Allemagne.

Secrétaire

2. J. DE BOER, Institut de Physique, Université d'Amsterdam, Valckenierstraat 65, Amsterdam-C, Pays-Bas.

Membres

3. E. AMBLER, directeur du National Bureau of Standards, Gaithersburg, MD 20899, É.-U. d'Amérique.
4. W. R. BLEVIN, directeur adjoint de la Division de physique appliquée, CSIRO, P.O. Box 218, Bradfield Road, Lindfield NSW 2070, Australie.
5. A. BRAY, directeur de l'Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Strada delle Cacce 73, 10135 Torino, Italie.
6. P. DEAN, directeur du National Physical Laboratory, Teddington, TW11 0LW, Royaume-Uni.
7. K. IZUKA, président, Agency of Industrial Science and Technology, 3-1 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100, Japon.
8. H. H. JENSEN, professeur, H. C. Oersted Institutet, Universitetets Fysiske Laboratorium, Universitetsparken 5, 2100 København Ø, Danemark. *Secrétaire-adjoint.*
9. J. KOVALEVSKY, astronome au Centre d'Études et de Recherches Géodynamiques et Astronomiques, Avenue N. Copernic, 06130 Grasse, France.

10. A. I. MEKHANNIKOV, vice-président du Comité d'État de l'URSS pour les Normes, Leninski prosp. 9b, 117049 Moscou, URSS.
11. A. P. MITRA, directeur du National Physical Laboratory of India, Hillside Road, New Delhi 110012, Inde.
12. T. PLEBANSKI, directeur du Centre de Recherche et de Développement des Matériaux de Référence « WZORMAT », Ul. Elektoralna 2, 00-139 Varsovie, Pologne.
13. H. PRESTON-THOMAS, sous-directeur de la Division de Physique du Conseil National de Recherches, Ottawa K1A 0S1, Canada. *Vice-président.*
14. O. SALA, professeur, Departamento de Fisica Nucleare, Universitaria Armando Salles de Oliveria, Caixa Postal 20516, 05508 São Paulo, Brésil.
15. K. SIEGBAHN, directeur de l'Institut de Physique de l'Université d'Uppsala, Box 530, 75121 Uppsala 1, Suède.
16. J. SKÁKALA, professeur à l'Université technique de Bratislava, Gottwaldovo nam. c.17, 812 31 Bratislava, Tchécoslovaquie. *Vice-président.*
17. R. STEINBERG, Chef du Département de physique et métrologie, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, 1101 Buenos Aires, Argentine.
18. WANG Daheng, professeur, directeur de la division des Sciences techniques, Academia Sinica, Conseiller du Bureau d'Etat de Métrologie, BP 2112, Beijing, Rép. Pop. de Chine.

Membres honoraires

1. L. M. BRANSCOMB, Box 309, Concord, Massachusetts 01742.
 2. J. V. DUNWORTH, The Warbuck, Kirk Michael, Isle of Man.
 3. L. E. HOWLETT, 1702-71 Somerset Street W, Ottawa, Ontario K2P2G2.
 4. M. KERSTEN, Am Hohen Tore 4A, D 3300 Braunschweig.
 5. F. J. LEHANY, 5 Gladstone Avenue, Hunters Hill, NSW 2110.
 6. J. STULLA-GÖTZ, Gentzgasse 3, 1180 Wien.
-

LISTE DU PERSONNEL
DU
BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
au 1^{er} janvier 1988

Directeur : P. Giacomo.
Sous-directeur : T. J. Quinn.

Physiciens chercheurs principaux

A. Allisy, J. W. Müller, T. Witt, J. Bonhoure, V. D. Huynh.

Physiciens et Métrologistes

J. Hamon, A. Sakuma, R. P. Hudson, J.-M. Chartier, G. Girard, F. Delahaye,
P. Bréonçe, D. Reymann, R. Felder, G. Ratel, W. Lewandowski, C. C. Speake,
Mme C. Thomas, J. Azoubib, R. Köhler.

Chercheurs associés

B. Guinot, Mme S. Picard, A. Satrapinsky.

Techniciens de laboratoire

L. Lafaye, J. Hostache, C. Colas, C. Veyradier, D. Carnet, F. Lesueur,
R. Pello, Mme M.-J. Coarasa, D. Avrons, D. Bournaud, C. Garreau, F. Perez,
Mmes M. Thomas, A. Chartier, Mlle H. Konaté, A. Zarka.

Atelier de mécanique

J. Sanjaime, J. Leroux, B. Bodson, J.-P. Dewa, A. Gama, J. Dias,
J. B. Caucheteux, D. Rotrou, P. Benoit, M. De Carvalho.

Administrateur

J. Gaillard.

Secrétaires

Mlle J. Monprofit, Mme D. Müller, Mlle D. Le Coz, Mmes M. Petit,
L. Delfour, M.-J. Martin.

Gardiens

A. Montbrun, Mmes M.-M. Montbrun, M.-R. De Carvalho.

Services d'entretien généraux

C. Angot, Mme A. Perez, 3 employés (contractuels).

Directeurs honoraires : Ch. Volet, J. Terrien.

Métrologiste principal honoraire : G. Leclerc.

Métrologiste honoraire : H. Morcau.

ORDRE DU JOUR DE LA SESSION

1. Ouverture de la session, quorum, approbation de l'ordre du jour.
 2. Rapport du secrétaire.
 3. Rapport sur l'activité du bureau du CIPM.
 4. Préparation de la Conférence Générale :
 - proposition de l'URSS ;
 - proposition de l'Argentine ;
 - dotation ;
 - tirage au sort de 3 membres sortants en vue du renouvellement par moitié du CIPM ;
 - visite du dépôt des prototypes métriques.
 5. Comités Consultatifs :
 - rapport du CCT ;
 - rapport du CCEMRI — section II (Mesures des radionucléides) ;
 - réunions à venir.
 6. Travaux du BIPM : Rapport du Directeur.
 7. Questions administratives et financières :
 - rapport aux Gouvernements pour 1986 ;
 - quitus pour 1986 ;
 - exercice 1987 en cours ;
 - projet de budget pour 1988 ;
 - révision des allocations.
 8. Nouveau Pavillon : état d'avancement.
 9. Questions diverses.
 10. Conséquences de la CGPM. Élection du bureau.
-

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

76^e session (octobre 1987)

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES TENUES À SÈVRES ET À PARIS

Présidence de Mr D. KIND

Le Comité International des Poids et Mesures (CIPM) s'est réuni pour sa 76^e session les vendredi 9 et jeudi 15 octobre 1987. Il a tenu deux séances au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, et une séance à l'Office international des épizooties, Paris.

Étaient présents : MM. AMBLER, BLEVIN, DE BOER, BRAY, DEAN, IIZUKA, JENSEN, KOVALEVSKY, KIND, MEKHANNIKOV (absent le 15 octobre), PRESTON-THOMAS, SALA, SIEGBAHN, SKÁKALA, STEINBERG (absent le 9 octobre), WANG, GIACOMO (directeur du BIPM).

Assistaient aussi aux séances : Mr QUINN (sous-directeur du BIPM); interprètes : Mr OBOUKHOV, Mlle MONPROFIT; secrétaire : Mlle LE COZ.

Excusés : MM. MITRA et PLEBANSKI.

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

Le président ouvre la 76^e session du Comité International des Poids et Mesures et accueille les membres du Comité International, qui ne compte cette année aucun membre nouvellement élu. MM. Mitra et Plebanski ont prié le Comité de les excuser de ne pouvoir assister à cette session. Mr Steinberg, absent le 9 octobre, rejoindra le Comité ultérieurement.

Le président remercie les membres du Bureau International des Poids et Mesures pour la préparation de cette réunion. Il rappelle qu'en raison de la Conférence Générale il n'y aura pas de présentation des travaux cette année, mais que les adjoints seront conviés à se joindre au Comité lors de la séance du 9 octobre, à 15 h.

Le président constate que le quorum est atteint, malgré l'absence de MM. Mitra, Plebanski et Steinberg, conformément à l'article 12 de la Convention du Mètre.

L'ordre du jour est approuvé avec une modification : il est décidé d'ajouter au point 7 « Questions administratives et financières » la discussion de la proposition de révision des allocations de foyer et d'expatriation.

Mr Kind cède la parole à Mr de Boer pour la lecture du rapport du secrétaire et du bureau du Comité.

**2/3. Rapport du secrétaire du CIPM
et rapport sur l'activité du bureau du CIPM
(octobre 1986 — octobre 1987)**

Mr de Boer présente le traditionnel rapport du secrétaire.

1. États membres de la Convention du Mètre. — Le nombre de États membres de la Convention du Mètre est toujours de 47.
2. Membres du CIPM. — Aucun changement n'est intervenu dans la composition du Comité International au cours de l'année écoulée. Tous les sièges du Comité sont pourvus.
3. Réunions des comités consultatifs et des groupes de travail
 - Le CCT a tenu sa 16^e session, du 9 au 11 juin, sous la présidence de Mr Preston-Thomas. Les quatre groupes de travail s'étaient réunis la veille de la session du CCT.
 - La Section II du CCEMRI (Mesure des radionucléides) s'est réunie du 23 au 25 juin.

Toutes ces réunions ont eu lieu au Pavillon de Breteuil.

4. Bureau du Comité

Depuis la session d'octobre 1986 du CIPM le bureau du Comité s'est réuni plusieurs fois, l'une de ces réunions a eu lieu à Amsterdam. De plus, un certain nombre de problèmes ont été traités par

correspondance et par téléphone. Entre autres choses, au cours de l'année écoulée, le bureau a étudié :

— la préparation de la 18^e CGPM, en particulier l'élaboration du document « Programme de travail et budget du BIPM dans les quatre années 1989-1992 » et les projets de résolutions soumis par l'URSS et la République argentine ;

— les problèmes financiers pour les périodes 1985-1988 et 1989-1992 ;

— l'avancement de la construction du Nouveau Pavillon et la révision de l'estimation des dépenses ;

— la préparation d'une proposition pour modifier les allocations de foyer et d'expatriation pour le personnel du BIPM ;

— le texte de la brochure sur le BIPM et la Convention du Mètre.

De plus, le bureau s'est occupé des questions courantes d'organisation de la CGPM et du CIPM, de recrutement et de gestion du personnel du BIPM.

6. Indications financières

Le tableau ci-après donne la situation de l'actif du Bureau International, en francs-or, au 1^{er} janvier des années portées en tête de colonne :

Comptes	1984	1985	1986	1987
I. — Fonds ordinaires.....	16 895 009,59	16 227 665,79	15 439 533,68	15 550 507,07
II. — Caisse de retraites.....	7 745 117,69	9 214 761,18	10 043 819,07	11 843 142,42
III. — Fonds spécial pour l'amélioration du maté- riel scientifique.....	835 554,11	936 410,39	573 810,31	523 857,79
IV. — Caisse de prêts sociaux	123 382,54	185 090,87	187 788,99	204 771,34
V. — Réserve pour les bâtiments.....	1 884 546,82	141 352,65	821 291,74	1 816 600,45
Totaux.....	27 483 610,75	26 705 280,88	27 066 243,79	29 938 879,07

Mr Kind constate que, durant cette période, le bureau du CIPM a été très occupé et donne de nouveau la parole au secrétaire.

Mr de Boer présente alors un compte-rendu des activités du bureau du Comité depuis la dernière réunion du Comité en octobre 1986.

Les deux principaux documents soumis aux Gouvernements avant une Conférence Générale sont la « Convocation » et le « Programme de travail et budget du BIPM ». La Convocation, dont le texte a été discuté lors de la dernière session du CIPM, a été envoyée aux Gouvernements à la fin de 1986. Le « Programme de travail » qui, bien évidemment, suit la Convocation, donne une description détaillée des

travaux envisagés ainsi que le détail des estimations financières évaluées à partir de la dotation proposée dans la Convocation. Ce document a été diffusé aux Gouvernements des États membres en mars 1987.

Le bureau a examiné aussi en détail le texte du rapport du président du Comité à la CGPM. Parmi les points importants abordés dans ce rapport figurent le transfert du TAI, les modifications du programme scientifique décidées par le CIPM en 1985 et la poursuite du plan de construction à long terme avec en particulier la décision de commencer la construction du Nouveau Pavillon.

Le bureau a étudié le document préparé par le secrétaire du CIPM sur l'évolution financière du BIPM. La finalité de ce document, qui a été diffusé aux membres du CIPM en avril 1987, était de montrer d'une façon aussi claire que possible la façon dont la dotation votée par la 17^e CGPM a été utilisée.

Le bureau a étudié les projets de résolution soumis par l'URSS et la République argentine. Il a été décidé de proposer au CIPM d'appuyer la proposition de l'URSS et de demander au CIPM de préparer un projet de résolution fondé sur cette proposition en vue de le soumettre à la CGPM. En ce qui concerne la proposition de la République argentine, il a été décidé, après avoir pris l'avis de A. Allisy, d'envoyer au Prof. Steinberg une lettre exposant les difficultés soulevées par cette proposition. Le bureau a estimé que la dosimétrie des doses élevées n'est pas un domaine du ressort du BIPM mais que c'est un problème de niveau industriel qui est davantage de la compétence de l'OMS ou de l'AIEA.

Le bureau a proposé d'apporter une modification au budget pour 1987, adopté par le CIPM en octobre 1986. Il est ainsi devenu possible d'absorber en 1987 le solde du coût du TAI dans le budget annuel, et non pas en 1988, ainsi qu'il avait été prévu à la dernière réunion du Comité. Le nouveau budget a été diffusé aux membres du CIPM en février 1987.

Le bureau a aussi préparé une proposition concernant les allocations de foyer et d'expatriation pour le personnel du BIPM. Cette proposition sera examinée au point 7 de l'ordre du jour.

Mr Dean demande s'il sera discuté de la proposition de l'URSS à la 18^e CGPM relative à la répartition des contributions. Mr Kind répond qu'il en sera discuté au point 4 de l'ordre du jour « Préparation de la Conférence Générale ».

En ce qui concerne la proposition de l'Argentine, Mr Blevin rappelle que Mr Steinberg est absent, et qu'il serait préférable de ne discuter de cette proposition qu'après son arrivée.

Mr de Boer donne ensuite un aperçu du déroulement des travaux de construction du Nouveau Pavillon, qui sont maintenant bien avancés. Après que le CIPM a donné son accord en octobre 1986 pour commencer les travaux, le programme de construction a été mis au point et les contrats ont été signés vers la fin du mois de mars 1987. Le site a été préparé en mai (ce qui a comporté l'enlèvement d'environ 3 000 tonnes de terre) et à la fin de juillet les fondations, la reprise en sous-œuvre du Grand Pavillon et les murs du niveau inférieur du bâtiment étaient terminés. On espère que le bâtiment pourra être prêt à emménager en septembre 1988. On n'a pas rencontré de graves problèmes techniques pendant ces premières étapes critiques de la construction et le lien avec le Grand Pavillon s'est fait sans difficulté. Au tout début de la préparation du site, une couche inattendue de sable fin, à une profondeur d'environ 4 mètres, a posé quelques problèmes mais ceux-ci ont été résolus.

Au 31 mars 1987, époque où les contrats ont été signés, la situation financière était la suivante :

	Francs-or
Solde du Compte V (bâtiments).....	1 734 000
Estimation du coût du bâtiment fondée sur le montant des contrats.....	3 800 000
Honoraires de l'architecte 570 000 FO, dont 294 000 FO ont déjà été versés, reste dû.....	<u>276 000</u>
Total à payer	4 076 000
Virement au Compte V en 1987	1 100 000
Virement au Compte V en 1988	<u>1 242 000</u>
	4 076 000 4 076 000

Il convient de noter qu'à l'exception de l'extension de l'Observatoire en 1929 et de la construction en 1964 des bâtiments pour la section des rayonnements ionisants, toutes les dépenses d'entretien, de modernisation et d'extension des bâtiments ont été comprises dans le budget annuel ; c'est aussi le cas pour le bâtiment des lasers et le Nouveau Pavillon.

Mr Kind note que les dépenses d'entretien des bâtiments se sont toujours situées à un niveau assez élevé, voisin de 8 % du budget annuel depuis plus de soixante-dix ans. La construction de deux nouveaux bâtiments au cours de ces dernières années n'a pas modifié sensiblement la tendance générale, ce qui justifie la décision de construire ces nouveaux bâtiments. Il remercie Mr de Boer pour sa présentation.

Mr Quinn présente la brochure sur le BIPM et la Convention du Mètre qui vient d'être imprimée.

Mr Kind rappelle que cet opuscule a demandé beaucoup de travail et sollicite des remarques à son sujet.

Mr Quinn ajoute que c'est le fruit d'un travail collectif : les photographies et dessins réalisés au BIPM ont largement contribué à la présentation du document ; le texte a été grandement amélioré grâce aux remarques des membres du Comité. Le Bureau souhaite que cette brochure soit diffusée aussi généreusement que possible, car elle donne une bonne représentation de l'activité du BIPM et des organes de la Convention du Mètre. Elle sera distribuée gratuitement.

Mr Bray félicite Mr Quinn pour cette publication et se propose d'en distribuer des exemplaires en Italie.

Mr Dean félicite aussi Mr Quinn : il trouve la présentation excellente. Il pense que le texte devra être mis à jour périodiquement, à l'occasion de chaque Conférence Générale par exemple.

Mr Quinn précise que cette brochure a été inspirée par l'un des « Annual Reports » du National Physical Laboratory. Il ajoute qu'elle sera distribuée à la Conférence Générale.

Mr de Boer propose au Comité d'approuver l'engagement au BIPM de deux nouveaux physiciens : MM. Robertsson et Köhler, et d'un chercheur associé : Mme Picard.

Mr Giacomo est très satisfait de ces engagements. Le BIPM a reçu environ 50 réponses à ses offres d'emploi ; sur ces 50 réponses, 20 ont été sélectionnées, et le BIPM a convoqué 10 personnes pour des entretiens. Trois candidats ont été retenus. Il remercie les membres du CIPM qui ont favorisé l'engagement de très bons candidats en aidant au recrutement dans leur propre pays.

Mr Robertsson, de nationalité suédoise, travaille actuellement à l'Institut de recherche en optique de l'Institut royal de technologie de Stockholm. Il sera engagé à titre permanent dans la section des lasers.

Mr Köhler, de nationalité allemande, travaille actuellement pour la société Philips en Hollande. Il sera recruté à titre permanent pour travailler dans la section de radiométrie et pour superviser le service d'informatique.

Mme Picard, de nationalité suédoise, termine actuellement une thèse, en France, dans un laboratoire de spectroscopie moléculaire. Elle sera engagée pour une période de deux ans comme chercheur associé dans la section des lasers.

Le Comité approuve les engagements de MM. Robertsson et Köhler, et de Mme Picard.

Mr Quinn rappelle qu'il ne s'agit pas de créations de poste, mais de remplacements : Mr Robertsson et Mr Köhler ont été recrutés sur les postes laissés vacants par Mr Gläser et Mr Carré ; Mme Picard occupera un des postes de chercheur associé actuellement vacant.

Il rappelle que Mr Boutin, chef d'atelier, prendra sa retraite en décembre 1987, et que Mr Sanjaimé, moniteur de mécanique générale

dans un Centre de formation pour adultes, le remplacera. Mr Gilbert, mécanicien principal, prendra sa retraite le 1^{er} novembre 1987 ; il sera remplacé par Mr Caucheteux, technicien d'atelier à l'Office national d'études et de recherche aérospatiales (ONERA), Châtillon (France). Mr Hamon quittera le Bureau au printemps de 1988. Un technicien a été engagé par anticipation en septembre 1987 sur le poste qui sera alors vacant.

Mr Dean demande si l'on a fait de la publicité pour les embauches de physiciens. Mr Quinn lui répond qu'une publicité a été faite dans six revues scientifiques internationales, et que des réponses ont été reçues du Royaume-Uni, de République fédérale d'Allemagne, des États-Unis d'Amérique et de nombreux autres pays. Dix des candidats étaient excellents, et il regrette de n'avoir pu les engager tous.

Mr Kind clôt la discussion des points 2 et 3 de l'ordre du jour.

4. Préparation de la 18^e Conférence Générale

4.1. Proposition de l'URSS

Mr de Boer a présenté la proposition de l'URSS et la position du bureau du Comité dans un document qui a été distribué aux membres du CIPM par courrier en septembre 1987.

En 1960, la 11^e CGPM a décidé de fonder le mode de répartition des contributions sur les coefficients ONU avec un maximum de 10 % et un minimum de 0,5 %.

En 1979, la 16^e CGPM a modifié ce mode de répartition, en adoptant « sans avis contraire » la Résolution 7, aux termes de laquelle le pourcentage maximal et le pourcentage minimal étaient multipliés par $100/(100 + x)$, où x était le pourcentage à attribuer à la Rép. Pop. de Chine qui avait adhéré à la Convention du Mètre après la 15^e CGPM. Ce pourcentage se révéla être $x = 2,27$, ce qui faisait donc passer le maximum et le minimum respectivement à 9,78 % et 0,49 %.

Cette décision unanime de la 16^e CGPM de modifier les pourcentages maximal et minimal constituait un changement officiel du mode de répartition en vigueur depuis la dernière modification de 1960. Depuis 1981 les pourcentages maximal et minimal de 9,78 et 0,49 ont été par conséquent utilisés pour la répartition des contributions.

L'URSS présente maintenant une nouvelle proposition pour modifier le mode de répartition de *façon automatique à chaque CGPM* selon la même méthode. Le bureau du Comité estime que cette proposition est raisonnable.

Le tableau suivant donne quelques exemples typiques des corrections à apporter aux coefficients à la suite de l'adhésion d'Israël ($x = 0,49$), en supposant que les coefficients de l'ONU pour 1987 resteront inchangés

dans les années 1989-1992, et en supposant que l'on applique (a) le mode de calcul actuel ou (b) le mode de calcul correspondant à la proposition de l'URSS.

	1987	pour la période 1989-1992	
		(a)	(b)
4 pays « maximum ».....	9,78	9,78	9,73
France.....	8,80	8,72	8,76
Royaume-Uni.....	6,71	6,64	6,68
Australie.....	2,29	2,27	2,28
Pays « minimum ».....	0,49	0,49	0,49

Il est évident qu'avec le mode de calcul actuel (a) les coefficients qui sont compris entre le maximum et le minimum sont les seuls à bénéficier d'une réduction, et cette réduction est plus importante que l'augmentation relative de la dotation totale (ici de 0,49 %) résultant de l'adhésion du nouvel État.

Selon la proposition de l'URSS (b) le coefficient de chaque pays serait réduit dans les mêmes proportions, de telle sorte que la contribution effective des différents États ne serait pas modifiée par suite de nouvelles adhésions.

La proposition de l'URSS pourrait facilement être exprimée comme suit :

La Dix-huitième Conférence Générale des Poids et Mesures,

considérant qu'après chaque Conférence Générale la prise en compte des États qui ont adhéré à la Convention du Mètre après la Conférence précédente devrait entraîner une réduction des pourcentages de répartition pour tous les autres États,

décide que cette réduction sera appliquée également au pourcentage maximal et au pourcentage minimal définis dans l'article 20 du Règlement annexé à la Convention du Mètre et modifiés par la 11^e et la 16^e Conférences Générales.

Mr Kind ouvre la discussion sur la proposition de l'URSS à la 18^e Conférence Générale relative à la répartition des contributions en cas d'adhésion d'un nouvel État à la Convention du Mètre.

Mr Dean demande comment sont calculés les chiffres des colonnes (a) et (b) du tableau.

Mr Blevin aimerait lui aussi mieux comprendre le mode de calcul.

Mr Giacomo fait remarquer qu'il convient de comparer la colonne (b) à la première colonne (1987) et non à la colonne (a).

Mr de Boer explique que la proposition de l'URSS entraîne une réduction de contribution non seulement pour les pays dont le coefficient est au maximum, mais aussi pour les pays dont le coefficient est intermédiaire (voir la colonne (b) à comparer avec la première colonne).

Jusqu'ici, seuls les pays intermédiaires voyaient leur contribution réduite du fait d'une nouvelle adhésion (voir la colonne (a) à comparer avec la première colonne), ce qui n'était pas normal. Le CIPM doit décider s'il est favorable ou non au projet de résolution que le bureau du Comité propose de soumettre à l'approbation de la CGPM.

Mr Blevin rappelle qu'il convient de discuter le principe même d'une telle résolution, et non le fait que les chiffres proposés sont acceptables ou non. Il faut revoir le mode de calcul actuel aligné sur les coefficients de l'Organisation des Nations unies (ONU). Il avait été décidé que les grands pays paieraient un maximum de 10 % et les petits pays un minimum de 0,5 %. Le chiffre de 10 % était sans doute un compromis tenant compte de ce que les grands pays étaient en mesure de payer. On s'est maintenant écarté de cette règle ; en effet, le mode de calcul a été modifié en 1983 à l'occasion de l'adhésion de la République populaire de Chine, sans aucune discussion de principe. Il convient maintenant d'en discuter et de prendre une décision de principe.

Mr Dean reconnaît qu'au cours des vingt dernières années les coefficients maximal et minimal sont restés inchangés, et que la réduction des coefficients résultant d'une nouvelle adhésion était répartie entre les seuls pays intermédiaires. Il demande si l'adhésion d'un nouvel État entraîne une augmentation de la dotation du BIPM ou une réduction des contributions des autres pays ?

Mr de Boer répond que, lorsqu'un nouvel État adhère à la Convention du Mètre, la dotation totale se trouve augmentée, exactement de la contribution de ce nouvel État membre. Pour maintenir constante la contribution de chaque État, il faudrait alors que le coefficient de répartition de chacun soit réduit dans la même proportion. Actuellement ce n'est pas le cas : les pays dont le coefficient est au maximum ou au minimum continuent à payer la même fraction de la dotation totale, leur contribution est donc augmentée, tandis que les pays dont le coefficient est intermédiaire bénéficient d'une réduction de leur coefficient, et même d'une réduction de leur contribution. Cela n'est pas équitable. Suivant la proposition de l'URSS, l'adhésion d'un nouvel État ne modifierait pas les contributions des autres États, c'est pourquoi le bureau du Comité approuve cette proposition. Elle reprend en fait une proposition qui avait déjà été faite par Mr Kiparenko lors de la précédente Conférence Générale, mais qui n'avait pas pu être discutée faute d'une proposition écrite préalable. Mr de Boer pense que la Conférence Générale ne peut qu'approuver une telle proposition.

Mr Kind souligne qu'il y a maintenant peu de chances qu'un grand pays adhère prochainement à la Convention du Mètre. L'adhésion de petits pays entraînera peu de changements au niveau financier, et donc peu de discussions.

Mr Jensen demande une nouvelle rédaction du projet de résolution.

Mr Dean pense qu'il faudrait également rédiger à nouveau le document explicatif qui manque de clarté et qui est peu convaincant.

Mr Kind suggère de rédiger un nouveau projet de résolution, et de le commenter oralement, à la Conférence, en disant que le CIPM est favorable à cette proposition. Mr de Boer précise qu'il serait utile de citer dans la résolution l'article 20 du Règlement annexé à la Convention du Mètre. Après un bref échange de vues le Comité se met d'accord sur une nouvelle version du projet de résolution à soumettre à l'approbation de la 18^e Conférence Générale :

Projet de résolution H

La Dix-huitième Conférence Générale des Poids et Mesures,

considérant qu'après chaque Conférence Générale des Poids et Mesures la prise en compte des États qui ont adhéré à la Convention du Mètre après la Conférence Générale précédente devrait entraîner une réduction des pourcentages de répartition pour tous les autres États,

décide qu'un même facteur de réduction sera appliqué uniformément à tous les pourcentages de répartition, y compris le pourcentage maximal et le pourcentage minimal définis dans l'article 20 du Règlement annexé à la Convention du Mètre et modifiés par la 11^e et la 16^e Conférences Générales.

Mr Wang Daheng demande à quelle date cette proposition serait applicable.

Mr de Boer répond qu'elle serait applicable à partir de 1989, puisque la 18^e Conférence Générale des Poids et Mesures décidera de la dotation pour les années 1989 et suivantes.

4.2. Proposition de l'Argentine

Après discussion avec le bureau du Comité et la direction du BIPM, Mr Steinberg a fait part à Mr Giacomo de l'intention de la délégation de l'Argentine de retirer sa proposition à la Conférence Générale.

4.3. Dotation

Mr Kind rappelle qu'une augmentation de la dotation de l'ordre de 6 % par an a été demandée pour la période 1989-1992. Il propose de faire un tour de table pour connaître la position des membres du CIPM et de leurs Gouvernements.

Mr de Boer souligne qu'il convient de corriger les chiffres relatifs à la prise en charge du TAI dans la Convocation de la Conférence Générale : le TAI sera financé sur les réserves du BIPM en deux ans seulement, à concurrence de 900 000 francs-or en 1986 et 450 000 francs-or en 1987.

Mr Blevin fait observer que la Convocation a été rédigée il y a un certain temps et que l'inflation, qui était alors de 6 % par an, est moindre maintenant.

Mr Kind répond qu'à l'époque l'inflation estimée était déjà de l'ordre de 3 % par an, mais il y a d'autres facteurs qui entrent dans le calcul de ce pourcentage de 6 %.

Mr de Boer fait remarquer que l'inflation augmente de nouveau : elle est maintenant de l'ordre de 4 % par an. Si l'on devait modifier ces chiffres, on devrait peut-être les augmenter encore. Il attire l'attention sur l'évolution de l'indice INSEE et sur le fait que cet indice est appliqué avec 6 mois de retard au BIPM. Une augmentation de 6 % par an de la dotation est raisonnable pour le moment, mais l'avenir est incertain.

Mr Kind pense aussi que le CIPM ne doit pas proposer un chiffre inférieur.

Mr Dean rappelle que pour la période de quatre ans couverte par la précédente dotation, l'inflation a été inférieure au pourcentage d'augmentation annuel de 9 % voté par la dernière Conférence Générale. Il serait anormal de ne pas en tenir compte.

Mr de Boer et Mr Kind répondent qu'il en a été tenu compte lors de la prise en charge des dépenses relatives au TAI et aux bâtiments qu'on a pu absorber dans le budget normal du BIPM : le TAI sera absorbé en deux ans. Mr Kind rappelle qu'un document sur le TAI a été préparé et annexé à la Convocation. Il propose un tour de table pour connaître la position des différents pays sur une augmentation de la dotation de 6 % par an.

Il en ressort que l'augmentation annuelle de 6 % sera loin de recueillir l'unanimité et pourrait même faire l'objet d'un vote contraire.

Mr Kind rappelle qu'il est nécessaire d'obtenir l'unanimité sur la dotation. Le vote négatif d'un seul pays oblige à réunir à nouveau la Conférence Générale, ce qui coûte fort cher.

Selon l'usage, il faudra constituer un groupe de travail *ad hoc* pour la dotation. Mr Kind suggère qu'y soient représentés un pays d'Amérique du Sud (Argentine ou Brésil), l'Espagne ou l'Italie, un pays scandinave (Suède ou Danemark), le Royaume-Uni, la Bulgarie, la Roumanie et la République populaire de Chine. Après discussion on décide que la composition qui sera finalement proposée pour ce groupe de travail comprendra 12 pays : Rép. Féd. d'Allemagne, É.-U. d'Amérique, Brésil, Bulgarie, Rép. Pop. de Chine, Danemark, Espagne, France, Japon, Roumanie, Royaume-Uni et URSS.

4.4. Tirage au sort de trois membres sortants

La 18^e CGPM doit procéder au renouvellement par moitié des membres du CIPM. Les membres sortants sont d'abord ceux qui ont été élus provisoirement depuis la dernière Conférence Générale. Ce

sont : MM. Dean, Iizuka, Kovalevsky, Mekhannikov, Mitra et Sala. Le Comité doit donc tirer au sort trois autres noms pour compléter la liste à soumettre au vote de la Conférence Générale.

Le tirage au sort désigne MM. Blevin, Siegbahn et Wang.

4.5. Visite du dépôt des prototypes métriques

En raison de la Conférence Générale, la visite du dépôt des prototypes métriques a lieu le mardi 13 octobre ; le procès-verbal de la visite figure dans les *Comptes rendus de la 18^e Conférence Générale des Poids et Mesures*.

5. Comités consultatifs

Depuis la dernière session du Comité International, le CCT et la section II du CCEMRI (Mesure des radionucléides) se sont réunis.

5.1. Comité Consultatif de Thermométrie

Mr Kind donne la parole à Mr Preston-Thomas pour la présentation du rapport du CCT. Mr Preston-Thomas rappelle aux membres du Comité qu'un rapport abrégé du CCT leur a été remis, et que le rapport détaillé du comité consultatif devrait être distribué avant la fin de 1987. Les recommandations du CCT ont été diffusées ultérieurement au CIPM et n'ont fait l'objet d'aucun commentaire.

L'Échelle internationale pratique de température doit être remplacée. C'est une tâche difficile. Malheureusement l'effort consacré à la thermométrie dans les laboratoires nationaux a été réduit au cours des dernières années, en même temps qu'était réduite l'activité en thermométrie au BIPM, pour des raisons bien fondées ; toutefois, le travail réalisé par le personnel du BIPM est d'excellente qualité. Le CCT fait de son mieux pour que le changement de l'échelle de température et le changement apporté aux représentations des unités électriques aient lieu simultanément, en 1990. Il espère être en mesure de proposer une nouvelle échelle pour cette date, car l'industrie a besoin d'une précision de plus en plus grande. Tout retard soulèverait davantage de problèmes, et un changement à une date ultérieure serait plus difficile à faire accepter par les milieux industriels.

Mr Bray souligne que l'Italie fait beaucoup de travail de recherche pour la mise en pratique de cette nouvelle échelle de température. Dans la Convocation de la 18^e CGPM, il est envisagé que le BIPM réduise son activité en thermométrie. Il se dit opposé à une telle réduction et pense que s'il en était ainsi, le BIPM ne remplirait pas sa mission en ce domaine.

Mr Preston-Thomas regrette aussi cette diminution d'activité. De nombreux laboratoires nationaux ont apporté leur contribution à la nouvelle échelle de température. Au Royaume-Uni, au Canada, aux États-Unis d'Amérique, les laboratoires nationaux ont réduit leur activité en thermométrie. La diminution de l'activité en thermométrie au BIPM et dans les laboratoires nationaux n'est pas coordonnée. C'est une conséquence de l'effort porté dans d'autres domaines durant les quinze dernières années.

Mr Ambler regretterait fort que le CCT ne soit pas prêt à mettre en vigueur la nouvelle échelle de température au moment où interviendra le changement de la valeur des références du volt et de l'ohm.

Mr Preston-Thomas est d'accord avec lui : si l'EIPT n'est pas modifiée à ce moment-là, il sera très difficile de la modifier plus tard. Mais en thermométrie certains spécialistes craignent de ne pas être prêts pour cette date. Ils sont embarrassés à l'idée de mettre en vigueur une échelle de température qui, selon eux, ne serait pas suffisamment testée du point de vue métrologique. Mais en pratique, en raison des besoins des utilisateurs, il n'est pas possible d'attendre que l'échelle soit parfaite pour la mettre en vigueur.

Mr Ambler insiste sur le fait que le changement de l'EIPT et celui des unités électriques doivent être simultanés.

Mr Preston-Thomas dit que sur certains points cela lui rappelle ce qui s'est passé en 1968 : l'échelle n'était pas suffisamment bien rattachée aux températures thermodynamiques. Il vaut mieux étudier la nouvelle échelle en détail, et rectifier plus tard les petites erreurs qui subsisteraient, erreurs qui ne devraient pas être perceptibles pour l'industrie.

Mr Quinn ajoute qu'il ne voudrait pas que le CIPM puisse penser que le CCT est soumis à une pression d'ordre politique. Il pense que le temps est venu de faire ce changement, qui s'impose depuis longtemps ; les informations dont dispose maintenant le CCT le permettent. Dans le domaine électrique, le besoin de changer les valeurs des représentations des unités ne se fait sentir que depuis deux ou trois ans, alors que dans le domaine de la thermométrie un changement est nécessaire depuis 1968 pour se rapprocher des températures thermodynamiques. Bien qu'il soit toujours préférable de faire davantage de vérifications, il faut décider maintenant si les informations disponibles sont suffisantes pour effectuer le changement de l'EIPT, sinon ce changement n'aura jamais lieu. Il faut bien comprendre qu'il s'agit avant tout d'une question technique liée aux besoins urgents de l'industrie, et non d'une question politique.

Pour Mr Ambler, la pression exercée par le CCE sur le CCT n'est pas d'ordre politique, elle a plutôt pour objectif d'assurer que ces changements, importants pour l'industrie, ne soient pas faits dans le désordre.

Mr Preston-Thomas rappelle qu'il a toujours été entendu que le CCT pourrait au dernier moment décider de ne pas promulguer son

projet de nouvelle échelle en 1990 s'il ne se sentait pas prêt. Pour l'instant il est prévu qu'un groupe de travail du CCT se réunira en 1988 pour discuter de la nouvelle échelle de température. L'objectif est que le CCT et le CCE se mettent d'accord avant la session de 1988 du CIPM, qui devra approuver les nouvelles valeurs. Le CCT sera, à cette époque, seulement en mesure de donner une très bonne approximation des écarts entre T_{90} et T_{68} . Les derniers détails ne seront mis au point qu'en 1989. La date la plus favorable pour l'introduction de la nouvelle échelle de température serait 1991. Mr Quinn rappelle le projet de résolution G soumis à la 18^e Conférence Générale stipulant que l'échelle doit être annoncée un an à l'avance. Des valeurs des écarts seront données fin 1988, mais les valeurs exactes seront données plus tard. MM. Dean et Ambler soulignent la nécessité pour les laboratoires nationaux de savoir exactement quand le changement aura lieu, ils insistent pour qu'il ait lieu en même temps que le changement relatif aux unités électriques.

Revenant au programme de travail du BIPM, Mr Quinn dit qu'il convient d'établir des priorités. Autrefois, il avait été décidé de favoriser les étalonnages de thermomètres à résistance de platine, la recherche en pyrométrie infrarouge, ainsi que la coordination des comparaisons internationales sous l'égide du CCT. Les mesures dans le domaine de 630 °C sont terminées. Le nombre total d'étalonnages réalisés au BIPM dans le domaine de la thermométrie (thermocouples, thermomètres à résistance de platine) est un des plus faibles. C'est dans le domaine de la radiométrie qu'il convient de placer l'effort du BIPM. Il faut choisir ce qui est le plus important. Il ajoute que ces changements n'impliquent aucune diminution de l'effort du BIPM dans le domaine de la coordination des activités internationales en thermométrie.

Mr Bray observe que dans la Convocation à la 18^e Conférence Générale, il est dit que l'activité en thermométrie au BIPM sera réduite. Pourquoi ce choix différent de celui qui est fait dans d'autres laboratoires nationaux ? L'Italie approuve l'activité de coordination du CCT dans le domaine des comparaisons internationales. C'est une activité importante qui doit être mentionnée.

Mr Ambler lui rappelle que les priorités ont déjà été discutées les années précédentes (*voir* les Procès-verbaux du CIPM de 1984 et 1985). Les comparaisons internationales et la coordination étaient comprises dans ces priorités.

Mr Kind rappelle que le BIPM continuera son activité de coordination des comparaisons internationales en thermométrie. Seul le travail d'étalonnage de routine sera supprimé.

5.2. Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants

Mr Kind cède maintenant la parole à Mr Siegbahn pour le rapport de la section II du CCEMRI.

Mr Siegbahn rappelle les priorités qui ont été établies par le CIPM ces dernières années. Le BIPM ayant à se consacrer à de nouvelles activités, il lui est difficile de maintenir ses activités antérieures tout en développant son effort dans d'autres domaines, comme ceux des lasers ou du temps atomique international. Les priorités ont été définies. Plusieurs stagiaires de longue durée ont pris ou vont prendre leur retraite dans la section des rayonnements ionisants et n'ont pas pu être remplacés, ce qui a pour conséquence une diminution de l'activité. A. V. Astin, lorsqu'il était membre du Comité, avait fortement soutenu le développement des activités dans le domaine des rayonnements ionisants; celles-ci se sont stabilisées, et maintenant elles sont réduites du fait de problèmes de personnel. Il a été décidé de rééquilibrer le travail dans la section des rayonnements ionisants, et de regrouper le travail sur les neutrons avec la dosimétrie. Il reste au CCEMRI trois sections qui pourraient être combinées en une. La section II (Mesure des radionucléides) a établi des étalons de référence auxquels le monde entier peut se référer. Les rapports des trois sections du CCEMRI ont été publiés conjointement au rapport du CCEMRI lui-même pour 1986. La section II s'est réunie du 23 au 25 juin 1987. On y a discuté de la comparaison à grande échelle de ^{109}Cd qui a eu lieu en mars 1986, comparaison très délicate, et de la comparaison restreinte de ^{125}I . Il est prévu d'organiser deux comparaisons de mesures neutroniques en avril 1988. La section I (Rayons X et γ) et la section III (Mesures neutroniques) se réuniront en 1988. Il faudra coordonner ces deux réunions.

Mr Kind rappelle que le CCEMRI doit avoir un nouveau président à l'issue de la 18^e Conférence Générale, ainsi qu'il en a été convenu en 1986. Mr Ambler a quitté la présidence du CCEMRI pour celle du CCE. Mr Siegbahn a accepté d'assurer provisoirement la présidence du CCEMRI et émis le souhait de quitter cette présidence après la 18^e Conférence Générale. Mr Dean accepte de prendre en charge la présidence du CCEMRI après la Conférence Générale. Mr Kind l'en remercie vivement.

5.3. Réunions futures des comités consultatifs

Mr Kind rappelle qu'il convient de fixer les dates des prochaines sessions des comités consultatifs. Les réunions sont prévues aux dates suivantes :

CCE : 27-29 septembre 1988.

Une réunion commune au Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences et au CCPR sur la question des fibres optiques aura lieu le 30 septembre 1988, et, si nécessaire, le 1^{er} octobre 1988, sous la présidence de Mr Blevin.

- CCPR : aucune réunion n'est prévue en 1988 : il n'y aura probablement pas de réunion avant 1989 ou 1990.
- CCT : septembre 1989.
- CCDM : 1989.
- CCDS : 19-20 avril 1989.
Cette session sera précédée d'une réunion des laboratoires qui participent à l'élaboration du TAI, les 17 et 18 avril, à Paris.
- CCEMRI : Section I : avril 1988 (*).
Section II : probablement en 1989.
Section III : 18-20 avril 1988.
- CCU : aucune décision n'est prise pour le moment.
- CCM : les 26, 27 et 28 mai 1988.
Le Groupe de travail « Forces » se réunira le 5 mai à Braunschweig. Le Groupe de travail « Hautes Pressions » tiendra une réunion-séminaire les 24 et 25 mai 1988 à Paris.

6. Travaux du BIPM : Rapport du directeur

Comme cela a déjà été dit, la séance habituellement consacrée à l'exposé des travaux du BIPM, en présence des adjoints, n'a pas lieu cette année en raison de la Conférence Générale. Mr Kind cède la parole à Mr Giacomo pour la présentation de son rapport.

Mr Giacomo souligne quelques faits marquants de l'année passée. En ce qui concerne l'informatisation du travail de laboratoire, les enregistreurs de données sur cassettes magnétiques qui fonctionnaient sur plusieurs installations depuis plus de dix ans ont été remplacés par des micro-ordinateurs, fournissant des enregistrements sur disquettes. La section d'électricité a poursuivi son travail sur l'effet Hall quantique. Pour ce qui concerne le Temps atomique international, la première comparaison internationale de récepteurs du GPS s'est révélée fructueuse. Dans le domaine des longueurs, une comparaison de lasers asservis sur le méthane organisée entre le VNIIFTRI, le LPTF et le BIPM a fourni une valeur décalée par rapport à la valeur recommandée par le CCDM en 1983. Le décalage n'excède pas deux fois l'écart-type estimé en 1983, mais il est de l'ordre de dix fois celui qu'on évalue actuellement ; il est possible que le prochain CCDM juge opportun de recommander de nouvelles valeurs. Dans le domaine des rayonnements ionisants, la comparaison de ^{109}Cd est très intéressante à deux égards : la cohérence des résultats est très bonne, et les deux valeurs obtenues par le BIPM

(*) ultérieurement fixée du 11 au 13 avril 1988.

à l'aide de deux méthodes différentes sont cohérentes entre elles et avec la moyenne de la comparaison.

Mr Kovalevsky commente la comparaison de récepteurs du GPS. Il subsiste des différences inexplicées entre certaines stations, et, si les résultats sont bien meilleurs que par le passé avec le LORAN-C, tous les problèmes ne sont pas résolus. Le système GPS en est encore au stade expérimental ; les premiers résultats sont très prometteurs.

Mr Giacomo ajoute qu'on a découvert, par exemple, des erreurs de logiciel, et des difficultés dues aux erreurs sur les coordonnées des récepteurs. Il convient aussi de vérifier l'adaptation des antennes. La cohérence des résultats est déjà meilleure que par le passé, mais on peut encore espérer des améliorations substantielles.

Mr Kind fait deux remarques. La première concerne le projet de rattacher les étalons représentatifs du farad à ceux qui conservent l'ohm : dans la section d'électricité de la PTB, le raccordement de l'ohm au farad a nécessité le travail de deux personnes pendant 10 ans et un matériel de très haute précision.

Mr Giacomo répond qu'en ce qui concerne le farad, le BIPM n'a aucune référence pour vérifier la stabilité de ses condensateurs. Pour s'assurer de la conservation des représentations du farad, il pourrait être intéressant de relier le farad à l'ohm, lui-même rattaché à l'effet Hall quantique.

Mr Blevin approuve la remarque de Mr Kind concernant l'importance du travail nécessaire pour relier le farad à l'ohm ou vice versa. Afin de déterminer la valeur de la constante de l'effet Hall quantique, le CSIRO continue de réaliser le farad à partir de son condensateur calculable, puis de dériver l'ohm à partir du farad. L'incertitude associée à chacune de ces deux étapes est comparable mais, lorsqu'on dispose d'un condensateur calculable, le travail nécessaire pour la première est nettement moindre que pour la seconde. En conséquence, le CSIRO a décidé de continuer à utiliser son condensateur calculable pour réaliser le farad, même lorsque la réalisation de l'ohm sera fondée sur une valeur convenue de la constante de l'effet Hall quantique. Il semble à Mr Blevin que le BIPM devrait considérer sérieusement la possibilité de construire un condensateur calculable comme une alternative à la mise en œuvre du passage de l'ohm au farad.

Le président remercie Mr Blevin de ses conseils.

La seconde remarque de Mr Kind concerne le nombre de laboratoires nationaux qui travaillent dans le domaine des fréquences optiques. Ce nombre est trop restreint, et il faudrait encourager les laboratoires à augmenter leurs efforts dans ce domaine.

Mr Giacomo constate que la comparaison de mesures de fréquence de lasers entre l'URSS et le LPTF a donné de très bons résultats, et qu'il faut effectivement encourager les laboratoires à faire d'autres mesures des fréquences optiques.

Mr Skákala demande où en sont les progrès du Groupe de travail de l'ISO sur les incertitudes. Mr Giacomo lui suggère de le demander directement à Mr Müller, qui participe à ce groupe de travail.

7. Questions administratives et financières

Le président présente le Rapport annuel aux Gouvernements des hautes parties contractantes sur la situation administrative et financière du Bureau International des Poids et Mesures en 1986, en présence de Mr Gaillard, administrateur du BIPM. Ce rapport n'appelle aucun commentaire et est approuvé.

Il présente ensuite le rapport de l'expert-comptable pour l'exercice 1986, et fait un bref commentaire sur les contributions ordinaires dues par les États. Ce rapport est approuvé et quitus est donné au directeur et à l'administrateur du BIPM pour l'année 1986.

Mr de Boer présente l'état d'avancement des recettes et dépenses budgétaires pour l'exercice 1987 en cours. Il fait remarquer que les recettes budgétaires sont inférieures aux prévisions, et qu'il a fallu faire des prélèvements sur les réserves en raison de paiements en retard ; l'achat d'un lingot de platine iridié, dont le montant a été séparé des autres dépenses d'investissement, ne correspond qu'au tiers de la somme qui a été prélevée sur les réserves.

Mr Giacomo précise que la France et les États-Unis d'Amérique sont en retard pour verser leurs contributions au titre de 1987, sans parler d'un certain nombre de petits pays. Le Cameroun a payé une partie de ses contributions en retard. La Roumanie et le Venezuela ont deux ans de retard. Il n'y a pas de nouveau cas de contribution à répartir. Les recettes prévues en 1987 ont été calculées en prenant pour acquis que la France et les États-Unis paieront sous peu, ainsi qu'ils l'ont annoncé.

Mr Bray demande pourquoi les dépenses de fonctionnement sont moins élevées que prévu. Mr Giacomo lui répond qu'en électricité le travail sur l'effet Hall quantique a entraîné surtout des dépenses d'investissement prélevées sur le Compte III et peu de dépenses de fonctionnement. Le TAI a essentiellement fait des dépenses de voyage, en raison de la comparaison de récepteurs de GPS. De plus, l'hiver a été doux, et les dépenses de chauffage ont été moins élevées que prévu.

Le projet de budget pour 1988 ne soulève pas de question particulière ; il est adopté.

Révision des allocations

Mr Kind cède la parole à Mr Quinn pour la présentation du document sur les allocations d'expatriation et de foyer, qui a donné lieu à des discussions longues et difficiles.

BUDGET POUR 1988

RECETTES

	francs-or
Recettes budgétaires :	
Contributions des États.....	17 041 000
Prélèvement sur le compte « Remboursement aux États ».....	64 400
Intérêts des fonds	1 074 000
Taxes de vérification.....	20 600
Total.....	<u>18 200 000</u>

DÉPENSES

A. Dépenses de personnel :	
1. Traitements	8 180 000
2. Allocations familiales.....	1 271 000
3. Sécurité sociale	1 002 000
4. Assurance-accidents.....	88 000
5. Caisse de retraites.....	1 636 000
	} 12 177 000
B. Dépenses de fonctionnement :	
1. Mobilier.....	100 000
2. Laboratoires et ateliers	972 000
3. Chauffage, eau, énergie électrique.....	450 000
4. Assurances	33 000
5. Impressions et publications.....	210 000
6. Frais de bureau	330 000
7. Voyages et transports d'appareils.....	300 000
8. Entretien courant.....	211 000
9. Bureau du Comité	57 000
	} 2 663 000
C. Dépenses d'investissement :	
1. Laboratoires	1 320 000
2. Atelier de mécanique.....	15 000
3. Atelier d'électronique.....	10 000
4. Bibliothèque.....	165 000
	} 1 510 000
D. Bâtiments (gros travaux d'entretien et de rénovation)	1 800 000
E. Frais divers et imprévus	50 000
	<u>18 200 000</u>

Mr Quinn rappelle qu'en 1983, après des discussions détaillées, le CIPM avait adopté une version révisée du Statut du personnel, applicable à compter du 1^{er} janvier 1984. Des allocations nouvelles, inspirées de celles en vigueur dans les Organisations coordonnées, étaient accordées en particulier aux jeunes physiciens non-résidents. Il avait alors été prévu que ces allocations seraient révisées après quelques années. Elles sont nettement inférieures à celles offertes par les Organisations coordonnées, en particulier l'allocation d'expatriation, aux grades les plus élevés. Un projet de relèvement de ces allocations a été longuement discuté avec les commissions élues par le personnel. Les non-résidents étaient favorables au changement, alors que les résidents y étaient opposés. Suivant le projet finalement retenu par le bureau du Comité, l'allocation de foyer et l'allocation d'expatriation seront relevées. Le directeur et le sous-directeur seront exclus du bénéfice de ces allocations. Pour éviter que l'allocation d'expatriation ne puisse représenter une fraction trop élevée du salaire, un maximum de 25 % ou 20 % du salaire a été prévu. D'autre part, une légère modification a été apportée à l'article IV du Règlement de la Caisse de retraites et de prévoyance.

Mr Preston-Thomas demande quelles sont les conditions d'attribution des allocations de foyer. Mr Quinn répond que ce sont les mêmes que dans les Organisations coordonnées.

Mr Dean comprend que l'on veuille mettre le BIPM au même niveau que les Organisations coordonnées, et que l'on tienne à engager et conserver un personnel hautement qualifié, mais il ne lui semble pas que l'absence de ces allocations ait jusqu'à présent empêché le BIPM de conserver son personnel.

Mr Quinn répond que, lors des nouveaux recrutements, le problème de salaire s'est posé de manière non négligeable.

Mr Dean admet qu'en cas de concurrence directe, le BIPM peut être désavantagé, mais constate toutefois qu'il offre des salaires supérieurs à ceux des laboratoires nationaux.

Mr Quinn ajoute que le candidat non-résident doit s'expatrier avec sa famille, et que son style de vie est modifié. Il faut rendre la vie au BIPM la plus attrayante possible. D'autre part, les possibilités de promotion sont plus restreintes que dans les autres laboratoires.

Mr Preston-Thomas précise que les non-résidents ont aussi des frais à couvrir dans leur pays d'origine. Le salaire offert joue un rôle important dans le recrutement.

Mr Blevin approuve la proposition, et se demande si la proportion de non-résidents n'aurait pas été plus importante si ces allocations avaient été appliquées plus tôt.

La proposition est approuvée.

8. Nouveau Pavillon : état d'avancement

Mr Quinn informe les membres du Comité que les travaux de construction du Nouveau Pavillon sont bien avancés. Le bâtiment devrait être terminé en juillet 1988. Le BIPM a déjà dépensé 40 % du budget total du bâtiment sans rencontrer de difficultés entraînant des dépenses supplémentaires. Lors de la prochaine session du CIPM, en 1988, les membres du Comité pourront voir ce bâtiment terminé.

9. Questions diverses

9.1. Départs à la retraite de MM. Giacomo et Hamon

Le vendredi 9 octobre à 15 h, à l'issue d'une courte séance de l'après-midi, en présence de tous les adjoints du BIPM, le Comité reçoit Mr Hamon, métrologue principal, qui prendra sa retraite en avril 1988, après 50 années de travail au BIPM. Le président retrace brièvement la carrière de Mr Hamon au BIPM et le félicite pour cette longue carrière de métrologue dans la section des longueurs.

Mr Giacomo tient aussi à remercier Mr Hamon pour son travail et son attitude à l'égard de ses collègues.

Très touché, Mr Hamon remercie les membres du Comité et le directeur du BIPM de leur attention.

Au cours de cette même séance, Mr Kind rappelle que Mr Giacomo doit quitter la direction du BIPM en juillet 1988. C'est la dernière session du CIPM à laquelle il assiste en qualité de directeur. Entré au BIPM en 1966, Mr Giacomo est le représentant caractéristique du physicien de talent, qui a commencé sa carrière d'encadrement scientifique au laboratoire Aimé Cotton du CNRS, puis comme professeur à l'université de Caen, et au BIPM, en qualité de sous-directeur puis de directeur. Tous ont apprécié la manière dont il a favorisé la coopération de la communauté métrologique internationale. Pendant dix ans, Mr Giacomo a été responsable de cette institution, qui est une des rares à avoir porté, à travers le temps, le flambeau de la métrologie au niveau international. Les membres du Comité ont tenu à lui faire part de leur estime et de leur gratitude, et lui ont offert un cadeau symbolique ; il s'agit d'un vase de la Manufacture de Sèvres.

Mr Giacomo remercie chaleureusement les membres du Comité, et tous ses collègues pour leur bienveillance.

Cette séance est suivie dans la soirée par un dîner au Pavillon de Breteuil en l'honneur de Mr et Mme Giacomo.

9.2. Nomination de deux nouveaux adjoints

Mr Giacomo propose au Comité de nommer deux membres du personnel au BIPM au grade d'adjoint. Il s'agit de Mr Delahaye, qui est responsable du travail sur l'effet Hall quantique, et de Mr Bréonce, qui a conçu l'électronique du système d'échantillonnage sélectif.

Mr Kind suggère de procéder au vote à bulletin secret. À l'unanimité le CIPM décide que les deux membres proposés seront promus au grade d'adjoint au 1^{er} janvier 1988.

9.3. Temps atomique international

Mr Giacomo fait savoir que l'Union géodésique et géophysique internationale (UGGI) a approuvé le transfert du TAI au BIPM dans sa Résolution 2, votée lors de sa XIX^e Assemblée générale à Vancouver le 21 août 1987. Les trois unions parentes du BIH ont maintenant donné leur accord formel à ce transfert.

9.4. Gravimétrie

Mr Giacomo signale que l'International Association of Geodesy, association membre de l'UGGI, a demandé au BIPM de continuer les comparaisons de gravimètres absolus. Ces comparaisons internationales, qui regroupent jusqu'à 40 personnes, posent des problèmes d'intendance au BIPM.

Mr Kind souligne que la présence d'un aussi grand nombre de personnes peut être nuisible à la qualité des mesures.

Mr Ambler demande si les résultats des comparaisons de gravimètres ont été publiés.

Mr Giacomo répond que les principaux résultats sont donnés dans le Rapport du Directeur du Bureau International des Poids et Mesures pour la période d'octobre 1985 à octobre 1986, et avec plus de détails dans une publication du Bureau gravimétrique international (*Bulletin d'information* n° 59, déc. 1986, pp. 89-103).

Mr Ambler regrette que cette publication ne soit pas très lue.

Mr Kovalevsky suggère de publier un rapport en anglais dans *Metrologia*.

Mr Quinn rappelle que les résultats n'étaient guère satisfaisants. Le responsable de la comparaison, Mr Boulanger, considère qu'elle n'est pas terminée.

Mr Ambler approuve, mais pense que l'intérêt de telles comparaisons est justement de mieux connaître les possibilités expérimentales réelles.

Mr Kind suggère que Mr Boulanger publie les résultats de la comparaison dans un journal scientifique facilement accessible.

9.5. Symposium sur le système Giorgi

Mr Bray informe les membres du Comité que se tiendra en 1988 en Italie un symposium en l'honneur des 50 ans de l'adoption du système Giorgi par la Commission électrotechnique internationale. Il invite Mr de Boer, président du Comité Consultatif des Unités, à participer à cette célébration, et demande si le CIPM pourrait accepter de parrainer cette conférence. Le Comité et Mr de Boer donnent leur accord de principe.

9.6. Préfixe pour dix à la puissance moins vingt-et-un

Mr Blevin rappelle qu'il a eu à Braunschweig une conversation avec un professeur de physique d'Heidelberg sur la nécessité de trouver un préfixe pour 10^{-21} pour exprimer les courants électriques très faibles que l'on rencontre parfois en physique nucléaire. Il faudrait que le CCU décide d'un préfixe avant qu'il ne soit trop tard.

Mr Preston-Thomas ajoute qu'il y a eu au Canada un échange de correspondance à ce sujet.

Mr de Boer suggère de régler ce problème par correspondance. Il n'est pas vraiment nécessaire de réunir le CCU pour lui poser cette question.

9.7. Autorisation de sortie des prototypes du kilogramme

Mr de Boer rappelle que le CIPM doit autoriser le directeur du BIPM à accéder au dépôt des prototypes métriques, en présence de l'un des membres du Comité International, pour en extraire les prototypes en vue de la troisième comparaison internationale des prototypes du kilogramme.

Le CIPM approuve cette demande et, dans un document qui sera communiqué en temps utile aux autorités concernées, autorise le directeur du BIPM à effectuer toute démarche nécessaire.

9.8. Prochaine session du CIPM

Le CIPM convient des dates du 4 au 7 octobre 1988 pour la prochaine session du CIPM.

10. Conséquences de la CGPM

Élection du bureau du CIPM

La dernière séance du Comité International, après clôture de la Conférence Générale, débute sous la présidence de Mr de Boer, doyen

des membres du nouveau Comité élu par la 18^e CGPM. Mr de Boer propose de procéder à l'élection du bureau du Comité.

Après dépouillement des votes à bulletin secret, le bureau du Comité est ainsi constitué :

Président : D. Kind

Vice-présidents : H. Preston-Thomas
J. Skákala

Secrétaire : J. de Boer

Secrétaire adjoint : H. H. Jensen

L'ordre du jour étant épuisé, le président clôt la 76^e session du CIPM.

RAPPORT DU DIRECTEUR
SUR L'ACTIVITÉ ET LA GESTION
DU BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
(octobre 1986 — septembre 1987)

I. — PERSONNEL

Nominations

A. CHARTIER, technicienne, a été nommée technicienne principale.
F. PEREZ, mécanicien, a été nommé technicien principal.
Ces nominations ont pris effet le 1^{er} janvier 1987.

Engagements

Christophe ANGOT, né le 10 décembre 1954 à Malo-les-Bains (Nord), a été engagé comme jardinier, contractuel, à compter du 1^{er} novembre 1986.

Marie-Mathilde MONTBRUN, née le 1^{er} mai 1936 à Belloy-en-France (Yvelines), a été engagée comme gardienne à mi-temps à compter du 1^{er} janvier 1987.

Maria do Rosario DE CARVALHO, née le 25 mai 1957 au Portugal, a été engagée comme gardienne à mi-temps à compter du 1^{er} janvier 1987.

Claudine THOMAS, née le 18 novembre 1955 à Lugny-Champagne (Cher), précédemment agrégée-préparatrice à l'École normale supérieure (Paris), a été engagée comme physicienne dans la section des échelles de temps, à compter du 1^{er} mars 1987.

Bruno PICAUD, né le 5 février 1960 à Paris, a été engagé comme second jardinier, contractuel, à compter du 1^{er} juillet 1987.

Alain ZARKA, né le 28 juin 1965 à Paris, titulaire d'un brevet de technicien supérieur en électronique, a été engagé comme technicien dans la section des lasers, à compter du 1^{er} septembre 1987.

Départs

P. CARRÉ, adjoint, a pris sa retraite le 31 décembre 1986 après plus de 26 ans de services éminents, principalement consacrés à la section des longueurs, mais aussi à l'informatique à laquelle il a initié de nombreux membres du personnel.

L. LECOUFFLARD, gardien, a pris sa retraite le 31 décembre 1986 après 26 ans de services dévoués.

M. GLÄSER, physicien à la section des lasers, a quitté le Bureau International le 31 janvier 1987 après 6 ans de service.

Th. RIOTTE, jardinier contractuel, a quitté le Bureau International le 31 mai 1987 après 9 ans de service.

Chercheur associé

T. ENDO, chercheur associé à la section d'électricité depuis le 1^{er} août 1984, a quitté le Bureau International le 31 décembre 1986.

II. — BÂTIMENTS

Petit Pavillon

Consolidation de la voûte de la cave sous la cour, amélioration de son isolement thermique et approfondissement de la cave.

Observatoire

Réfection d'un bureau du 1^{er} étage (section d'électricité).
Mise en conformité du monte-charge (doubles portes).

Bâtiment des lasers

Mise en conformité du monte-charge (doubles portes).

Laboratoires des rayonnements ionisants

Réfection de l'installation électrique pour mise en conformité.
Réfection des peintures intérieures du hall des neutrons.

Nouveau Pavillon

Début des travaux : terrassement et gros œuvre.

Dépendances

Consolidation de la colline (partie nord) derrière l'Observatoire.
Plantation de troènes le long de la clôture ouest en plaques de ciment.

Début du remplacement des marronniers de l'Allée du Mail par des tilleuls argentés (24) en partant du portail nord.

III. — INSTRUMENTS ET TRAVAUX

Remarques générales

Les décisions prises par le CIPM au sujet de l'orientation des travaux du BIPM entrent progressivement en vigueur. Les travaux concernant la base géodésique, les calibres à bouts plans de faible longueur, la thermométrie et les mesures neutroniques (à l'exception de la dosimétrie) arrivent à leur terme. Les laboratoires qui nous ont demandé récemment des vérifications d'étalons dans ces domaines ont été avertis de ces changements d'orientation.

L'une des évolutions notables du travail des laboratoires du BIPM résulte du remplacement des enregistrements de données sur cassettes magnétiques par des enregistrements sur disquettes. En effet, la gestion de l'enregistrement est confiée à un micro-ordinateur qui est aussi capable, dans la plupart des cas, de réduire les mesures. On peut donc disposer immédiatement des résultats qui permettent d'intervenir si nécessaire. Les adaptations nécessaires ont été, pour une grande part, faites par P. Carré et F. Lesueur, à la satisfaction de tous les utilisateurs concernés.

À la section d'électricité, diverses mesures de contrôle ont été effectuées sur l'installation d'effet Hall quantique. Qu'il s'agisse des mesures avec divers échantillons, avec diverses valeurs du courant électrique ou du champ magnétique, ou des mesures faites soit avec l'ancien potentiomètre soit avec le comparateur cryogénique de courants, tout indique que la reproductibilité est de l'ordre de 10^{-8} . De même, pour le volt, les comparaisons de piles faites avec l'ancien comparateur manuel ou avec le nouveau comparateur automatique ne s'écartent pas entre elles de plus de 10^{-8} en valeur relative. On peut donc estimer que le BIPM est dans une bonne position pour assurer les prochaines comparaisons, en espérant que les étalons de transfert seront à la hauteur de ces performances.

La première comparaison de récepteurs du « Global Positioning System » (GPS), faite par transport d'un récepteur « étalon de transfert » accompagné par deux physiciens, l'un du NBS, l'autre du BIPM, s'est révélée fructueuse : des écarts de retards atteignant souvent ± 20 ns (une fois 85 ns) ont été mesurés. Dès à présent le remplacement du LORAN-C par le GPS pour les liaisons horaires se traduit par une diminution d'un facteur quatre de l'écart-type mesuré entre le TAI et les échelles de temps atomique nationales existantes.

La section des lasers a enregistré deux résultats importants. D'une part, pour certains types de lasers asservis, les variations de la pression atmosphérique peuvent entraîner des changements significatifs de fréquence, donc de longueur d'onde dans le vide. On soupçonne que

cet effet inexpliqué pourrait être responsable de certains écarts observés entre gravimètres absolus transportables. D'autre part, au cours d'une mesure comparative de fréquence de lasers à He-Ne asservis sur le méthane, à $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$, mettant en jeu le VNIIFTRI (Moscou), le BIPM et le LPTF (Paris), ce dernier accueillant les lasers des deux autres laboratoires, on a confirmé une valeur de la fréquence inférieure de 7 kHz (soit 8×10^{-11} en valeur relative) à la valeur recommandée en 1983. Cet écart est compatible avec l'incertitude estimée en 1983, mais il est près de neuf fois plus grand que l'écart-type des mesures postérieures à 1983.

De nombreuses comparaisons ou vérifications d'étalons dans les domaines de l'exposition, de la dose absorbée, du débit de fluence ou du kerma sont toujours demandées. Une comparaison étendue de mesures d'activité de ^{109}Cd , à laquelle ont participé 18 laboratoires, a donné une dispersion des résultats de 2,6 %, ce qui peut sembler élevé mais constitue cependant un bon résultat étant donné la difficulté des mesures sur ce nucléide et la variété des méthodes utilisées par les différents laboratoires. Une comparaison préliminaire restreinte de mesures d'activité de ^{125}I a donné une dispersion plus faible (1,7 %) qui justifiera probablement la mise en route d'une comparaison étendue.

Les travaux théoriques et expérimentaux sur la méthode d'échantillonnage sélectif et sur les temps morts dans les méthodes de comptage se poursuivent. La confiance que l'on peut avoir dans la méthode d'échantillonnage sélectif se confirme régulièrement.

Dans l'exposé qui suit, les noms des responsables des travaux décrits sont cités entre parenthèses. L'astérisque (*) placé après un nom signale une personne qui ne fait pas partie du personnel permanent du BIPM.

1. Longueurs, lasers

1.1. — Longueurs (P. Carré, J. Hamon)

1.1.1. — Installation d'un nouveau système d'enregistrement des données

À la salle 2, installation d'un nouveau système d'enregistrement des données relatives aux mesures d'excédents fractionnaires, destiné à pallier une éventuelle défaillance du dispositif d'enregistrement sur ruban magnétique en cassettes. Ce nouveau système a été adopté en raison d'une meilleure fiabilité et d'une plus grande commodité d'emploi reconnues dès les premiers essais. Il utilise un micro-ordinateur qui peut, naturellement, servir à d'autres usages.

1.1.2. — Règles divisées

Règle N° 0112.77 de 1 m en invar (Tchécoslovaquie) : longueur de l'intervalle principal : étalonnage des traits décimétriques, des traits centimétriques du premier et du dernier décimètre.

Règle N° 12 924 de 1 m en acier nickelé, appartenant au BIPM. Le NBS ayant demandé d'emprunter cette règle qui avait fait l'objet d'une comparaison internationale de 1976 à 1984, nous en avons refait une mesure complète.

1.1.3. — Étalons à bouts plans (J. Hamon)

Dans le comparateur photoélectrique, mesure de quatre calibres de 300, 400, 500 et 600 mm (Rép. Pop. Dém. de Corée) et de quatre calibres de 600, 700, 800 et 900 mm (Tchécoslovaquie).

Dans l'interféromètre Tsugami, mesure d'un calibre de 200 mm pour la Rép. Pop. Dém. de Corée, de sept calibres de 2 à 100 mm pour la Yougoslavie et de six calibres de 100 à 250 mm pour la Roumanie. Les demandes d'étude de calibres de longueur inférieure à 300 mm ne sont plus acceptées depuis le 1^{er} janvier 1987.

1.1.4. — Base géodésique (G. Girard)

Conformément à la décision du CIPM cette activité est abandonnée depuis le 1^{er} janvier 1987, au bénéfice d'autres plus urgentes. Les travaux ci-dessous correspondent à des demandes antérieures à la fin de 1986.

Trois fils de 8, 20 et 24 m ainsi qu'un ruban de 20 m ont été étudiés pour la France.

Nous avons déterminé le coefficient de dilatation de deux échantillons de fil de 24 m de longueur après le traitement thermique de la livraison 32 R de la coulée FP 950 d'invar géodésique. Cette livraison était la dernière de la coulée en question et a marqué la fin de cette activité, en février 1987.

Nous avons fait subir un traitement mécanique (battage) à soixante-dix fils d'invar géodésique de 24 m de longueur destinés à trois entreprises françaises.

1.2. — Lasers (J.-M. Chartier)

1.2.1. — Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée de l'iode en cuve interne à $\lambda = 633$ nm

i) *Stabilité de fréquence à moyen terme et à long terme*

L'acquisition d'un ordinateur, en remplacement de notre compteur calculateur, nous a permis de réaliser l'automatisation de l'acquisition et du traitement de nos mesures de fréquence de battement. Grâce à la rapidité de cet équipement, nous avons pu optimiser tous les réglages sur les asservissements des lasers dans un temps très court. Cela nous a permis d'enregistrer un résultat assez spectaculaire en comparant deux de nos lasers de référence : pour la première fois, la stabilité de fréquence

à moyen terme, que l'on caractérise par l'écart-type d'Allan relatif $[\sigma(2, \tau)/f]$ en fonction de la durée d'échantillonnage (τ), a été de $9,2 \times 10^{-14}$ pour $\tau = 5\,000$ s (fig. 1).

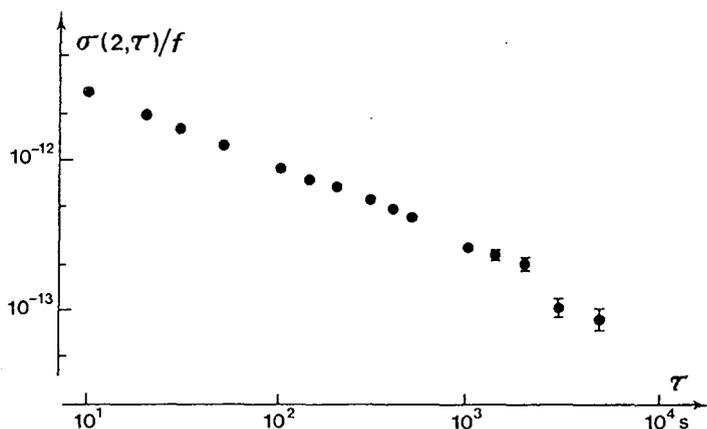


Fig. 1. — Écart-type d'Allan relatif, $\sigma(2, \tau)/f$, en fonction de la durée τ d'échantillonnage, pour la différence de fréquence des deux lasers BIPM2 et BIPM3 asservis sur l'iode à $\lambda = 633$ nm.

Périodiquement, nous comparons entre eux les lasers BIPM2 et BIPM3; les écarts de fréquence relatifs n'excèdent pas $\pm 3 \times 10^{-11}$ depuis plus de onze ans (fig. 2).

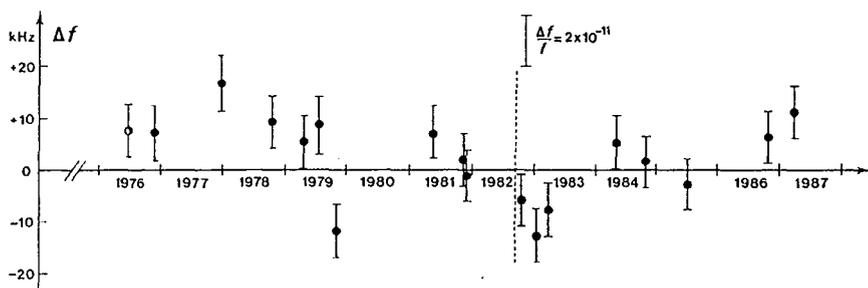


Fig. 2. — Stabilité à long terme de la différence de fréquence des lasers BIPM2 et BIPM3 asservis sur l'iode à $\lambda = 633$ nm.

Le trait vertical en tireté indique la date de la modification complète de la monture du laser BIPM3.

Il est à noter que, depuis 1974, ces deux lasers sont toujours équipés des mêmes tubes à décharge et des mêmes cuves à iode; aucun signe de vieillissement n'a été mis en évidence sur ces dernières.

ii) Comparaisons de lasers

a) Entre lasers du BIPM

Le laser BIPM6 a été démonté, nettoyé et remonté ; il a ensuite été comparé au laser BIPM2 ; on a obtenu :

$$f(\text{BIPM6}) - f(\text{BIPM2}) = + 8,9 \text{ kHz}, s = 5 \text{ kHz}, n = 6$$

où s est l'écart-type statistique sur une mesure et n le nombre de mesures.

Nous avons aussi procédé au nettoyage du laser BIPM2. Bien que cette opération ait permis de doubler la puissance de sortie utilisée pour les battements, aucune différence significative de fréquence n'a été mesurée.

On a obtenu :

$$\text{avant nettoyage : } f(\text{BIPM3}) - f(\text{BIPM2}) = 7,9 \text{ kHz}, s = 0,6 \text{ kHz}, n = 6$$

$$\text{après nettoyage : } f(\text{BIPM3}) - f(\text{BIPM2}) = 9,2 \text{ kHz}, s = 0,6 \text{ kHz}, n = 6.$$

b) Entre un laser du BIPM et un laser extérieur

Le laser (ETCA-R1-84-02), construit par l'Établissement technique central de l'armement (France) d'après les conseils du BIPM, a été de nouveau contrôlé par rapport au laser BIPM2. Nous avons obtenu :

$$f(\text{ETCA-R1-84-02}) - f(\text{BIPM2}) = + 28,5 \text{ kHz}, s = 0,9 \text{ kHz}, n = 6;$$

nous avons obtenu en 1984 :

$$f(\text{ETCA-R1-84-02}) - f(\text{BIPM2}) = + 5,5 \text{ kHz}, s = 1 \text{ kHz};$$

nous n'avons pas trouvé la raison de ce décalage significatif. L'une des causes vraisemblables pourrait être la pression d'iode, car nous n'avons pas pu contrôler la température du point froid sur le laser de l'ETCA.

1.2.2. — Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée de l'iode à $\lambda = 612 \text{ nm}$.

Un effort particulier a été fait depuis quelques années pour connaître les performances possibles des lasers à He-Ne utilisant une cuve d'absorption extérieure à la cavité.

Il nous semble maintenant judicieux de tenter d'améliorer la qualité de nos deux lasers à cuve intérieure BIOR1 et BIOR2 afin d'effectuer une étude comparative de la reproductibilité de fréquence de ces deux types de laser.

Dans un premier temps, nous avons contrôlé les cuves à iode N^{os} 24 et 32 des lasers BIOR1 et BIOR2 à $\lambda = 633 \text{ nm}$. Ce contrôle a consisté à mesurer le battement entre un laser (BIPM4') muni d'une des cuves à vérifier et un laser de référence. On a obtenu :

$$f(\text{BIPM4}', \text{cuve N}^\circ 24) - f(\text{BIPM2}) = -201,8 \text{ kHz}, s = 1,8 \text{ kHz}, n = 6$$

$$f(\text{BIPM4}', \text{cuve N}^\circ 32) - f(\text{BIPM2}) = + 2,1 \text{ kHz}, s = 1,5 \text{ kHz}, n = 6.$$

En conséquence, il nous semble nécessaire de remplacer la cuve N^o 24.

1.2.3. — Autres lasers à He-Ne asservis à $\lambda = 633 \text{ nm}$

i) Lasers asservis sur le « Lamb dip »

Depuis plusieurs années, nous avons réussi à prolonger la vie des trois lasers Spectra-Physics, type 119, utilisés à la section des longueurs. Actuellement, deux sont hors service, l'élément défaillant étant comme à l'accoutumée le tube à décharge, dont le remplacement est de plus en plus problématique. Pour remplacer ces lasers, nous avons acheté deux lasers asservis sur deux modes dont nous commençons à suivre la stabilité de fréquence.

ii) Laser asservi par effet Zeeman

Nous avons étudié un laser asservi par effet Zeeman appartenant au Bureau fédéral des mesures et métaux précieux de Yougoslavie. La fréquence moyenne de ce laser a été déterminée par battement en utilisant comme fréquence de référence celle d'un laser du BIPM asservi sur l'absorption saturée de l'iode. On a obtenu :

$$f = 473\,612\,221,4 \text{ MHz}, s = 0,29 \text{ MHz}, n = 8.$$

On en déduit la longueur d'onde moyenne :

$$\lambda = 632\,991\,389,4 \text{ fm}, s = 0,39 \text{ fm}.$$

En juin 1984, nous avons obtenu :

$$f = 473\,612\,221,3 \text{ MHz}.$$

iii) Lasers asservis sur le maximum du profil d'intensité

Dans le cadre de notre collaboration avec la Société Quantel (Orsay, France), nous avons contrôlé, à deux reprises, la stabilité de fréquence de deux lasers asservis. Ces lasers ont la particularité d'être taillés dans des blocs de « zérodur ».

L'écart-type d'Allan relatif est de 2×10^{-10} pour une durée d'échantillonnage de 10 s. En six mois, la fréquence de l'un d'eux n'a varié que de 2 MHz, soit une différence relative de fréquence de $4,2 \times 10^{-9}$. Le BIPM est très intéressé par les techniques de pointe utilisées pour la fabrication de ces lasers, techniques qui pourraient être envisagées pour la construction de nos lasers.

1.2.4. — Étude de l'influence de la pression atmosphérique sur la fréquence de lasers asservis

Dans la recherche des causes pouvant produire des erreurs systématiques sur la mesure absolue de g , on s'est aperçu que la fréquence des lasers asservis, utilisés comme étalons de longueur d'onde sur les gravimètres, pouvait dépendre de la pression atmosphérique.

Nous avons pu réaliser des expériences sur deux lasers à He-Ne (modèle SP117 et SP117A), à $\lambda = 633$ nm, asservis sur deux modes et sur l'un de nos lasers (BIPM6) de même longueur d'onde, asservi sur l'iode. Ces lasers ont été enfermés dans un caisson étanche dans lequel on pouvait faire varier la pression de 0,5 à 1,5 fois la pression atmosphérique. C'est le laser BIPM2 asservi sur l'iode qui a servi de référence de fréquence. On a obtenu une variation de fréquence de :

(750 \pm 70) Hz/Pa pour le laser SP117,
(47 \pm 7) Hz/Pa pour le laser SP117A,
(0,52 \pm 0,15) Hz/Pa pour le laser BIPM6, en surpression mais
aucun effet significatif en dépression.

Ces résultats indiquent que l'importance de l'effet observé dépend du type d'asservissement utilisé pour les lasers, mais aussi qu'il peut varier d'un laser à un autre pour un même type d'asservissement.

On peut donc commettre une erreur systématique relative de l'ordre de 3×10^{-8} sur la fréquence de certains lasers, lorsqu'on utilise un laser, étalonné par un premier laboratoire, dans un second laboratoire dont l'altitude diffère de 1 500 mètres de celle du premier. Dans les mêmes conditions, cette erreur reste inférieure à 3×10^{-11} dans le cas du laser asservi sur l'iode. Les coefficients de variation donnés ci-dessus semblent indépendants de la température des lasers et du fait que l'électronique d'asservissement soit ou non soumise aux mêmes variations de pression que le laser lui-même.

Nous avons aussi vérifié, sur une durée de deux semaines, que cet effet était permanent, mais la valeur du coefficient de variation semblait diminuer avec le nombre d'épreuves (surpressions, dépressions) que subissait le laser. L'ensemble de ces résultats est présenté dans le Rapport BIPM-87/2.

1.2.5. — Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée du méthane à $\lambda = 3,39$ μm (R. Felder)

i) Lasers asservis en cuve interne

a) Généralités

L'installation décrite précédemment (Rapport 1985, pp. 56-61) a été remontée sur la table à structure en nid d'abeille qui a été équipée récemment de sa suspension pneumatique. À cette occasion, tous les lasers (BICH4.3, BICH4.4, BICH4.6 et OPTIMAL) ont été démontés, nettoyés et réalignés. On en a profité pour leur apporter quelques modifications mécaniques. Rappelons que cette installation permet de comparer, par battement, d'une part nos lasers de référence entre eux (BICH4.3, BICH4.6 et OPTIMAL) et d'autre part BICH4.3 à tout laser venant d'un laboratoire extérieur.

b) *Collaboration avec les laboratoires nationaux*

Les résultats de la comparaison entre les lasers du BIPM et celui de l'Institut des mesures physico-techniques et radiotechniques (VNIIFTRI), Moscou, qui avait eu lieu au BIPM en 1985 (Rapport 1985, p. 63 et Rapport 1986, pp. 50-51), ainsi que les résultats des déterminations absolues de fréquence faites, sur ces mêmes lasers, au Laboratoire primaire du temps et des fréquences (LPTF), Paris, en septembre 1986 (Rapport 1986, pp. 52-54), ont fait l'objet de deux articles soumis pour publication simultanée dans *Metrologia* ^(1, 2).

Les résultats définitifs de ces déterminations absolues de fréquence sont les suivants :

$$f_t(\text{VNIIFTRI}) = (88\,376\,181\,602,04 \pm 0,22) \text{ kHz}, s = 50 \text{ Hz}, n = 165$$

$$f_c(\text{BICH4.3}) = (88\,376\,181\,597,52 \pm 0,64) \text{ kHz}, s = 570 \text{ Hz}, n = 72$$

$$f_t(\text{BICH4.3}) = (88\,376\,181\,600,75 \pm 0,24) \text{ kHz}, s = 110 \text{ Hz}, n = 14$$

Les incertitudes composées (écart-type d'une mesure) données avec la valeur de la fréquence résultent des composantes de type B, qui proviennent de la détermination de la fréquence des raies du CO₂ ($u = 210$ Hz, selon A. Clairon, du LPTF), et de la composante statistique s , écart-type d'une mesure déduit de l'ensemble des n mesures effectuées.

Les indices c et t signifient que le photodétecteur d'asservissement est placé devant les sorties du résonateur côté cuve (f_c) ou côté tube (f_t).

Ces résultats sont reportés sur la figure 3 où l'on a aussi indiqué :

1) les résultats des déterminations antérieures à 1982 qui ont servi à calculer la fréquence de la molécule absorbante CH₄, transition ν_3 , P(7), composante F₂ ⁽²⁾, dont la valeur a été publiée dans la liste des radiations recommandées par le Comité International des Poids et Mesures en 1983 ⁽³⁾.

2) les résultats des déterminations postérieures à 1983 dont nous avons connaissance ^(2, 4, 5).

⁽¹⁾ FELDER, R., CHARTIER, J.-M., DOMNIN, Yu. S., OBOUKHOV, A. S. and TATARENKOV, V. M. Recent experiments leading to the characterization of the performances of portable He-Ne/CH₄ lasers. Part I: Results of the 1985 international comparison BIPM-VNIIFTRI. A paraître dans *Metrologia*.

⁽²⁾ CLAIRON, A., DAHMANI, B., ACEF, O., GRANVEAUD, M., DOMNIN, Yu. S., POUCHKINE, S. B., TATARENKOV, V. M. and FELDER, R. Recent experiments leading to the characterization of the performances of portable He-Ne/CH₄ lasers. Part II: Results of the 1986 LPTF absolute frequency measurements. A paraître dans *Metrologia*.

⁽³⁾ BIPM Proc.-Verb. Com. Int. Poids et Mesures, 51, 1983, pp. 25-28 et Documents concerning the new definition of the metre. *Metrologia*, 19, 1984, pp. 163-178.

⁽⁴⁾ Référence ZA 83 citée par KNIGHT, D.J.E. A tabulation of absolute laser-frequency measurements, *Metrologia*, 22, 1986, pp. 251-257.

⁽⁵⁾ WHITFORD, B. G. and HANES, G. R. Absolute frequency of the He-Ne/CH₄ laser at 88 THz measured with 10⁻¹² accuracy: dependence of frequency on laser parameter. CPEM 86 Digest, pp. 277-278, et références 6 à 8 données dans cet article.

Il est important de noter que les moyennes, non pondérées, de chaque groupe de résultats, bien que statistiquement compatibles, conduisent à deux valeurs notablement distinctes. En effet on obtient :

Valeur recommandée par le CIPM en 1983 : $f = 88\,376\,181\,608$ kHz
 écart-type de la moyenne : 3,5 kHz
 Moyenne des résultats postérieurs à 1983 : $f = 88\,376\,181\,601$ kHz
 écart-type de la moyenne : 0,8 kHz.

ii) Lasers asservis en cuve externe

Les résultats obtenus par A. Clairon et son équipe (LPTF, Paris), sur les lasers à dioxyde de carbone asservis sur l'absorption saturée du tétr oxyde d'osmium (CO_2/OsO_4) à $\lambda = 10,6 \mu\text{m}$ ⁽⁶⁾, permettent d'envisager la construction de lasers He-Nc/ CH_4 conçus selon le même principe.

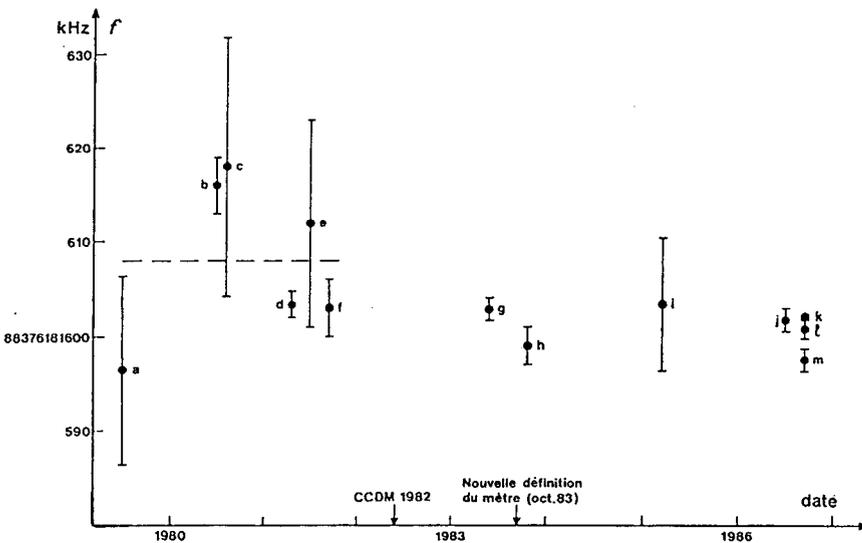


Fig 3. — Déterminations absolues de la fréquence des lasers à He-Nc/ CH_4 .
 En abscisses, date des mesures ; en ordonnées, fréquences mesurées.

Ces déterminations ont été faites au VNIIFTRI (Moscou), a,d ; au NPL (Teddington), b ; au LPTF (Paris), c,e ; au LPTF (Paris), à l'aide du laser BICH4.3 du BIPM, h, I, m et du laser M101 du VNIIFTRI, k ; à l'Institut de Thermophysique (Novosibirsk), f,g ; à la PTB (Braunschweig), i ; au NRC (Canada), j.

Les déterminations antérieures à 1982 (a à f), reportées ici, sont celles qui ont servi à déterminer la fréquence du méthane dont la valeur a été recommandée par le CIPM en 1983. Cette valeur ($f = 88\,376\,181\,608$ kHz) est indiquée sur la figure par la droite en tireté.

Les barres verticales représentent l'incertitude composée (écart-type).

⁽⁶⁾ CLAIRON, A., DAHMANI, B., FILIMON, A. and RUTMAN, J. Precise frequency measurements of CO_2/OsO_4 and He-Nc/ CH_4 -stabilized lasers. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, IM-34, 1985, pp. 265-268.

Dans ce type de laser, le milieu absorbant est placé dans un résonateur extérieur à la cavité laser. Cela permet, d'une part, de séparer les problèmes de source et les problèmes d'absorbant et, d'autre part, d'obtenir des raies plus fines et mieux contrastées.

Les lasers CO_2/OsO_4 présentent des qualités remarquables : la stabilité à court terme est caractérisée par un écart-type d'Allan relatif de 1×10^{-14} pour une durée d'échantillonnage de 1 s ; la reproductibilité de fréquence est de l'ordre de 10^{-12} en valeur relative. Les calculs préliminaires montrent que l'on peut s'attendre à des performances comparables dans le cas des lasers He-Ne/ CH_4 .

L'optimisation du fonctionnement d'un étalon de ce type nécessite cependant une meilleure compréhension des limitations intrinsèques telles que celles que l'on a rencontrées sur les lasers asservis en cuve interne (effet de lentille, courbure des fronts d'onde notamment). Pour mener à bien ce travail nous pourrions bénéficier de la collaboration efficace de A. Clairon (LPTF) et de C. J. Bordé (Laboratoire de physique des lasers, Villetaneuse, France).

iii) *Étude des tubes à décharge et des cuves à méthane*

En collaboration avec la Société Quantel (Orsay, France), nous continuons l'étude des différentes techniques qui devraient conduire à l'obtention de tubes à décharge et de cuves à méthane parfaitement étanches, étuvables à des températures voisines de 350°C et dont les fenêtres soient totalement transparentes à la longueur d'onde $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$.

L'aboutissement de ces travaux est d'un grand intérêt pour le BIPM. En effet, cela devrait nous permettre de disposer dans un avenir proche d'étalons dont la fréquence soit stable et reproductible à long terme, ce qui est indispensable à l'efficacité des comparaisons internationales.

1.2.6. — Projets à court terme

Nous envisageons pour 1988 des comparaisons internationales de lasers entre le BIPM et le NRLM (Japon), le CSMU (Tchécoslovaquie), le Bureau fédéral des mesures et métaux précieux (Yougoslavie) et l'Office national des mesures (Hongrie).

Nous pensons organiser au BIPM une comparaison internationale de cuves à iode qui pourrait regrouper une vingtaine de laboratoires.

De nouvelles études concernant des lasers asservis à cuve d'absorption extérieure à la cavité à $\lambda = 543 \text{ nm}$ et à $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$ seront aussi entreprises.

2. Masse et grandeurs apparentées

2.1. — Masses (G. Girard, T. J. Quinn)

2.1.1. — Étalons prototypes en platine iridié

La masse du prototype N° 26 appartenant à l'URSS a été déterminée avant nettoyage (au benzène et à l'alcool) puis lavage (à la vapeur d'eau) et après chacun des deux nettoyages qu'il a subis. La diminution totale apparente de masse observée après ces traitements a été de 33 µg.

Sa masse, en mai 1987, est :

$$\text{N}^{\circ} 26 : 1 \text{ kg} + 0,008 \text{ mg.}$$

Les valeurs précédentes étaient :

$$\begin{aligned} \text{N}^{\circ} 26 : 1 \text{ kg} - 0,032 \text{ mg en 1889} \\ 1 \text{ kg} - 0,016 \text{ mg en 1957.} \end{aligned}$$

L'étalon prototype N° 68 a été fabriqué, poli et ajusté (à l'outil à pointe de diamant) et attribué à la République Populaire Démocratique de Corée.

Sa masse, en mai 1987, est :

$$\text{N}^{\circ} 68 : 1 \text{ kg} + 0,354 \text{ mg.}$$

Le polissage et l'ajustage des prototypes N° 69 (Portugal) et N° 70 (République Fédérale d'Allemagne) sont terminés. L'étude de leur masse est en cours.

Pour deux autres étalons la masse est descendue au-dessous de 1 kg — 1 mg au cours de leur ajustage. Il leur a été associé une petite surcharge telle que la masse de l'ensemble soit dans les limites admises afin qu'ils puissent être utilisés pour des travaux annexes. Les numéros 690 et 691 leur ont été attribués.

Le prototype N° 67 dont l'ajustage a été terminé en 1982 et qui fut attribué au BIPM (Rapport 1984, p. 50), participera en tant que prototype d'usage courant du BIPM à la prochaine comparaison de l'étalon international du kilogramme et de ses témoins. Pour nous assurer de sa stabilité, nous avons commencé une série de comparaisons à nos deux prototypes d'usage courant actuels N° 9 et N° 31.

2.1.2. — Masse volumique d'ébauches en platine iridié

Après la détermination de la masse volumique de l'ébauche JM28 faite cette année, on peut donner la valeur de la masse volumique des

ébauches tirées du lingot de platine iridié acheté en 1982 (Rapport 1982, p. 38) :

N°	N° de l'étalon correspondant	Masse volumique à 0 °C
JM22	690	21 544,65 kg/m ³
23	69	544,53
24	70	544,57
25	68	544,82
26		545,10
27		544,68
28		544,62

La masse volumique du cylindre qui provenait de la société Engelhart en Grande-Bretagne et qui avait été échangé contre l'étalon N° 651 (Rapport 1984, p. 51) était :

ENG	691	21 534,41 kg/m ³ .
-----	-----	-------------------------------

La petite différence entre cette valeur et celle mentionnée dans le rapport de 1984 provient de l'application de la correction pour les gaz atmosphériques dissous dans l'eau.

Nous avons acheté un lingot de 9,3 kg de platine iridié à la société Johnson-Matthey pour la fabrication de sept étalons de masse de 1 kg.

Avant d'accepter définitivement ce nouveau lingot nous avons déterminé la masse volumique de l'ébauche située au centre de ce lingot. Nous avons trouvé le résultat suivant :

Masse volumique à 0 °C	
JM32	21 557,34 kg/m ³

2.1.3. — Masse volumique d'étalons en acier inoxydable

En juin 1985, la Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Rép. Féd. d'Allemagne) a fait don au BIPM de deux étalons de 1 kg en acier inoxydable « Chronitherm » (Cr 20 % ; Ni 29 %). Nous avons déterminé leur masse volumique en décembre 1986 ; nous avons obtenu :

Masse volumique à 0 °C	
N° 3	7 810,685 kg/m ³
12	7 810,703 kg/m ³ ,

en admettant que le coefficient de dilatation cubique entre 0 °C et 22 °C est $46 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

2.1.4. — Études d'autres étalons de masse

Détermination de la masse volumique et de la masse des étalons de 1 kg suivants :

— sans numéro, en acier inoxydable « Nicral D » (Saudi Arabian Standards Organization, Arabie Saoudite);

— N° 102, en acier inoxydable « Nicral D » (Ministère du Service de la Science, Thaïlande).

Détermination de la masse de l'étalon de 1 kg INM 07 en alacrite (Institut national de métrologie, France).

2.1.5. — Balance Ruelprecht N° 1 de portée 1 kg

La société Chyo Balance Corporation à Kyoto, Japon, qui avait révisé cette balance en 1980, a envoyé un technicien au BIPM pendant 5 semaines pour en terminer l'ajustage. D'après les quelques essais qui ont pu être effectués depuis, on peut considérer que l'écart-type d'une comparaison de deux étalons de 1 kg est de l'ordre de 5 μ g.

2.1.6. — Balance hydrostatique Stanton

Cette balance nous sert principalement pour la détermination de la masse volumique des étalons en platine iridié ou en acier inoxydable. Nous l'avons confiée, pour révision, à la société Oertling (Royaume-Uni) qui nous l'a renvoyée en septembre 1987.

2.1.7. — Balance Mettler de portée 1 kg

Depuis le départ en révision de notre balance Ruelprecht N° 1, nous nous sommes trouvés dans l'impossibilité de vérifier nos propres séries de masses fractionnaires car nous n'avions aucune autre bonne balance, de portée supérieure à 200 g, capable de recevoir sur un même plateau les ensembles de masses fractionnaires nécessaires.

Afin d'éviter à l'avenir une interruption de ce genre, nous avons acheté une nouvelle balance construite par la société Mettler, du type HK 1000 MC, de portée maximale 1 kg, complètement automatique, qui permet la comparaison de quatre étalons.

Cette balance nous a été livrée en août 1987. Elle est soumise actuellement à une série de contrôles. Bien qu'il soit trop tôt pour en tirer une conclusion, nous pensons qu'elle permettra de déterminer la masse d'un étalon de 1 kg avec un écart-type de 2 à 3 μ g.

2.1.8. — Balance prototype à suspensions flexibles (C. C. Speake)

i) Construction

Depuis la période couverte par le rapport de 1986, nous avons terminé le travail de reconstruction de la balance prototype à suspensions

flexibles. La nouvelle balance est illustrée à la figure 4. Les principales modifications apportées à la version de la balance décrite dans *Metrologia*, 23, 1986/1987, pp. 87-100, sont les suivantes :

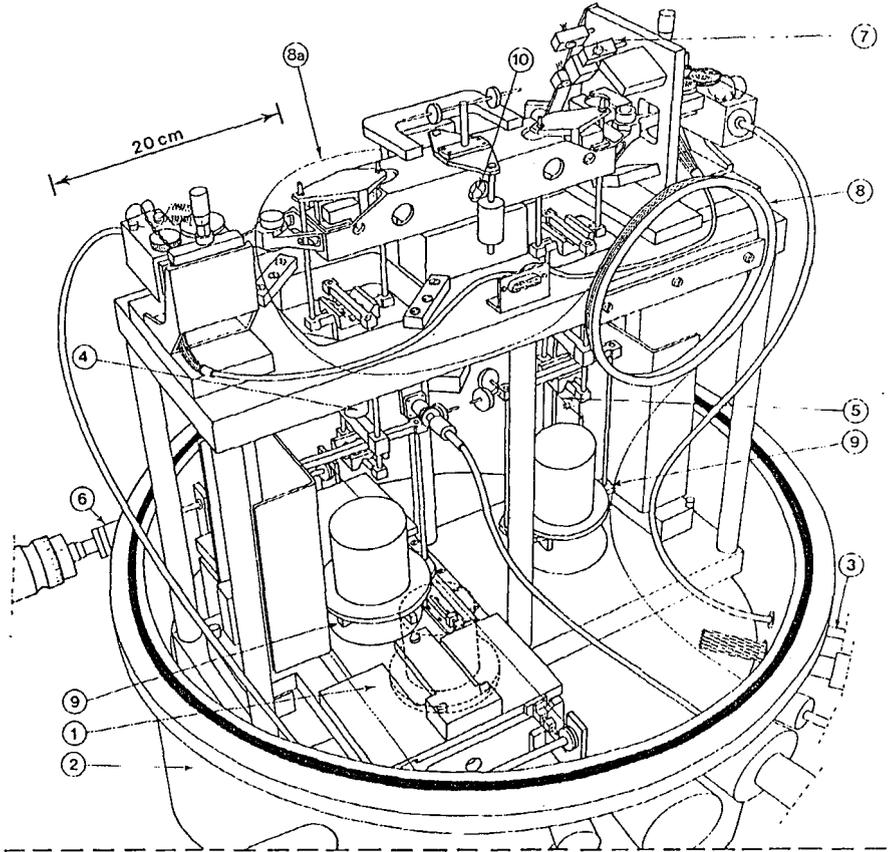


Fig. 4. — Vue en perspective du nouveau prototype de balance à suspensions flexibles.

1, échangeur de masses ; 2, enceinte étanche en aluminium ; 3, diodes émettrices ; 4, mécanisme piézo-électrique asservi assurant l'arrêt du plateau ; 5, mécanisme de manipulation des surcharges ; 6, un des passages étanches des moteurs pas à pas qui actionnent l'échangeur de masses ; 7, interféromètre optique à polarisation ; 8, bobine supportant la fibre optique (8a) qui transmet le faisceau laser à l'interféromètre ; 9, plateaux pour la réception des masses dont le diamètre peut atteindre 100 mm ; 10, nouveau pivot central.

- a) la balance a été équipée d'un échangeur de masses de façon à permettre la comparaison de deux masses par substitution ;
- b) une enceinte étanche en aluminium a été construite afin de passer de la pression atmosphérique au vide ;

c) le système de détection optique destiné à observer les mouvements du fléau a été reconstruit. Il utilise maintenant comme sources des diodes à émission infrarouge. Pour utiliser convenablement ces sources, il a été nécessaire d'étudier leur comportement afin d'éliminer le bruit en $1/f$. On a pu constater qu'il provenait d'une instabilité à basse fréquence dans la direction de la lumière émise par la diode. Le problème a été résolu en couplant la diode à une fibre optique ayant une longueur suffisante pour permettre à la lumière diffusée par la fibre optique de ne transmettre aucune information sur l'angle d'entrée. La sortie est donc isotrope. Les variations de la direction d'émission à la surface de la diode ne peuvent changer que l'intensité de la radiation émise à l'extrémité de la fibre, et celle-ci peut être stabilisée à l'aide d'une boucle d'asservissement. La figure 5 montre le spectre de bruit sortant du système de détection sans fibre optique.

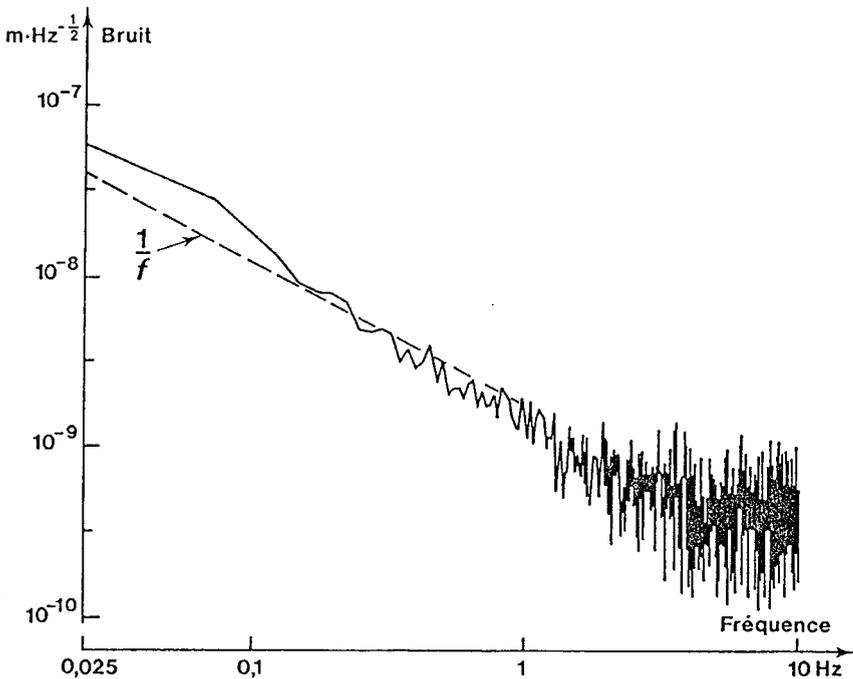


Fig. 5. — Spectre du bruit sortant du système de détection lorsqu'on utilise l'émetteur sans fibre optique. En ordonnées, densité spectrale du bruit, convertie en densité spectrale du mouvement équivalent de l'extrémité du fléau, en $m/Hz^{1/2}$; échelle logarithmique.

La figure 6 donne le spectre de bruit que l'on trouve en utilisant l'émetteur couplé à la fibre optique. Aux hautes fréquences, la sensibilité est limitée par le bruit de photons et le rapport signal sur bruit (S/N) varie comme la racine carrée du nombre de photons. Ainsi, comme le

flux rayonné à l'extrémité de la fibre est forcément inférieur à celui de l'émetteur nu, le bruit aux hautes fréquences est plus grand dans la figure 6 que dans la figure 5. Néanmoins, l'avantage aux basses fréquences est évident.

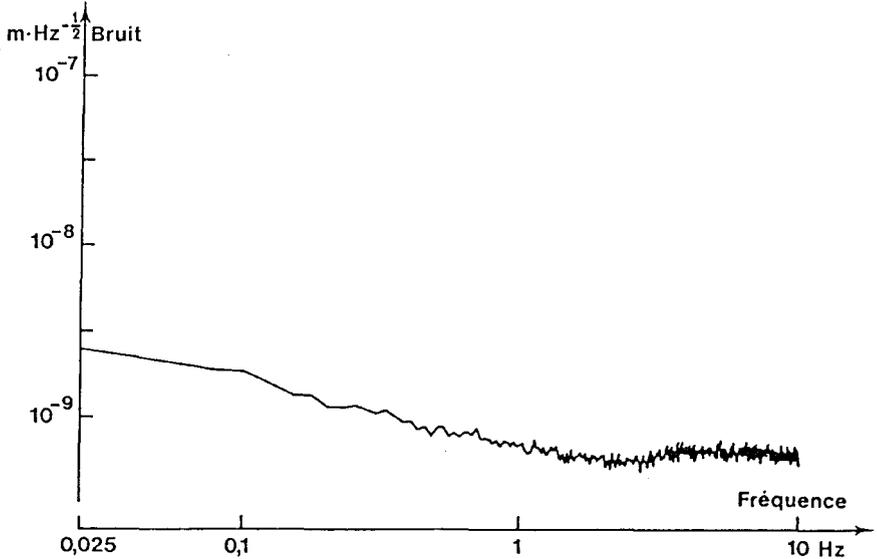


Fig. 6. — Spectre du bruit sortant du système de détection lorsqu'on utilise l'émetteur couplé à la fibre optique. Mêmes ordonnées que pour la figure précédente.

- d) l'asservissement électronique a été reconstruit pour permettre l'emploi d'un mécanisme d'arrêt piézo-électrique asservi destiné à limiter le mouvement du fléau lorsqu'on soulève une masse du plateau ;
- e) la balance a été totalement automatisée. L'échangeur de masses et les mécanismes de manipulation des surcharges sont actionnés par des moteurs pas à pas contrôlés par un micro-ordinateur ;
- f) l'interféromètre optique indique la position du fléau indépendamment du système d'asservissement. Le dispositif initial a été remplacé par un interféromètre à polarisation utilisant le faisceau d'un laser à He-Ne externe, transmis par une fibre optique dans l'enceinte de la balance ;
- g) de nouveaux plateaux ont été construits pour recevoir des masses ayant jusqu'à 100 mm de diamètre ;
- h) un nouveau pivot central flexible a été réalisé pour corriger la légère asymétrie de la longueur des bras qui existait auparavant.

Après avoir terminé cette reconstruction de la balance, nous avons procédé à des essais de fonctionnement.

Dans le but de contrôler l'hypothèse dite de la « cinquième force » à l'aide d'une balance à suspensions flexibles (brièvement mentionnée dans le rapport de 1986, p. 59) une série de masses de 2 kg a été construite, chacune contenant respectivement environ 1,5 kg de cuivre, de béryllium, de carbone ou de plomb et ayant un même volume extérieur (environ 970 cm³) à $\pm 0,1$ cm³ près, afin de réduire les différences dues à la poussée de l'air. Le boîtier extérieur de chaque masse est fait d'un acier inoxydable (Nicral D) ayant de bonnes propriétés magnétiques et permettant d'obtenir un bon poli de finition. Les masses doivent être ajustées pour avoir des différences maximales de quelques milligrammes.

Nous procédons actuellement à l'ajustage final.

ii) Anélasticité de l'alliage cuivre-béryllium

Alors que T. J. Quinn étudiait à Cambridge (Grande-Bretagne) en 1984-1985 l'anélasticité de l'alliage cuivre-béryllium utilisé dans les suspensions flexibles de la balance, il a pu remarquer que cet alliage montrait un effet anélastique d'une ampleur inattendue aux très basses fréquences (10^{-2} à 10^{-3} Hz). Ce phénomène pourrait expliquer certaines anomalies observées auparavant dans le comportement de la balance à suspensions flexibles. L'équipement construit à Cambridge pour ces mesures a été transporté à Sèvres, grâce à la générosité du Cavendish Laboratory. Cet équipement comprend un pendule vertical de 1 m de longueur, portant une sphère en bronze phosphoreux à chaque extrémité et supporté par une suspension flexible très voisine de son centre de gravité. La position du pendule est asservie. Celui-ci est monté dans un caisson étanche en acier inoxydable.

Le pendule a été remonté sur une nouvelle base qui devrait être bien plus stable que celle du Cavendish Laboratory. Nous espérons que les mesures pourront être effectuées à des fréquences encore plus basses, c'est-à-dire au-dessous d'environ 10^{-3} Hz. Un interféromètre optique à polarisation a été construit pour observer le mouvement du pendule, ce qui donnera une sensibilité supérieure à celle qu'il était possible d'obtenir précédemment au moyen d'observations visuelles. La reconstruction des systèmes de vide et des systèmes électriques progresse; un nouveau système d'acquisition des données a été aussi réalisé.

On étudie la possibilité de remplacer l'alliage cuivre-béryllium utilisé pour les suspensions flexibles par un monocristal de silicium. L'élément flexible fabriqué à partir d'un monocristal de silicium a été réalisé (STC Ltd. de Chelmsford, Grande-Bretagne) et on s'efforce actuellement de l'adapter à la monture de la balance et au pendule.

2.2. — Gravimétrie (A. Sakuma)

Nous avons déjà signalé (Rapport 1986, p. 61) que les résultats de la deuxième comparaison internationale de gravimètres absolus (juin-juillet 1985, au BIPM) fournis par les gravimètres des six laboratoires

participants sont très dispersés, d'environ 4×10^{-8} en valeur relative. Les écarts par rapport aux mesures du BIPM s'échelonnent entre trois et six fois l'écart-type estimé par chacun des autres laboratoires. Toutefois, le résultat du BIPM est le plus bas de tous et il s'écarte de la moyenne des six autres d'environ 260 nm/s^2 soit $2,6 \times 10^{-8}$ en valeur relative. Depuis cette constatation, nous avons recommencé des études en vue d'identifier des effets systématiques qui pourraient se manifester non seulement sur notre propre gravimètre mais aussi sur les gravimètres des autres laboratoires. Au cours de ces études nous avons identifié deux erreurs systématiques qui peuvent être significatives.

1) La première est due à la variation de longueur d'onde du laser en fonction de la pression atmosphérique. Cet effet a été soupçonné au JILA, où l'on a trouvé un coefficient $\lambda^{-1} \Delta\lambda/\Delta p$ de l'ordre de $-4 \times 10^{-12} \text{ Pa}^{-1}$ pour un laser asservi du type « à deux modes ». Il a été étudié au BIPM sur deux lasers de type voisin (voir paragraphe 1.2.4), en faisant artificiellement varier la pression ambiante. Nous avons obtenu :

sur un laser type SP117 : $\lambda^{-1} \Delta\lambda/\Delta p = -1,6 \times 10^{-12} \text{ Pa}^{-1}$
sur un laser type SP117A : $\lambda^{-1} \Delta\lambda/\Delta p = -0,1 \times 10^{-12} \text{ Pa}^{-1}$.

Un laser de ce type, étalonné à une altitude de 1 550 m (JILA), puis utilisé au BIPM (altitude 60 m), peut donc être à l'origine d'une erreur relative sur g de plusieurs 10^{-8} .

Nous avons pu détecter la même tendance à la variation de longueur d'onde en fonction de la pression atmosphérique sur le laser asservi sur l'absorption saturée de $^{127}\text{I}_2$ que nous employons dans notre gravimètre. Heureusement, le coefficient observé dans ce cas est très faible (il correspondrait à une valeur de $\Delta\lambda/\lambda$ d'environ 2×10^{-11} pour 1 500 m de dénivellation). L'élimination de cet effet est toutefois un nouveau problème à résoudre pour une meilleure réalisation du mètre.

2) Une autre cause d'erreur peut affecter la plupart des gravimètres absolus : dans l'interféromètre le trajet du faisceau qui sert à mesurer le déplacement du mobile en chute libre est en partie dans l'air et en partie dans le vide. La répartition entre ces deux parties peut être modifiée d'une part à cause de la relaxation du bâti du gravimètre, qui est soumis à une variation brusque des forces appliquées au moment de la libération du mobile, et d'autre part à cause des variations de la pression atmosphérique dues aux conditions météorologiques ou à l'activité humaine. Ces perturbations augmentent la dispersion aléatoire ; elles peuvent aussi se traduire par des erreurs systématiques sur g qui pourraient atteindre quelques 10^{-8} en valeur relative.

En vue du projet d'établissement d'un nouveau réseau gravimétrique absolu mondial, les organisateurs de la deuxième comparaison internationale en prévoient une troisième. Il nous semble préférable que les

gravimètres qui y participeront soient conçus ou modifiés de façon que l'interféromètre à laser soit *entièrement* sous vide et que la longueur d'onde de chaque laser employé soit étalonnée sur place.

2.3. — Pressions (J. Bonhoure)

2.3.1. — Manobaromètre normal

Cet appareil comporte un interféromètre de Michelson utilisé en lumière blanche pour localiser les ménisques de mercure. Ainsi, la mesure de la distance verticale qui sépare les ménisques n'est pas effectuée directement; on lui substitue la mesure du déplacement horizontal d'une réglette devant un microscope fixe.

Ce manobaromètre reste l'un des meilleurs du monde pour son exactitude, mais son mode de fonctionnement n'est plus adapté aux méthodes de mesure actuelles. On a examiné comment le moderniser et l'automatiser, en substituant à l'interféromètre actuel un dispositif à comptage de franges utilisant directement la réflexion sur les ménisques.

2.3.2. — Études courantes

On a effectué, chaque mois, le contrôle des jauges de pression (Ruska et Garrett) qui sont utilisées à la section des masses.

On a aussi procédé à la première étude d'un manomètre Crouzet nécessaire à certaines mesures réalisées à la section d'électricité.

3. Échelles de temps (B. Guinot)

3.1. — Établissement du TAI et de l'UTC (J. Azoubib)

L'établissement courant du TAI et de l'UTC a été poursuivi sans incident. Aucun changement important n'a été apporté au mode de calcul. Le nombre d'horloges participantes, environ 180, est resté stable, mais on note un rôle accru des masers à hydrogène: une dizaine de ces instruments nous apportent des données et la stabilité à long terme de certains d'entre eux rivalise avec celle des meilleures horloges à césium. Les masers à hydrogène de l'URSS entrent maintenant dans la formation du TAI, mais les fluctuations de la liaison horaire par le LORAN-C ne permettent pas d'en utiliser pleinement les qualités.

La participation de nouveaux laboratoires en Inde et en Israël a débuté en août 1987; celle de laboratoires en Afrique du Sud et en Argentine est en préparation.

Depuis le 29 février 1984, l'accord en fréquence du TAI et des étalons primaires reste tout à fait satisfaisant sans qu'aucune correction de pilotage du TAI n'ait été effectuée. Par exemple, par rapport à la

moyenne des indications des étalons du NBS, du NRC, de la PTB, du RRL et de l'Union Soviétique, l'écart de fréquence normée est estimé, pour l'année 1986, à

$$f(\text{TAI}) - f(\text{étalons primaires}) = (+ 1,3 \pm 2,8) \times 10^{-14}.$$

Cet accord ne doit pas dissimuler certaines difficultés. L'estimation de la fréquence du TAI s'appuie presque entièrement sur les étalons primaires NRC-CsV et PTB-CS1 (et aussi PTB-CS2 depuis août 1986) qui fonctionnent continuellement, car les autres étalons sont ou moins exacts ou utilisés peu souvent. En outre, on observe des écarts de fréquence normée permanents de 2×10^{-13} entre certains étalons primaires. L'amélioration du nombre et de la qualité des étalons de fréquence primaires, maintes fois recommandée par le CCDS et d'autres organisations, est d'autant plus nécessaire qu'il se développe des recherches et des applications où la stabilité et l'exactitude des échelles de temps atomique actuelles ne suffisent plus (étude des pulsars, par exemple).

3.2. — Liaisons horaires (W. Lewandowski)

Global Positioning System (GPS)

Le nombre de laboratoires qui utilisent des récepteurs horaires du GPS s'est rapidement accru : en mars 1987, 75 % des horloges qui contribuent au calcul du TAI sont comparées par le GPS. Les conseils à donner à des laboratoires nouvellement équipés et la mise en place des liaisons informatiques nous ont demandé un travail important.

En 1986, le BIPM a pris la responsabilité, auparavant assurée par le NBS, d'établir les programmes de poursuite des satellites du GPS, dits « en vue commune ». La plupart des liaisons horaires par le GPS utilisées pour le TAI sont établies au BIPM, à partir des résultats des mesures lus dans les fichiers du système informatique mondial Mark 3 de la General Electric.

Comme on a constaté que les incohérences des corrections de retard des réceptions du GPS étaient une cause importante d'erreurs, une mission d'étalonnage par transport d'un récepteur de référence a été organisée conjointement par le NBS et le BIPM. Elle a couvert des laboratoires des États-Unis d'Amérique et d'Europe ; elle s'est révélée fort utile (fig. 7). Cette mission a aussi permis d'attirer l'attention sur la nécessité de disposer de coordonnées géodésiques exactes (± 1 m) dans un système unique. Un rapport sur les résultats obtenus a été publié (voir Publications extérieures). À l'occasion d'une réunion à l'Observatoire de San Fernando, Espagne, en juin 1987, le BIPM a étalonné le récepteur de cet établissement et, à l'occasion de l'assemblée générale de l'URSI, celui du National Physical Laboratory d'Israël.

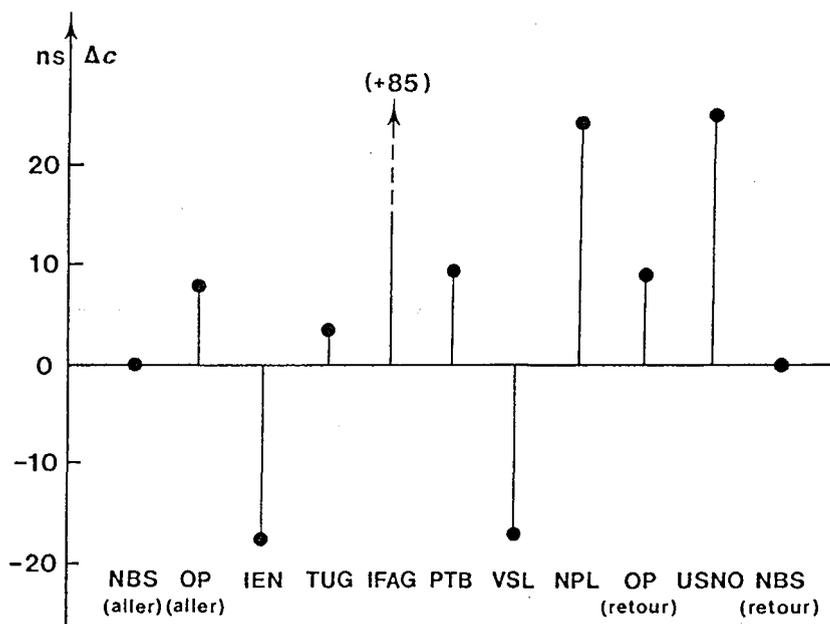


Fig. 7. — Erreurs d'étalonnage Δc des retards des récepteurs du GPS.

La figure donne la correction qu'il a fallu apporter à UTC (lab) - GPS à la suite de la campagne d'étalonnage d'octobre 1986. Les incertitudes sont de l'ordre de 1 ns. Δc a été fixé arbitrairement à 0 pour le NBS; pour OP, il s'agit du récepteur N° 6, mais $\Delta c \approx 1$ ns pour le récepteur N° 51.

Sans entrer dans le détail, on doit mentionner que la coordination des liaisons horaires par le GPS, indispensable pour atteindre l'exactitude souvent annoncée de ± 10 ns, requiert des efforts permanents de notre part.

Des recherches ont été entreprises pour atteindre une exactitude encore meilleure. En liaison avec l'Institut géographique national français, on tente de remplacer le modèle de correction ionosphérique par des valeurs observées, plus exactes, obtenues par d'autres systèmes. On tente aussi d'améliorer la connaissance des orbites des satellites en utilisant les réceptions horaires elles-mêmes. D'autre part, une expérience de liaison à quelques nanosecondes près, comprenant la redétermination des coordonnées géodésiques différentielles, est en préparation, avec divers laboratoires et un constructeur de récepteurs. Enfin, on a expérimenté un nouveau filtrage des mesures, par la méthode de Vondrak, qui pourrait entrer dans la pratique après étude.

LORAN-C

La réorganisation des liaisons par le LORAN-C consistant à fixer des horaires communs et à traiter les mesures journalières a été achevée.

Précision de l'accès au TAI

En utilisant la stabilité des échelles de temps atomique locales TA(lab) que certains laboratoires établissent, on peut avoir une idée de la précision avec laquelle on accède au TAI en considérant un lissage des valeurs de TAI - TA(lab) obtenues de 10 jours en 10 jours. Avec une période de coupure de 60 jours pour le lissage, les écarts-types σ des résidus par rapport aux valeurs lissées sont les suivants, pour 1985 et 1986 :

laboratoire	GPS						LORAN-C			
	F	NBS	NRC	PTB	RRL	USNO	CH	DDR	RGO	SO
σ (ns)	11	10	17	12	14	8	41	54	31	49

Dans les mêmes conditions, on observait en moyenne $\sigma = 54$ ns quand le LORAN-C seul était en usage.

3.3. — Travaux sur les algorithmes (C. Thomas)

Le rôle de la prédiction des marches d'horloges a été approfondi. On a montré que dans la plupart des algorithmes la prédiction ne joue un rôle que lors de l'introduction et du retrait d'horloges, ainsi que lors des changements de pondération (*Metrologia*, **24**, 1987, pp. 195-198).

Dans l'établissement du TAI, chaque horloge a une instabilité apparente qui est son instabilité propre augmentée de la contribution du bruit des comparaisons de temps. Grâce au GPS, cette dernière contribution est fortement réduite et la pondération statistique que l'on applique aux horloges ne rend pas assez justice aux meilleures d'entre elles. Un nouveau mode de pondération a été mis au point et il est maintenant essayé sur les données anciennes. Il pourrait être employé pour le TAI, s'il se montre satisfaisant, à partir de janvier 1988.

3.4. — Temps atomique et théories dynamiques

Le problème épineux des rapports entre l'argument temporel des théories dynamiques et les échelles de temps atomique fait l'objet de controverses depuis plus de 10 ans. Pour aider à le résoudre, nous proposons, avec P. K. Seidelmann du Nautical Almanac Office des États-Unis d'Amérique, de définir explicitement un temps atomique idéal que nous appelons « Temps terrestre », TT. C'est le temps propre d'une horloge à césium idéale au centre de masse de la Terre, mais avec un intervalle unitaire égal à la seconde du SI telle qu'elle est définie sur le géoïde en rotation. Cette proposition est exposée dans une note commune, largement diffusée, dont on envisagera la publication si elle recueille une approbation suffisante.

Pour la plupart des applications, le TAI (augmenté de 32,184 s pour des raisons historiques) est une réalisation suffisante du TT. Mais pour l'étude des pulsars et, sans doute, pour d'autres recherches astronomiques futures, telles que les travaux sur la gravitation, les défauts de réalisation du TT sont critiques. Malgré son pilotage sur la fréquence des étalons primaires, le TAI est moins exact qu'une échelle établie rétrospectivement ; d'autre part, il nous paraît très probable que des erreurs saisonnières l'affectent davantage qu'elles n'affectent les temps issus d'étalons primaires. Nous avons donc établi une nouvelle échelle, désignée par TT(BIPM87), qui utilise essentiellement les données des étalons primaires du NRC et de la PTB et la stabilité à long terme du TAI. La figure 8 montre cette échelle, par comparaison avec le TAI et les échelles de temps liées aux étalons primaires NRC-CsV et PTB-CS1. Le TT(BIPM87) est une échelle scientifique, révisable, tandis que le TAI est définitif dès qu'il est diffusé.

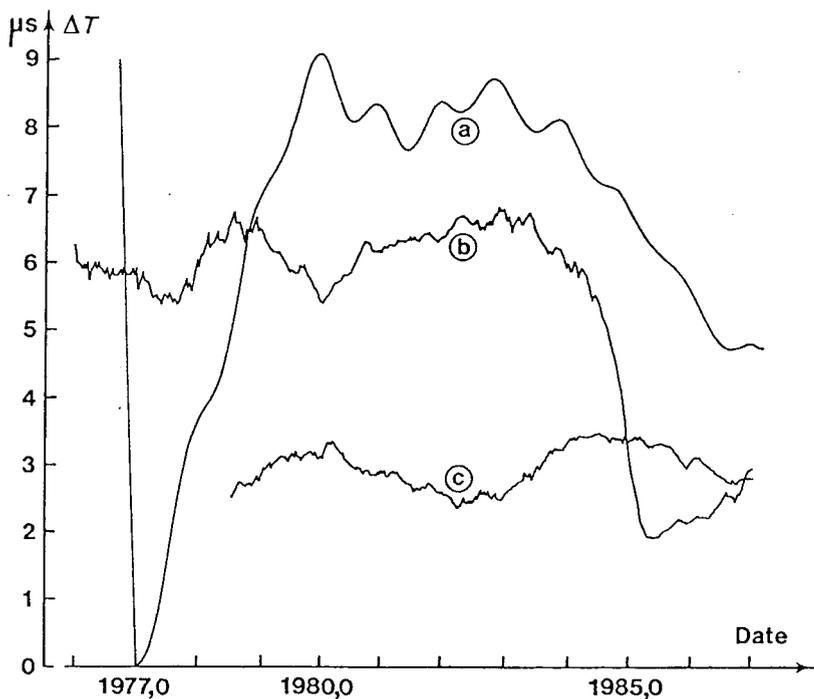


Fig. 8. — Temps terrestre TT(BIPM87).

La figure montre $\Delta T = TT(BIPM87) - E$ avec (a) $E = TAI$, (b) $E = TA(NRC)$, (c) $E = PTB-CS1$. L'origine des ΔT est arbitraire.

3.5. — Diffusion des données sur le temps

Nous avons inauguré en mai 1987 un nouveau service de données accessible par téléphone. En un premier temps il permet aux utilisateurs

le transfert sur leurs ordinateurs des circulaires mensuelles sur le temps, des tables donnant depuis 1972, UTC – UTC(lab), TAI – TA(lab), TT(BIPM87) – TAI et les horaires de poursuite des satellites du GPS. Ce service est aussi utilisable pour envoyer au BIPM les données des laboratoires.

4. Électricité (T. Witt)

4.1. — Amélioration des mesures de résistance (F. Delahaye)

Cette année marque la mise en service, pour les mesures de routine, de notre comparateur de résistances fondé sur un comparateur cryogénique de courants (CCC) décrit précédemment (Rapport 1984, p. 67). Ce dispositif était déjà utilisé pour la comparaison entre elles des résistances définissant Ω_{69-BI} et pour le rattachement de celles-ci aux résistances de valeurs multiples décimales de l'ohm dans les mesures de la résistance de Hall (Rapport 1986, p. 72). Ce comparateur remplace les ponts doubles qui servaient depuis 1931 aux comparaisons internationales de résistance.

En vue d'utiliser au mieux ce nouveau dispositif de mesure lors de la prochaine comparaison restreinte d'étalons de résistance de 1Ω , demandée par le CCE lors de sa 17^e session, en septembre 1986, nous avons été amenés à modifier l'organisation de nos mesures de résistance et à y apporter différentes améliorations.

Il est apparu tout d'abord que pour effectuer nos mesures dans les meilleures conditions, il convenait de regrouper nos étalons de résistance (en particulier les étalons de 100Ω et de 1Ω) dans une même pièce, voisine de celle où est installée l'expérience de l'effet Hall quantique et équipée d'une cage de Faraday (le SQUID associé au CCC est en effet particulièrement sensible aux perturbations électromagnétiques). Les six étalons de 1Ω matérialisant Ω_{69-BI} ont donc été installés dans cette pièce. Cela nous permet de réaliser le passage de la résistance de Hall quantifiée aux étalons de 1Ω en ne déplaçant ni les étalons ni le dispositif de mesure (un câble relie une pièce à l'autre et permet de se raccorder aux échantillons de Hall).

Nous avons ensuite cherché à réduire les incertitudes liées aux effets de la température, de la pression atmosphérique et de la puissance dissipée dans les étalons.

Afin de connaître de façon aussi précise que possible la température individuelle des étalons de 1Ω (jusqu'à 12 étalons) placés dans un bain d'huile thermorégulé, nous utilisons un thermomètre à résistance de platine placé en un point fixe du bain et une batterie de 12 thermocouples cuivre-constantan dont les soudures de référence sont en contact thermique étroit avec le thermomètre et dont les soudures actives sont

disposées chacune dans l'orifice central de l'une des 12 résistances. Un commutateur à faibles forces thermoélectromotrices permet de raccorder les fils de sortie (en cuivre) des 12 thermocouples à un nanovoltmètre. Il est ainsi possible de déterminer la valeur de la différence de potentiel apparaissant aux bornes des thermocouples avec une incertitude inférieure à 10 nV, ce qui correspond à une résolution de l'ordre de 0,25 mK sur les différences de température locales du bain d'huile.

Nous avons fait l'acquisition d'un manomètre numérique permettant la mesure de la pression atmosphérique avec une résolution de quelques pascals et une incertitude (après étalonnage) inférieure à 10 Pa. Cette faible incertitude est nécessaire car certains des étalons de 1Ω matérialisant Ω_{69-BI} ont un coefficient de pression de l'ordre de $1 \times 10^{-10} \text{ Pa}^{-1}$.

Le passage de la résistance de Hall quantifiée à 1Ω ainsi que le passage de $10\,000 \Omega$ à 1Ω nécessitant un étalon de 100Ω aussi stable que possible, nous avons réalisé deux boîtiers thermorégulés contenant chacun deux résistances étalons de 100Ω . Chaque étalon est constitué de 10 résistances en « Evanohm » de $1\,000 \Omega$ sélectionnées et assemblées en parallèle, ce qui permet de rendre négligeables les effets dus à la puissance dissipée.

Enfin, dans le but de parer à une éventuelle défaillance du système de mesure (CCC et SQUID) et d'essayer d'améliorer encore ses performances, nous avons entrepris la réalisation d'un deuxième dispositif similaire.

4.2. — Comparaisons de représentations nationales de l'ohm

Trois comparaisons de représentations nationales de l'ohm ont été entreprises avec des laboratoires qui réalisent l'ohm ou la résistance de Hall quantifiée : une avec le LCIE, une avec l'OFMET (Berne) et une avec le NPL.

Les mesures ont été faites au BIPM à l'aide du CCC et également, en ce qui concerne les étalons voyageurs de 1Ω du NPL, à l'aide du pont double de Thomson utilisé jusqu'à présent pour ce type de comparaison. Cela nous a permis de vérifier que l'accord entre le nouveau dispositif et l'ancien est satisfaisant : meilleur que $1 \times 10^{-8} \Omega$ en ce qui concerne la valeur moyenne des trois étalons voyageurs de 1Ω du NPL exprimée en Ω_{69-BI} .

Les mesures retour sont en cours au LCIE et nous permettront de calculer prochainement les résultats définitifs. Les deux étalons voyageurs appartenant à l'OFMET ont été étudiés au CSIRO de janvier à mars 1987 et, après un contrôle à l'OFMET, nous les avons étudiés du 9 avril au 11 mai 1987. Les résultats permettent de calculer, indirectement, le rapport entre notre représentation de l'ohm et celle du CSIRO, déduite du condensateur calculable. On obtient, pour le 11 février 1987 :

$$\Omega_{69-BI} - \Omega_{\text{CSIRO}} = (-1,693 \pm 0,035) \mu\Omega$$

où l'incertitude (écart-type) est du type A seulement. Ce résultat est en excellent accord avec la valeur extrapolée de $\Omega_{69-BI} - \Omega_{CSIRO}$ déduite des comparaisons directes entre le BIPM et le CSIRO sur la période de 1964 à 1985.

Les résultats de la comparaison avec le NPL sont maintenant connus. Cette comparaison a été entreprise en fait avec cinq étalons voyageurs de 1Ω du NPL, mais il est apparu rapidement que deux d'entre eux (étalons commerciaux du type conçu par Wilkins pour le courant continu et pour le courant alternatif) étaient affectés par un phénomène dû très probablement à l'effet Peltier : il apparaît aux bornes des prises de potentiel une force électromotrice qui dépend de l'intensité, du sens et de la durée de passage du courant. Ce phénomène est observé sur ce type d'étalon en raison, semble-t-il, de la conception des arrivées de courant et des prises de potentiel : une arrivée et une prise en cuivre sont soudées, en un même point, à chaque extrémité du fil résistant en manganine. Le passage du courant provoque, par effet Peltier, une différence de température entre ces deux points d'autant plus marquée que la résistance thermique qui les relie est grande, ce qui semble être le cas pour ces deux étalons. Cette différence de température (quelques millikelvins à l'équilibre thermique pour une intensité de courant de 50 mA) entraîne l'apparition, aux bornes des prises de potentiel, d'une force thermoélectromotrice produite par le couple cuivre-manganine (environ $2 \mu\text{V/K}$). Cela implique que les valeurs mesurées apparentes des deux étalons sont différentes suivant la procédure de mesure utilisée et en particulier la durée du passage du courant pour chaque polarité. Ces différences peuvent aller, dans des cas extrêmes, jusqu'à 1×10^{-7} en valeur relative.

Ces deux étalons ont déjà été utilisés comme étalons voyageurs lors de la précédente comparaison entre le NPL et le BIPM, mais le dispositif de mesure (pont double) utilisé alors par le BIPM n'avait pas la résolution nécessaire pour mettre en évidence l'effet de façon nette. Des divergences avaient cependant été observées entre les résultats donnés par ces deux étalons et ceux obtenus avec d'autres. L'étude avec le NPL a eu principalement pour but de trouver l'origine de ces divergences qui sont donc, croyons-nous, dues en grande partie à cet effet Peltier. Nous pensons qu'il serait préférable de ne plus utiliser d'étalon voyageur de ce type pour les prochaines comparaisons.

Pour la présente comparaison, nous avons conservé uniquement les résultats obtenus avec les trois étalons qui ne sont pas affectés par l'effet Peltier, ce qui donne, en moyenne, au 24 avril 1987 :

$$\Omega_{\text{NPL}} - \Omega_{69-BI} = (0,343 \pm 0,022) \mu\Omega.$$

L'incertitude indiquée est une estimation de l'écart-type de la moyenne, résultant de l'addition quadratique des composantes de type A et de type B.

4.3. — Mesures de la résistance de Hall quantifiée (F. Delahaye)

4.3.1. — Mesures potentiométriques

En octobre 1986, nous avons repris les déterminations de la résistance de Hall du plateau correspondant au nombre quantique i ,

$$R_H(i) = \frac{h}{ie^2} \quad (1)$$

où h est la constante de Planck et e est la charge élémentaire, avec le dispositif de mesure électrique (Rapport 1986, p. 74) utilisant un potentiomètre modifié de marque Guildline modèle 9930. Les résultats des douze séries de mesures en octobre et novembre de la résistance du plateau correspondant à $i = 4$ dans un échantillon métal-oxyde-semiconducteur à effet de champ diffèrent de 7×10^{-8} environ, en valeur relative, de la valeur attendue, compte tenu de la dérive de Ω_{69-BI} . L'écart-type relatif composé (types A et B) de ces mesures est de 7×10^{-8} .

4.3.2. — Mesure à l'aide d'un comparateur cryogénique de courants continus (CCC)

Le CCC est, croyons-nous, l'outil idéal pour réaliser le rattachement entre la résistance de Hall quantifiée, $R_H(i)$ et les étalons de 1Ω utilisés pour matérialiser notre représentation de l'ohm, Ω_{69-BI} : il associe une très faible incertitude à une grande souplesse d'utilisation permettant la mesure de différents rapports de résistances.

Notre projet était de réaliser le passage de $R_H(i)$ aux étalons de 1Ω en deux étapes seulement : la première consiste à mesurer le rapport entre $R_H(i)$, par exemple $R_H(2) \simeq 12\,906,4 \Omega$, et une résistance étalon de 100Ω , R_0 , la seconde à mesurer le rapport entre R_0 et les étalons de 1Ω .

Un CCC a été construit en 1984, en collaboration avec le LCIE (Rapport 1984, p. 67), et utilisé depuis 1986 au BIPM pour la mesure de rapports de résistances de $1/1$, $1/10$ et $1/100$ (Rapport 1986, p. 74). L'appareil permet aussi la mesure de rapports de résistances proches de $2065/16$, $2065/32$ et $2065/48$, qui correspondent à $R_H(2)$, $R_H(4)$ et $R_H(6)$.

Il restait à construire la source double de courant permettant de réaliser ces mesures de rapports, à assembler le dispositif complet de mesure et à le mettre au point. Ces travaux ont été effectués au cours du second semestre 1986 et le dispositif (fig. 9) est opérationnel depuis janvier 1987.

Le principe de la mesure consiste à évaluer le rapport exact, i_1/i_2 , des courants continus i_1 et i_2 circulant à travers les résistances $R_H(i)$ et

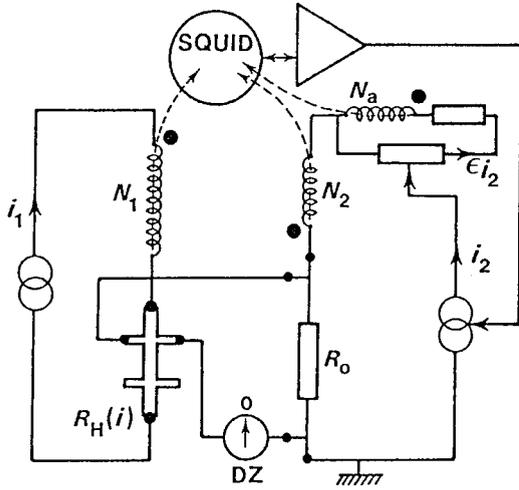


Fig. 9. — Pont de mesure de la résistance de Hall quantifiée utilisant un comparateur cryogénique de courants.

R_0 et produisant des différences de potentiel égales à travers celles-ci, soit :

$$i_1 R_{H(i)} = i_2 R_0.$$

Le rapport i_1/i_2 est ajusté et mesuré grâce aux enroulements de nombre de spires égaux à $N_1(2065)$, $N_2(16, 32$ ou $48)$ et $N_a(N_a = N_2)$ du CCC. Ces enroulements sont couplés, par l'intermédiaire d'un transformateur de flux d'induction magnétique, à un magnétomètre à SQUID. Le signal de sortie du magnétomètre est utilisé, en contre-réaction, pour asservir la source de courant i_2 de telle sorte que le flux appliqué au SQUID reste nul. On a alors :

$$N_1 i_1 - N_2 i_2 + N_a \epsilon i_2 = 0 \quad (3)$$

où ϵ est une fraction faible, ajustable et connue du courant i_2 , circulant à travers l'enroulement auxiliaire N_a et permettant de faire varier finement le rapport i_2/i_1 autour de sa valeur nominale N_1/N_2 . Ce réglage permet de réaliser la condition (2) qui est obtenue lorsque le nanovoltmètre, détecteur de zéro, DZ, indique une différence de potentiel nulle.

Les relations (2) et (3) étant alors vérifiées simultanément, on obtient :

$$\frac{R_H(i)}{R_0} = \frac{N_1}{N_2} \times \frac{1}{1 - (N_a/N_2) \epsilon}. \quad (4)$$

L'incertitude (⁷) liée aux imperfections magnétiques du CCC, autrement

(⁷) Les incertitudes mentionnées dans ce paragraphe sont des estimations correspondant à un écart-type.

dit l'incertitude sur le rapport effectif N_1/N_2 de la relation (4), est remarquablement faible et ne dépasse pas 2×10^{-9} en valeur relative⁽⁸⁾.

L'incertitude de type A peut être réduite à moins de 5×10^{-9} en valeur relative pourvu que le courant i_1 admissible par l'échantillon soit d'au moins $30 \mu\text{A}$ et que la durée de la mesure soit de l'ordre de deux heures. Une telle durée rend nécessaire l'automatisation du dispositif. Un microcalculateur commande, à l'aide de relais, l'inversion périodique (toutes les deux minutes environ) des courants i_1 et i_2 . Cela permet d'éliminer l'influence des forces thermoélectromotrices apparaissant dans le circuit de mesure du nanovoltmètre. De plus, le microcalculateur réalise l'acquisition et le traitement des données fournies par le nanovoltmètre, si bien que la mesure peut se dérouler en l'absence de l'opérateur.

Compte tenu des autres sources d'incertitude (connaissance de ε , effet des résistances et courants de fuite, effets non corrigés de température, pression et puissance sur R), nous estimons que l'incertitude composée (types A et B combinés) sur la mesure du rapport $R_H(i)/R_0$ (où R_0 est une résistance étalon de 100Ω) ne dépasse pas 1×10^{-8} en valeur relative.

Le passage de 100Ω (R_0) à 1Ω utilise le même dispositif de mesure mais avec des enroulements de nombres de spires égaux à 1 600 et 16 ; l'incertitude composée correspondante dépend des caractéristiques des étalons de 1Ω utilisés mais ne dépasse généralement pas $1,5 \times 10^{-8}$ en valeur relative.

Nous pouvons donc réaliser le rattachement de la résistance de Hall quantifiée à des résistances étalons de 1Ω avec une incertitude composée (types A et B) ne dépassant pas $1,8 \times 10^{-8}$ en valeur relative.

4.4. — Recherche d'échantillons pour l'étude et l'utilisation de l'effet Hall quantique

Deux types d'échantillons peuvent être utilisés pour des mesures précises de résistances de Hall quantifiées : les transistors métal-oxyde-semiconducteur (MOS) à effet de champ d'une part et les hétérojonctions à dopage modulé, en particulier les hétérojonctions $\text{GaAs-A}_{1-x}\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, d'autre part.

Le BIPM s'est procuré des échantillons des deux types grâce à l'aide généreuse de différentes organisations :

— l'Université Gakushuin, Tokyo (Prof. S. Kawaji) a fait don au Bureau de sept transistors MOS à effet de champ ;

⁽⁸⁾ DELAHAYE, F., REYMANN, D. Progress in resistance ratio measurements using a cryogenic current comparator at LCIÉ. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, IM-34, 1985, pp. 316-319.

— l'Office fédéral de métrologie, Berne (Mr W. Schwitz) a fait don au Bureau d'une hétérojonction GaAs - $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ fabriquée par la technique d'épitaxie par jet moléculaire ;

— le Laboratoire d'électronique et de physique appliquée, Limeil-Brévannes, France (Mr J. P. André) a confié au Bureau deux hétérojonctions GaAs - $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ fabriquées par la technique d'épitaxie aux organo-métalliques en phase vapeur ;

— le Laboratoire de microélectronique et de microstructure, Bagneux, France (MM. B. Étienne et E. Paris) a confié au Bureau une hétérojonction GaAs - $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ fabriquée par la technique d'épitaxie par jet moléculaire.

Nous remercions vivement ces organisations et particulièrement les personnes citées ci-dessus.

4.5. — Mesures comparatives de $R_H(i)$ pour deux hétérojonctions GaAs - $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ et pour différents plateaux ($i = 2, 4, 6$)

La valeur théorique de la résistance de Hall quantifiée $R_H(i)$, correspondant au nombre quantique i , étant donnée par l'équation (1), il est particulièrement intéressant de vérifier expérimentalement que le produit $i \times R_H(i)$ est effectivement indépendant du nombre quantique i . Une telle vérification, lorsqu'elle est concluante, montre que, d'une part, les conditions expérimentales de température et de champ magnétique sont convenables pour obtenir la quantification et, d'autre part, ni le dispositif de mesure, ni des effets indésirables, dus entre autres à des résistances de fuite, n'introduisent d'erreur significative.

Nous avons effectué cette vérification à l'aide d'une hétérojonction GaAs - $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ dont les valeurs de densité électronique bidimensionnelle, $n_s = 6,1 \times 10^{15} \text{ m}^{-2}$ et de mobilité des porteurs, $\mu = 33 \text{ T}^{-1}$ permettent d'obtenir, à une température de 0,5 K, des plateaux de résistance de Hall suffisamment bien quantifiés pour des valeurs de i égales à 2, 4 et 6. Les valeurs du champ d'induction magnétique B utilisé sont proches respectivement de 12, 6 et 4 T. De plus, une seconde hétérojonction GaAs - $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ a été utilisée sur son plateau $i = 2$ (avec $B \approx 6 \text{ T}$) afin de vérifier la reproductibilité de $R_H(i)$ d'un échantillon à l'autre.

Les mesures ont consisté à évaluer à l'aide du CCC les rapports entre $R_H(i)$ et une même résistance étalon R_0 de 100 Ω pour différentes valeurs de i et différentes conditions expérimentales. L'ensemble de ces mesures s'étend sur une période de 10 jours. Pour chaque mesure, la valeur de R_0 est corrigée pour tenir compte de sa dérive linéaire à court terme (4×10^{-9} par jour en valeur relative) et des effets de la température et de la pression atmosphérique.

La figure 10 montre les résultats obtenus. La grandeur β définie par :

$$i R_H(i)/R_0 = 258,128 [1 + \beta]$$

est portée en fonction de la date de la mesure. Le nombre 258,128 est une valeur arbitraire du rapport $i R_H(i)/R_0$, utilisée ici uniquement pour la présentation des résultats.

On constate un excellent accord entre les différentes mesures : les écarts par rapport à la moyenne ne dépassent pas $\pm 1 \times 10^{-8}$. Nous pensons donc que notre dispositif n'introduit pas d'erreur significative et que notre estimation de l'incertitude sur la mesure du rapport $R_H(i)/R_0$ (à savoir 1×10^{-8}) est réaliste.

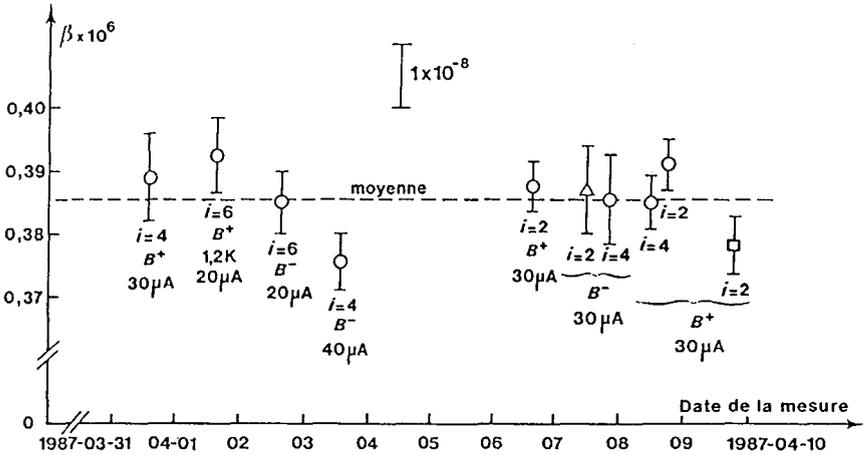


Fig. 10. — Variations relatives du rapport $i R_H(i)/R_0$ mesuré avec deux hétérojonctions, dans différentes conditions expérimentales, exprimées

$$\text{en écarts relatifs, } \beta = \left[\frac{1}{258,128} \times \frac{i R_H(i)}{R_0} \right] - 1$$

- circles : hétérojonction LEP 784, prises de potentiel A
- carré : hétérojonction LEP 784, prises de potentiel B
- triangle : hétérojonction LEP 454.

La première hétérojonction (LEP 784) a été utilisée sur les plateaux correspondant aux nombres quantiques $i = 2, 4$ et 6 et la seconde (LEP 454) sur le plateau correspondant à $i = 2$.

La température des échantillons était de $0,5$ K, sauf pour la 2^e mesure (1987-04-01) réalisée à $1,2$ K. Le champ d'induction magnétique appliqué perpendiculairement au plan de l'échantillon était orienté dans un sens (B^+) ou dans l'autre (B^-). Le courant de mesure traversant l'échantillon variait de 20 à $40 \mu\text{A}$. Deux paires de prises de potentiel différentes (A et B) ont été utilisées sur l'échantillon LEP 784.

4.6. — Amélioration du dispositif potentiométrique et comparaison des deux installations de mesure des résistances de Hall quantifiées

Pour dépister des erreurs systématiques éventuelles dans nos deux installations de mesure des résistances de Hall quantifiées, nous avons entrepris des comparaisons des résultats des mesures effectuées avec les deux systèmes en janvier 1987. D'abord, il nous semble clair que le dispositif à CCC est plus exact et plus facile à utiliser. Néanmoins, il serait rassurant de démontrer la concordance, dans les limites des incertitudes admises, des résultats des mesures de $R_H(i)$ en fonction de Ω_{69-B1} .

Afin de faciliter l'emploi du potentiomètre et l'application des corrections aux valeurs affichées directement, nous avons ajouté un dispositif d'acquisition de données par microcalculateur permettant, pour chaque série de mesures, d'établir un tableau de corrections et de les appliquer pendant les mesures. De plus, un sous-programme d'interpolation des indications du détecteur permet une correction plus rigoureuse des effets de dérive linéaire du courant de mesure et des forces thermoélectromotrices et réduit la composante aléatoire de l'incertitude. Une autre amélioration est la mise en œuvre dans cette installation de deux nouvelles résistances de référence de 10 k Ω thermorégulées semblables à celles décrites précédemment (Rapport 1985, p. 84). Mais, et nous le savions déjà^(*), l'incertitude du type B la plus importante est due à l'échauffement de la résistance de sortie du potentiomètre. Nous avons donc réévalué les corrections dues au coefficient de puissance et nous avons revu la séquence et la durée des mesures. En janvier, nous avons trouvé que l'accord entre la valeur moyenne de six séries de mesure de R_H sur une même hétérojonction avec le potentiomètre et celle de six séries avec l'installation à CCC sont en accord à 1×10^{-8} près en valeur relative, mais il est possible que cet accord soit fortuit. De plus, l'incertitude due à l'échauffement est difficile à évaluer. Pour cette raison, nous avons remplacé la résistance de sortie d'origine par une résistance de plus faible coefficient de puissance dans une enceinte thermorégulée de notre fabrication. Nous espérons pouvoir procéder prochainement à une comparaison définitive des deux installations.

4.7. — Conservation et transfert de V_{76-B1} (D. Reymann)

4.7.1. — Piles de référence

Depuis le 1^{er} janvier 1976, la conservation du volt est réalisée au BIPM à l'aide de l'effet Josephson. Dans l'intervalle entre deux mesures

(*) WITT, T. J., ENDO, T. and REYMANN, D. The realization of the quantum Hall standard of resistance at the BIPM. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, **IM-36**, 1987, pp. 234-239.

de l'effet Josephson, la continuité des mesures est assurée à l'aide de piles étalons de référence. Ces dernières servent pour les comparaisons avec les laboratoires nationaux ; leur stabilité permet aussi de mettre en évidence d'éventuelles discontinuités dans la réalisation du volt. Nous avons en général utilisé une extrapolation linéaire de l'évolution de la force électromotrice (f.é.m.) des piles de référence (Rapport 1985, p. 89), mais cela n'est possible que pour une durée limitée ; la figure 11 montre l'évolution d'un sous-groupe de trois de nos piles de référence pendant 10 ans : la valeur de la f.é.m. moyenne de ce groupe, extrapolée linéairement d'après les résultats obtenus entre la fin de l'année 1982 et le début de l'année 1985 (droite a), est ainsi supérieure d'environ 30 nV à celle mesurée aujourd'hui, soit plus de trois ans après la date moyenne de ces observations. Nous utilisons actuellement, pour tenir compte de l'évolution de la f.é.m. moyenne des piles du groupe de référence du BIPM, une extrapolation linéaire calculée à partir des résultats des mesures de l'effet Josephson depuis le début de 1984.

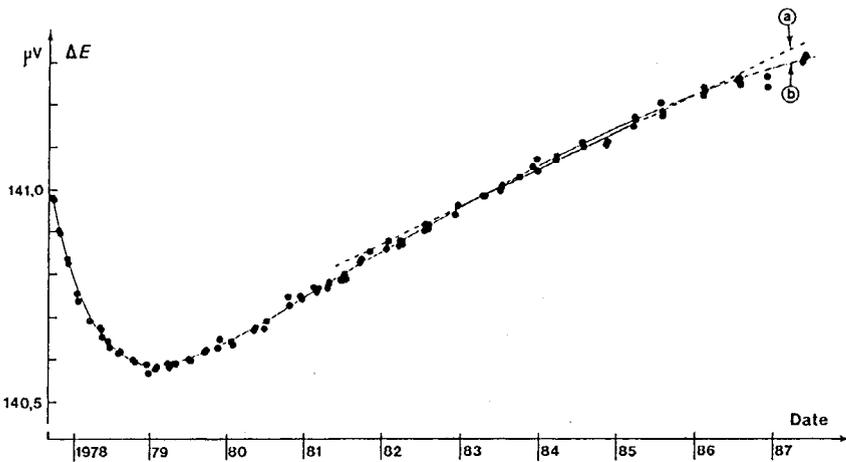


Fig. 11. — Évolution, en fonction du temps, de la force électromotrice moyenne d'un sous-groupe de trois piles de référence du BIPM.

En ordonnées, excès de la force électromotrice par rapport à $1,018 V_{76-81}$. La droite a est ajustée d'après les valeurs obtenues de la fin de 1982 au début de 1985. La courbe b est indicative.

Ces derniers temps, nous avons eu plus de difficultés lors des mesures de l'effet Josephson, ce qui traduit un vieillissement du matériel. De ce fait, nous devons consacrer davantage de temps pour conserver le dispositif actuel en bon état de fonctionnement et assurer la continuité de nos mesures.

Nous poursuivons les comparaisons bimensuelles entre nos six groupes de piles de référence. Entre autres, depuis septembre 1986, nous suivons l'évolution d'un groupe de quatre piles offertes au BIPM par la Chine,

piles qui ont été placées, après des études à 20 °C, dans une enceinte thermostaturée à 26 °C ; les premiers résultats sont très satisfaisants.

Depuis mars 1986, les mesures d'un des groupes de quatre piles sont faites en utilisant d'une part le potentiomètre manuel traditionnel, et d'autre part le comparateur automatique ; la figure 12 montre les résultats obtenus à l'aide des deux systèmes. On voit que l'accord est meilleur que 10 nV, ce qui est tout à fait conforme aux incertitudes cumulées des deux chaînes de mesure. Cela nous garantit le bon fonctionnement du système automatique qui est utilisé pour les mesures des piles des laboratoires nationaux (le décrochement visible sur la figure est dû à un changement spontané d'environ 0,3 μ V de la f.é.m. d'une pile, probablement dû à un dégazage d'hydrogène, observé entre deux mesures faites avec le potentiomètre manuel).

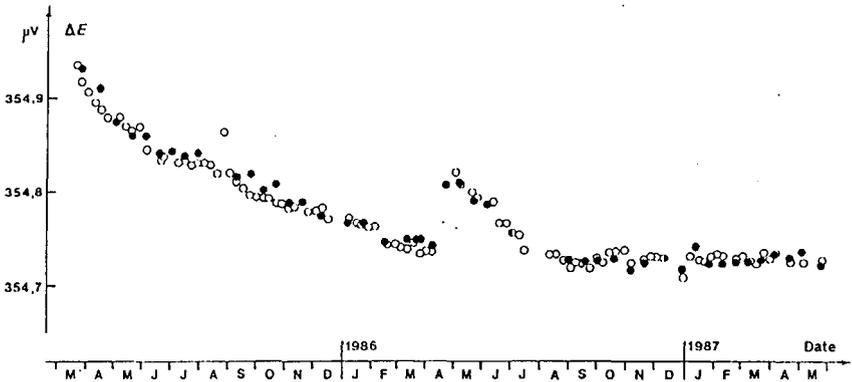


Fig. 12. — Comparaison des déterminations de la force électromotrice moyenne d'un groupe de quatre piles de référence du BIPM, faites avec un potentiomètre manuel (cercles noirs) ou avec le système automatique (cercles blancs).

En ordonnées, excès de la force électromotrice par rapport à 1,018 $V_{76,11}$.

Sur la période s'étendant de septembre 1986 à mai 1987, les valeurs moyennes de la f.é.m. calculées d'après les résultats obtenus avec les deux systèmes (31 mesures automatiques, 17 mesures manuelles) diffèrent de 0,8 nV (écart-type = 1,9 nV).

4.7.2. — Étude d'étalons de tension à diode de Zener

Nous avons eu quelques occasions de mesurer des étalons à diode de Zener appartenant à des laboratoires nationaux. Notre système à potentiomètre manuel offrant la possibilité d'enregistrer les indications du détecteur galvanométrique, nous en avons profité pour comparer dans de bonnes conditions les niveaux de bruit de certains étalons ; cette étude se poursuit.

Quant à la stabilité des étalons à diodes de Zener comme étalons de transfert, notre expérience est que certains d'entre eux sont plus stables qu'une pile étalon de qualité moyenne. Le gros avantage de certains étalons à diode de Zener est la courte durée (parfois 2 heures seulement) nécessaire pour que l'étalon retrouve sa tension d'équilibre après un voyage.

4.7.3. — Comparaison internationale à l'aide d'étalons de tension à diode de Zener

Une comparaison de force électromotrice avec la PTB a été effectuée en utilisant deux étalons voyageurs à diode de Zener qui ont été transportés de la PTB au BIPM le 10 juin 1987 mais qui ne sont pas retournés à la PTB directement. Les étalons étaient de deux types, le premier comportait une diode classique non thermorégulée, le deuxième une diode thermorégulée sur circuit intégré. Dans le cas de la diode classique, la dérive de la tension de sortie observée dans les deux laboratoires était très différente, ce qui nous amène à conclure que certaines caractéristiques de la diode ont changé au cours du voyage; cette comparaison n'a pas de valeur métrologique. Pour l'étalon à diode thermorégulée, deux méthodes de calcul des résultats sont envisageables.

La première méthode utilise l'extrapolation de la dérive à la date du transfert à l'aide de deux fonctions linéaires ajustées, par la méthode des moindres carrés, sur les résultats obtenus dans chaque laboratoire; elle donne :

$$V_{76-BI} - V_{PTB} = 0,055 \pm 0,021 \mu V,$$

où l'incertitude (écart-type) n'est que celle du type A et provient en grande partie de la détermination de la dérive depuis le transfert.

La deuxième méthode d'analyse suppose que la valeur de la dérive de l'étalon voyageur est celle déterminée durant plusieurs années à la PTB. Cette hypothèse est bien justifiée par le comportement de l'étalon; elle est adaptée à la situation présente où les deux séries de mesures sont voisines dans le temps et où les mesures retour n'auront pas lieu avant plusieurs mois. Cette méthode donne :

$$V_{76-BI} - V_{PTB} = 0,015 \pm 0,011 \mu V,$$

où l'incertitude (écart-type) n'est que celle du type A. Quel que soit le résultat retenu, cette comparaison démontre l'excellent comportement de certains étalons à diodes de Zener.

Un essai de comparaison d'étalons de force électromotrice avec le CSIRO, à l'aide d'une enceinte contenant quatre étalons à diode de Zener, a conduit à un échec, probablement à cause d'une interruption du courant de polarisation des diodes au cours du voyage. Nous avons observé sur la tension fournie par ces étalons des variations à court terme de l'ordre de 0,2 à 0,3 μV .

4.8. — Études courantes

Nous avons étudié 32 étalons de résistance, la plupart de 1 Ω ou de 10 k Ω , pour la Belgique, la Rép. Dém. Allemande, l'Irlande, la Finlande, la Rép. Pop. Dém. de Corée, la Hongrie, la Suisse, le Portugal

et, à notre demande, la France et le Royaume-Uni. Des comparaisons entre elles de nos résistances de référence de 10 k Ω ont été effectuées une fois par semaine.

Nous avons aussi étudié 36 étalons de force électromotrice (28 piles étalons, 8 étalons à diode de Zener) appartenant aux laboratoires nationaux des pays suivants: Rép. Dém. Allemande, Rép. Féd. d'Allemagne, Portugal, Israël, Suisse, Irak, Irlande, Tchécoslovaquie, Belgique, Australie. Les résultats des comparaisons avec des laboratoires réalisant le volt ou l'effet Josephson feront l'objet d'un rapport ultérieur.

La section d'électricité a en outre préparé deux documents d'une importance inhabituelle: d'une part une annexe au rapport de la 17^e session du CCE rassemblant les données relatives au volt, en liaison avec l'effet Josephson, et à l'ohm, en liaison avec l'effet Hall quantique, d'autre part un document technique concernant la mise en œuvre de l'effet Hall quantique pour les mesures de résistance de la plus haute exactitude.

5. Radiométrie, Photométrie (J. Bonhoure)

5.1. — Radiométrie

La décision du CIPM, prise en 1985, de reporter vers la radiométrie et la photométrie une partie des moyens consacrés jusqu'alors à la thermométrie est entrée dans les faits. Le laboratoire rendu libre par l'achèvement de la mesure des températures thermodynamiques par pyrométrie infrarouge (*voir* point 7) a été rénové complètement et installé pour la spectroradiométrie; on a, en particulier, veillé à ce que la salle soit alimentée en air soigneusement filtré et soit maintenue en permanence en légère surpression.

Le laboratoire est en cours d'équipement; on a déjà fait l'acquisition d'un laser à hélium-néon accordable et de diverses photodiodes au silicium. Un monochromateur double additif manuel, disponible au BIPM, sera automatisé; la paire de réseaux gravés, utilisable dans le visible et le proche infrarouge, sera complétée par deux autres paires de réseaux facilement interchangeables; le domaine spectral couvert ira ainsi de 250 à 2 500 nm.

Par ailleurs, un jeune physicien, de nationalité allemande, a été engagé pour étoffer le personnel de cette section; il doit entrer en fonction le 1^{er} novembre 1987.

On pense ainsi pouvoir entreprendre rapidement la première comparaison prévue, entre un radiomètre absolu et des diodes autocalibrées pour différentes radiations d'un laser.

5.2. — Photométrie

5.2.1. — Comparaison internationale

On rappelle qu'une comparaison d'étalons d'intensité et de flux lumineux a eu lieu en 1985 ; il s'agissait de lampes à incandescence envoyées au BIPM par quinze laboratoires nationaux. Les résultats provisoires de la comparaison ont été examinés par le CCPR lors de sa réunion du 30 septembre 1986 ; le rapport définitif a été établi et distribué ultérieurement⁽¹⁰⁾.

Cette comparaison a eu pour conséquence la décision, effective le 1^{er} janvier 1987, de modifier la valeur attribuée aux étalons conservés par le BIPM comme représentations de la candela et du lumen. Certains laboratoires nationaux ont fait part au BIPM d'un ajustement analogue, effectué le 1^{er} juillet 1987, de la valeur attribuée à leurs étalons.

Par ailleurs, lors de l'examen des résultats obtenus avec les étalons d'intensité lumineuse, on a observé un phénomène anormal. Huit laboratoires nationaux avaient envoyé au BIPM des lampes de deux types différents. Or, il est apparu que le rapport des deux types de lampes n'était pas évalué de la même façon par tous les laboratoires, qui se divisaient en deux groupes de quatre à peu près homogènes mais en désaccord de 0,4 % environ.

Un laboratoire de l'un des groupes (NPL), un laboratoire de l'autre groupe (INM) et le BIPM ont été chargés d'élucider la question. On a donc effectué de nouvelles mesures dans les trois laboratoires et étudié l'influence d'un certain nombre de paramètres mais, pour le moment, sans succès.

5.2.2. — Études courantes

En plus de la vérification de divers groupes de lampes appartenant au BIPM, on a contrôlé des lampes étalons d'intensité et de flux lumineux appartenant aux laboratoires nationaux de la Suède, de la Tchécoslovaquie et de la Yougoslavie.

6. Rayonnements ionisants (A. Allisy)

6.1. — Dosimétrie (A. Allisy)

6.1.1. — Rayons X (A.-M. Perroche *)

i) *Étalonnage de chambres d'ionisation*

Nous avons étalonné pour le National Institute of Radiation Protection (NIRP), Suède, deux chambres d'ionisation de type PTW

⁽¹⁰⁾ BONHOURE, J. Rapport sur la sixième comparaison des étalons nationaux d'intensité et de flux lumineux (1985). *BIPM Com. Cons. Phot. Radiométrie*, 11, 1986, Annexe P2.

dans le domaine des rayons X de faible énergie et deux chambres d'ionisation de Shonka dans celui des rayons X de moyenne énergie. Ces instruments servent d'étalon national d'exposition et sont régulièrement étalonnés au BIPM depuis 1976.

Les facteurs d'étalonnage de l'une des chambres PTW ont varié de 0,3 à 0,7 %, selon les qualités de rayonnement, depuis le précédent étalonnage en 1985, ce qui confirme l'évolution observée au NIRP depuis cette date. Ceux de l'autre chambre PTW n'ont pas varié de façon significative (écarts inférieurs à 0,2 %).

Les chambres de Shonka font preuve d'une bonne stabilité : leurs facteurs d'étalonnage sont en accord avec ceux de 1982 à mieux que 0,1 %.

Dans le domaine des rayons X de moyenne énergie, nous avons étalonné pour le Laboratoire de métrologie des rayonnements ionisants (LMRI), France, une chambre d'ionisation fabriquée par ce laboratoire et qui sert d'étalon national d'exposition. Nous avons aussi étalonné, à deux qualités de rayonnement (180 et 250 kV), deux chambres (l'une en graphite, l'autre en delrin) de l'Instituto de Radioprotecao e Dosimetria (IRD), Brésil, précédemment étalonnées au rayonnement du ^{60}Co et qui servent d'étalon dans ce domaine.

6.1.2. — Rayonnement γ du ^{60}Co (A.-M. Perroche *)

i) Amélioration des installations

L'activité de la source de 170 TBq, installée en 1976, n'était plus que de 41 TBq au 1^{er} janvier 1987, ce qui devenait insuffisant pour les comparaisons internationales, de nombreux laboratoires effectuant la mesure de la dose absorbée par la méthode calorimétrique. Une nouvelle source, d'une activité d'environ 170 TBq, a été commandée au CEA-ORIS (Saclay) et sera installée en septembre 1987. La source précédente a été déchargée en mai 1987 et des travaux de révision de la tête de téléthérapie seront effectués dans l'intervalle de temps séparant ces deux opérations.

Le précédent système d'acquisition de données, avec enregistrement sur cassettes, a été modifié. L'enregistrement des données s'effectue maintenant directement sur ordinateur IBM PC. Les programmes d'exploitation ont été adaptés.

ii) Comparaison d'étalons d'exposition

L'étalon primaire d'exposition de l'Országos Mérésügyi Hivatal (OMH), Hongrie, a été comparé à l'étalon du BIPM. C'est une chambre d'ionisation en graphite, de fabrication autrichienne (Österreichisches Forschungszentrum). Le résultat de cette comparaison est satisfaisant : $X_{\text{OMH}}/X_{\text{BIPM}} = 1,0009 \pm 0,0025$.

iii) *Étalonnage de chambres d'ionisation*

Deux chambres d'ionisation de type Shonka, utilisées comme étalons secondaires d'exposition par le NIRP (Suède), ont été étalonnées. Nous avons constaté une excellente stabilité de ces chambres depuis 1982, époque du précédent étalonnage: les facteurs d'étalonnage sont en accord à 0,02 % près.

Les chambres Exradin, utilisées comme chambres de transfert dans la comparaison internationale de mesures de kerma de neutrons organisée par le BIPM (Rapport 1986, p. 94), ont été étalonnées à nouveau en décembre 1986 et janvier 1987. Les facteurs d'étalonnage ont varié d'environ 0,2 % depuis l'étalonnage de juillet 1986.

iv) *Dose absorbée dans le graphite*

— *Comparaisons*

Deux comparaisons de dose absorbée dans le graphite ont eu lieu. La première a été effectuée entre l'étalon ionométrique du BIPM et l'étalon calorimétrique de l'OMH, à six profondeurs dans le graphite correspondant à des masses surfaciques comprises entre 0,88 et 7,08 g/cm². Les résultats préliminaires sont en bon accord.

La deuxième comparaison est une comparaison indirecte entre l'étalon ionométrique du BIPM et l'étalon calorimétrique du National Physical Laboratory (NPL), Royaume-Uni. Deux chambres d'ionisation placées dans un fantôme de graphite de dimensions réduites ont été utilisées comme instruments de transfert. La comparaison a eu lieu à une profondeur dans le graphite de 5,5456 g/cm². L'écart obtenu est de 0,5 % entre les facteurs d'étalonnage N_C déterminés au NPL et au BIPM. Cette valeur peut être considérée comme satisfaisante, étant donné les incertitudes qui entrent dans ce type de comparaison.

— *Correction de perturbation pour une chambre à cavité du type « dé à coudre »*

La détermination de la correction de perturbation introduite par une chambre à cavité en graphite, cylindrique et en forme de dé à coudre, au sein d'un fantôme de graphite, a été effectuée expérimentalement, avec la participation de C.E. de Almeida (IRD), pendant son stage au BIPM. La chambre est l'un des étalons nationaux secondaires d'exposition de l'IRD (Rapport 1986, p. 80); elle est placée à une profondeur de 5 g/cm² dans un disque de graphite appartenant à l'IRD. Les autres disques constituant le fantôme provenaient du BIPM.

Le volume de cette chambre est connu et les facteurs de correction nécessaires, autres que celui pour la perturbation, ont été déterminés. L'axe de la chambre est placé dans le plan de référence et nous avons effectué des mesures à quatre profondeurs entre 4 et 15 g/cm². À partir de ces mesures, et en utilisant l'étalon du BIPM comme référence, nous avons déterminé le facteur de correction de perturbation pour la chambre

de l'IRD. Il varie de 0,97 à 0,955 lorsque la profondeur dans le graphite varie de 4 à 15 g/cm² (fig. 13). L'incertitude est de l'ordre de 0,2 %. La correction est plus importante que celle qui est déterminée pour la chambre du BIPM ; sa valeur est, en effet, liée à la taille de la cavité de la chambre.

Ce travail, décrit dans le Rapport BIPM-86/12, apporte une première contribution à la détermination expérimentale de la correction de perturbation pour ce type de chambre.

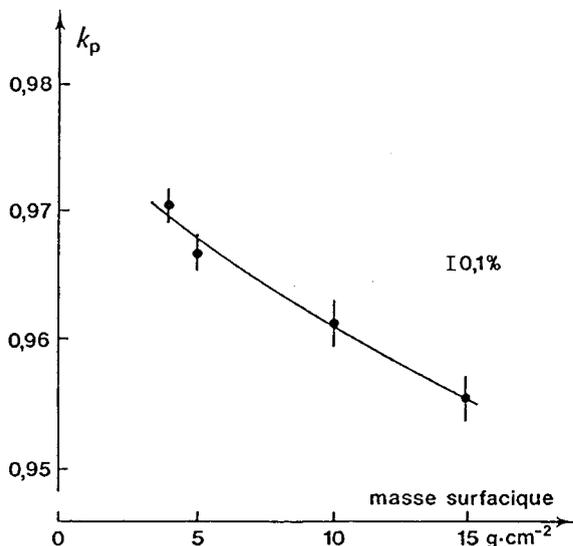


Fig. 13. — Correction de perturbation pour une chambre à cavité du type « dé à coudre », en fonction de la « profondeur » dans le fantôme de graphite.

v) Comparaisons de dose absorbée dans l'eau

Conformément à la Recommandation R(I)-3 (1985) de la Section I (Rayons X et γ , électrons) du CCEMRI, l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), Vienne, qui organisait une comparaison en Amérique latine au moyen de dosimètres thermoluminescents, en a envoyé plusieurs au BIPM. Ces dosimètres ont été irradiés dans le fantôme d'eau du BIPM et ont reçu une dose absorbée égale à 2 Gy. Les résultats des mesures faites à leur retour à l'AIEA ne nous ont pas encore été communiqués.

Une comparaison indirecte de dose absorbée dans l'eau a eu lieu avec le NPL. Les instruments de transfert sont les mêmes que ceux qui ont été utilisés pour la comparaison de dose absorbée dans le graphite. Ils étaient placés dans le fantôme d'eau du NPL. Le NPL a déterminé, par la méthode du « photon-fluence scaling theorem », le rapport N_w/N_C des facteurs d'étalonnage dans l'eau et dans le graphite. De ce rapport

et du facteur d'étalonnage N_C déterminé pour la comparaison de dose absorbée dans le graphite, il a déduit la valeur de N_w . Le BIPM a déterminé le facteur d'étalonnage N_w en utilisant la valeur de la dose absorbée dans l'eau obtenue théoriquement au BIPM à partir de la dose absorbée mesurée dans le graphite (*voir* Rapport BIPM-81/2). On a trouvé un écart de l'ordre de 0,2 % entre les facteurs d'étalonnage ainsi déterminés au NPL et au BIPM. Cet écart n'est pas significatif étant donné les incertitudes actuelles sur les déterminations de la dose absorbée dans l'eau.

vi) *Équivalent de dose*

On a présenté dans le rapport de 1986 le principe de la détermination de l'équivalent de dose ambiant, H , à une profondeur de 1 g/cm^2 dans une sphère en matériau équivalent au tissu humain (TE). Des séries de mesures ont été effectuées durant une période de deux mois. L'exposition, X , et le kerma dans l'air, K_a , ont été aussi mesurés. On a obtenu une valeur expérimentale du rapport $H/K_a = 1,1450 \text{ Sv/Gy}$.

Cette valeur a été comparée à la valeur théorique obtenue par M. Boutillon. L'écart obtenu, 0,2 %, qui est compatible avec les incertitudes estimées (0,25 %), corrobore la validité de la détermination de l'équivalent de dose ambiant.

Le travail qui va maintenant être entrepris est celui de la détermination de l'équivalent de dose directionnel.

6.1.3. — **Mesures neutroniques (V. D. Huynh)**

i) *Comparaison de mesures de débit de fluence*

Rappelons que, sous la coordination du NPL, une petite comparaison de mesures de débit de fluence de neutrons (2,50 MeV et 14,8 MeV) est en cours entre le BIPM, la PTB, le BCMN et le NPL (Rapport 1986, p. 95). Les instruments de transfert utilisés sont deux sphères de Bonner de diamètres différents (8,89 cm et 24,13 cm). Un même compteur sphérique à ^3He (Centronic, type SP90, diamètre 3,62 cm) est placé au centre de ces sphères. Les mesures du BIPM sont terminées depuis 1986, celles de la PTB sont terminées.

ii) *Comparaison internationale de mesures de débit de kerma*

La comparaison internationale de mesures de débit de kerma dans un matériau équivalent au tissu (TE), organisée par le BIPM avec circulation des instruments de transfert fournis par le BIPM, est toujours en cours. Jusqu'à présent, outre le BIPM, sept laboratoires (TNO, NPL, PTB, ETL, NBS, IAEB et NIM) ont participé à la comparaison. Quatre d'entre eux ont fait parvenir leur rapport au BIPM.

L'analyse préliminaire des résultats semble montrer qu'un bon accord est généralement obtenu pour les valeurs du kerma total, K_{tot} , ou du

kerma dû aux neutrons, K_N . Par contre, des écarts relativement importants sont observés pour les valeurs du kerma de la composante γ , K_G . Les tableaux I et II résument les résultats de l'analyse préliminaire faite au BIPM ou par les participants selon les différentes conditions de comparaison. Dans ces tableaux, les résultats sont donnés pour deux combinaisons, une chambre équivalente au tissu (TE) étant associée soit à un compteur de Geiger-Müller (GM), soit à une chambre magnésium-argon (Mg/Ar), et ils sont normalisés en prenant les valeurs obtenues avec l'équipement du BIPM égales à l'unité.

TABLEAU I

Comparaison des résultats de mesures de kerma dans le TE obtenus respectivement avec l'équipement local et avec l'équipement du BIPM, ce dernier étant étalonné dans un faisceau local de photons (^{137}Cs ou ^{60}Co) et avec les facteurs de correction déterminés par les participants

Équipement	TE + GM			TE + Mg/Ar		
	K_N	K_G	K_{tot}	K_N	K_G	K_{tot}
BIPM	1	1	1	1	1	1
TNO	1,006	0,922	1,001	0,986	1,286	1,000
NPL	1,005	0,706	1,000	1,016	0,474	1,000
PTB	1,000	1,027	1,000	1,001	0,895	1,000
NBS	0,996	0,615	0,976	0,970	0,758	0,975

TABLEAU II

Comparaison des résultats de mesures de kerma dans le TE obtenus respectivement avec l'équipement local et avec l'équipement du BIPM, ce dernier étant étalonné dans un faisceau de rayons γ du ^{60}Co du BIPM et avec les facteurs de correction déterminés par le BIPM

Équipement	TE + GM			TE + Mg/Ar		
	K_N	K_G	K_{tot}	K_N	K_G	K_{tot}
BIPM	1	1	1	1	1	1
TNO	1,001	0,848	0,990	0,986	1,039	0,989
NPL	1,004	0,793	1,001	1,014	0,524	1,001
PTB	0,985	1,086	0,986	0,990	0,786	0,987
NBS	0,977	0,615	0,959	0,952	0,718	0,958

L'analyse a aussi été effectuée en utilisant les facteurs de correction normalisés aussi bien pour les photons que pour les neutrons, mais cela ne modifie pas sensiblement les résultats de la comparaison.

iii) *Taux d'émission de la source étalon Ra-Be(α , n) du BIPM*

Afin de contrôler la reproductibilité à long terme des mesures du taux d'émission de neutrons de notre source étalon Ra-Be(α , n), et

aussi à l'occasion du stage de C.E. de Almceida (IRD), nous avons effectué une mesure absolue du taux d'émission, Q , de la source par la méthode du bain de manganèse. Les résultats de cette mesure, ainsi que ceux des deux mesures précédentes (1969 et 1978), sont donnés dans le tableau III. On observe une différence de 0,2 % entre la mesure du 3 décembre 1986 et celles du 1^{er} octobre 1969 et du 18 octobre 1978. Cette différence n'est pas significative, l'incertitude des mesures étant de 0,3 % (écart-type).

TABLEAU III

*Reproductibilité des mesures du taux d'émission
de la source étalon Ra-Bc(α , n) du BIPM*

Date	1969-10-01	1978-10-18	1986-12-03
Taux d'émission, Q , de la source à la date de la mesure (s^{-1})	$3,259 \times 10^6$	$3,3205 \times 10^6$	$3,357 \times 10^6$
Facteur de croissance de la source.....	1	1,019	1,032
Q à la date de référence (1969-10-01) (s^{-1}).....	$3,259 \times 10^6$	$3,259 \times 10^6$	$3,253 \times 10^6$

6.2. — Radionucléides (J. W. Müller)

6.2.1. — Mesures d'activité (J. W. Müller, G. Ratcl)

La mesure de la grandeur activité requiert des techniques très diverses selon le nucléide étudié. Ces méthodes, le plus souvent développées par les grands laboratoires nationaux et ensuite perfectionnées par beaucoup d'autres, visent à une détermination de plus en plus précise de cette importante grandeur. L'exactitude des résultats obtenus dépend fortement des caractéristiques de la désintégration. Pour atteindre le but envisagé par le BIPM, qui est une amélioration de la fiabilité et de l'uniformité des résultats sur le plan international, deux approches différentes peuvent être envisagées. La première consiste à organiser périodiquement des comparaisons internationales de radionucléides judicieusement choisis et qui présentent un intérêt du point de vue de la physique ainsi que des applications. Le succès de ces comparaisons, qui exigent un effort particulier de la part des participants, se confirme au fil des années par le constant intérêt que ceux-ci leur témoignent, sans doute en se rendant compte qu'ils possèdent là un moyen essentiel de contrôler leurs propres méthodes. La deuxième approche repose sur le Système international de référence (SIR), maintenant bien établi parmi la communauté métrologique. Il est vrai que le SIR ne permet que la mesure relative de l'activité d'émetteurs de rayonnement γ par rapport à des sources de référence à décroissance très lente (par exemple de ^{226}Ra , $T_{1/2} \approx 1\,600$ a), mais cet inconvénient est largement compensé par le gain en stabilité du système et par son domaine d'application beaucoup plus étendu.

i) Comparaisons internationales de mesures d'activité

a) ^{109}Cd . — La comparaison internationale de mars 1986 a été analysée en détail et un projet de rapport est disponible. Il a été présenté à la réunion de juin 1987 de la Section II du CCEMRI, au cours de laquelle il a été très soigneusement discuté. Le rapport définitif, tenant compte des remarques faites à cette occasion par les participants, sera publié prochainement sous forme de rapport BIPM.

Dix-huit laboratoires ont pris part à la comparaison de ce radionucléide particulièrement difficile à mesurer et ont mis en œuvre de nombreuses méthodes pour déterminer l'activité massique A de la solution distribuée. La figure 14 présente les résultats et les méthodes employées. La dispersion totale des résultats s'élève à 2,6 %. Une valeur moyenne pondérée $A = (5992 \pm 7)$ Bq/mg a été obtenue. La valeur de l'activité massique de la solution de ce radionucléide déterminée par le SIR y figure aussi et est en bon accord avec les autres résultats.

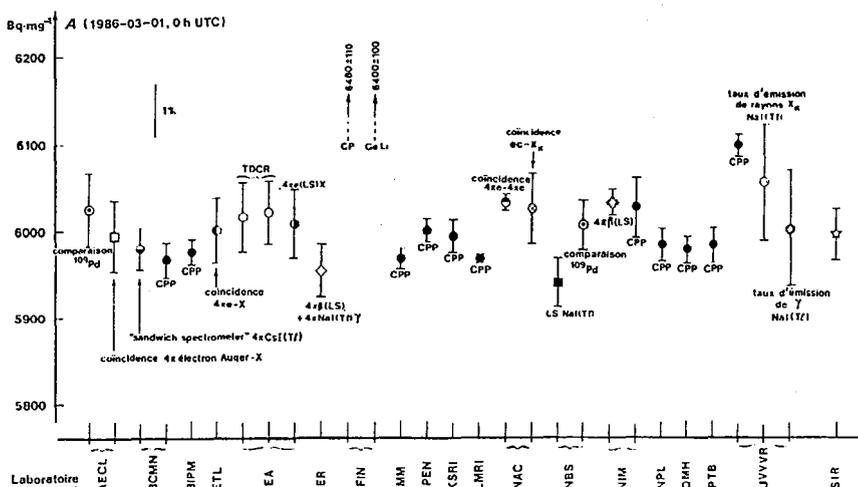


Fig. 14. — Résultats de la comparaison internationale de ^{109}Cd .

La méthode utilisée est indiquée sommairement pour chaque résultat : CP, compteur proportionnel ; CPP, compteur proportionnel à pression ; TDCR, rapport des coïncidences doubles et triples ; LS, scintillateur liquide. La valeur déterminée au BIPM à l'aide du SIR figure à l'extrême droite.

b) ^{125}I . — Conformément à la décision prise par la Section II du CCEMRI en 1985, une comparaison restreinte de mesures de l'activité massique d'une solution de ^{125}I a été entreprise. Sept laboratoires (AECL, BCMN, BIPM, IER, LMRI, OMH et PTB) y ont participé. La solution a été préparée, conditionnée et envoyée aux participants par l'OMH. Les résultats de six laboratoires ont été présentés sous forme de rapport préliminaire à la Section II. La figure 15 montre les

résultats et indique les quatre méthodes utilisées. La dispersion totale des résultats obtenus est de 1,7 %. La méthode des « sum peaks » décrite par Eldridge et Crowther⁽¹¹⁾, quoique simple en principe, a conduit à des résultats assez dispersés.

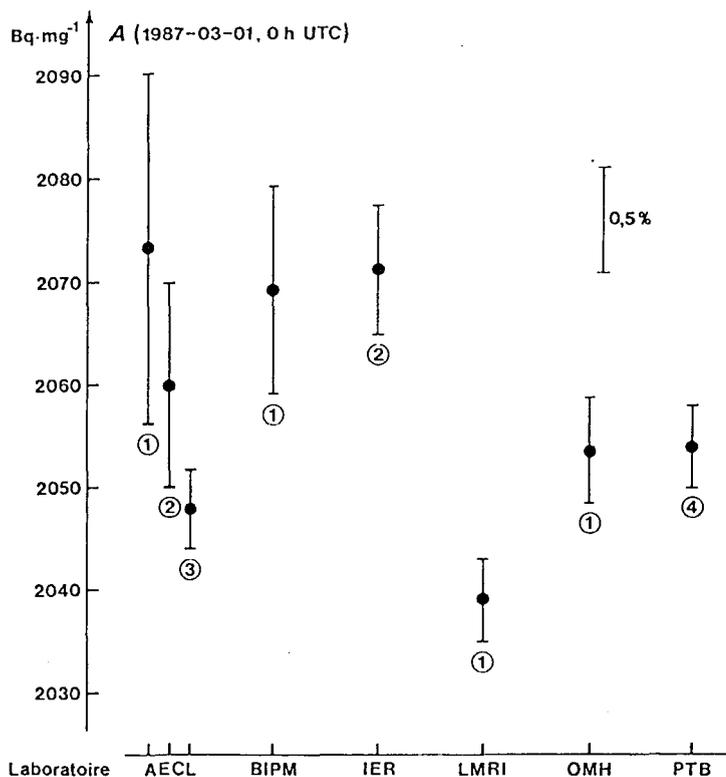


Fig. 15. — Résultats de la comparaison restreinte de ¹²⁵I.

Les numéros font référence aux méthodes suivantes : 1, méthode des « sum peaks »⁽¹¹⁾ ; 2, comptage par coïncidence X-X⁽¹²⁾ ; 3, extrapolation de l'efficacité des coïncidences 4πc-X ; 4, comptage des coïncidences photon-photon associé à une méthode d'extrapolation de l'efficacité.

ii) Participation à la comparaison internationale restreinte de ¹²⁵I (G. Ratel)

Le BIPM a fait usage de la méthode des « sum peaks » pour déterminer l'activité massique de la solution de ¹²⁵I. Cette méthode, qui est utilisable pour tout radionucléide émettant, comme le ¹²⁵I, des

⁽¹¹⁾ ELDRIDGE, J. S. and CROWTHER, P. Absolute determination of ¹²⁵I. *Nucleonics*, **22**, 6, 1964, pp. 56-59.

⁽¹²⁾ TAYLOR, J. G. V. X-ray-X-ray coincidence counting methods for the standardization of ¹²⁵I and ¹⁹⁷Hg. *In Standardization of Radionuclides*. IAEA, Vienna, 1967, pp. 341-354.

photons sensiblement en coïncidence — la période du niveau intermédiaire du ^{125}I n'est que de 1,5 ns — est facilement mise en œuvre. Un seul détecteur NaI(Tl), qui a une grande efficacité, associé à un sélecteur multicanal qui donne le spectre en énergie, suffit pour mesurer la grandeur recherchée. D'après la référence⁽¹⁾, l'activité massique de la source s'obtient par l'intermédiaire de la relation

$$A = \frac{P' P''}{(P' + P'')^2} \frac{(A_1 + 2A_2)^2}{A_2},$$

où A_1 et A_2 sont les nombres effectifs d'impulsions enregistrées dans les

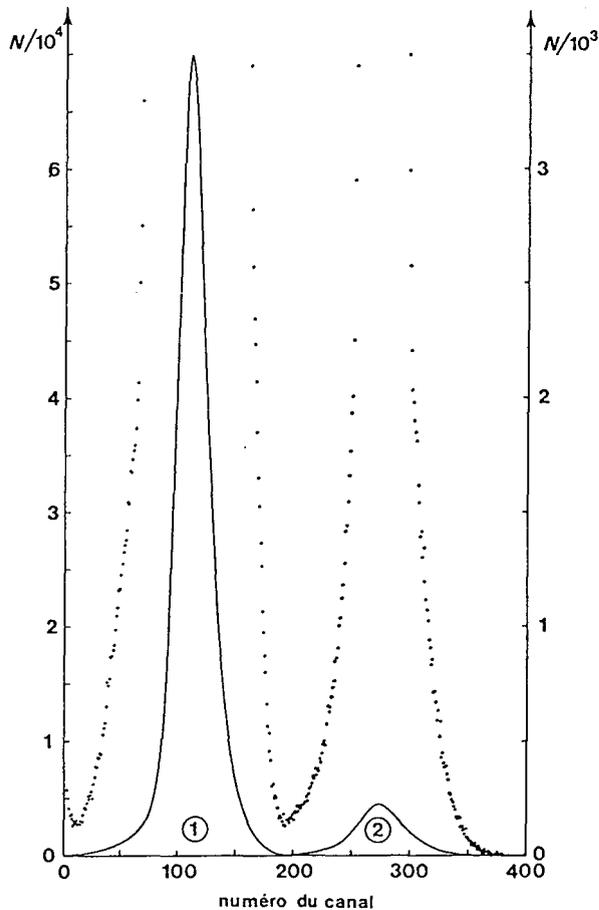


Fig. 16. --- Spectre typique du ^{125}I .

La raie 1 donne la somme des événements individuels ; la raie 2 donne la somme des événements en coïncidence. En ordonnées : nombre N d'impulsions enregistrées dans chaque canal. La courbe en trait plein correspond à l'échelle de gauche ; la courbe en pointillés représente les mêmes valeurs avec des ordonnées multipliées par 20 et correspond à l'échelle de droite.

raies spectrales correspondant aux événements individuels et aux événements en coïncidence (fig. 16). P' et P'' sont les probabilités d'émission des deux rayonnements apparaissant dans la décroissance du ^{125}I .

Cette méthode donne de bons résultats si une source de faible activité est utilisée pour limiter les empilements d'impulsions. La contribution essentielle à l'incertitude de cette méthode provient du dépouillement des résultats, par suite du recouvrement des deux raies dans la région intermédiaire. L'extrapolation vers l'énergie zéro représente une autre difficulté de la méthode.

Au BIPM on a mesuré, pour cette précomparaison, 31 sources de masse m comprise entre environ 18 et 75 mg. Comme le montre la figure 17, l'activité massique ainsi déterminée semble dépendre de la masse. Dans ces conditions, il est naturel de faire une extrapolation

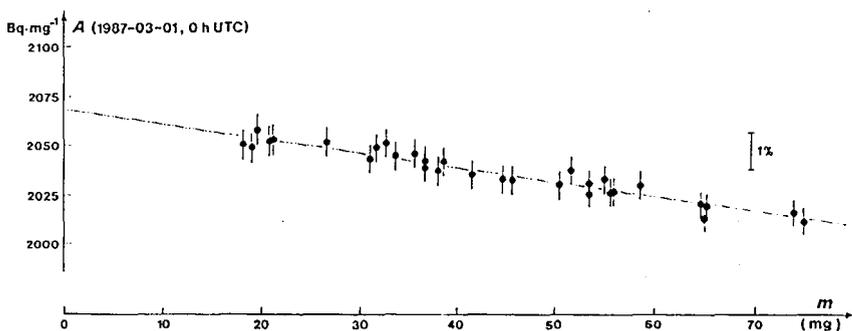


Fig. 17. — Dépendance apparente de l'activité massique mesurée A en fonction de la masse m de la source.

vers $m = 0$ pour trouver l'activité massique recherché, puisque vers cette limite les coïncidences fortuites disparaissent. Ainsi, on a obtenu la valeur

$$A = (2\,069 \pm 10) \text{ kBq/mg.}$$

iii) *Système international de référence pour la mesure d'activité d'émetteurs de rayons γ (SIR)*

Comme par le passé, le SIR continue à intéresser les laboratoires. Son parfait fonctionnement requiert une vérification régulière des deux chambres d'ionisation au moyen des cinq sources de référence ainsi que le contrôle des appareillages électroniques permettant l'acquisition des données. Depuis octobre 1986, neuf laboratoires ont envoyé 22 ampoules contenant des solutions de douze radionucléides différents. Ces envois réguliers montrent l'utilité du Système international de référence.

6.2.2. — Statistiques de comptage (J. W. Müller)

Notre préoccupation majeure a été de progresser dans l'utilisation des possibilités offertes par des temps morts généralisés, qui se révèlent être un outil très prometteur tant sur le plan théorique que sur le plan expérimental. La disponibilité de circuits électroniques appropriés permettant le contrôle des prévisions encourage leur développement.

Nous allons d'abord illustrer ce propos par un premier pas visant à développer une méthode pour la mesure directe d'un temps mort généralisé qui n'est pas directement accessible. Le second exemple concerne une application qui est plutôt d'un intérêt théorique.

i) Détermination du facteur de transmission T_1 pour un premier temps mort généralisé

Les arrangements de deux temps morts en série sont en général difficiles à traiter et suscitent peu d'enthousiasme. Pourtant, ils sont d'un intérêt pratique indéniable. Leur manque de popularité, cependant, est aussi dû au fait que les solutions connues correspondent le plus souvent à des situations peu réalistes. La raison principale en est que le premier temps mort τ_1 est presque toujours mal connu, alors que les formules le supposent bien déterminé, en valeur et en type.

Pour sortir de cette impasse, il faudrait donc développer de nouvelles méthodes de mesure pour déterminer τ_1 , mais aussi dériver des formules qui permettent d'utiliser cette information, par exemple pour en déduire une valeur plus fiable du taux de comptage d'une source radioactive.

Si l'on réfléchit un peu à ces problèmes, on se rend compte que les deux tâches sont liées. On peut même trouver une approche qui permet de les résoudre pratiquement en même temps.

Un premier pas dans cette direction nécessite la connaissance du facteur de transmission appelé T_1 . Il apparaît dans la description d'un arrangement de deux temps morts en série où le taux à la sortie est donné par (fig. 18)

$$R = \rho T_1 T_2.$$



Fig. 18. — Arrangement schématique de deux temps morts en série, avec les taux de comptage d'entrée et de sortie.

Dans cette formule ρ est le taux (originel) à l'entrée de l'arrangement, que l'on cherche à déterminer, T_2 décrit les pertes dues à τ_2 seul et T_1 tient compte de l'influence supplémentaire de τ_1 .

On connaît depuis longtemps des formules qui donnent T_1 en fonction du rapport $\alpha = \tau_1/\tau_2$ et des types respectifs des deux temps morts, qui peuvent être non étendu (N) ou étendu (E). Elles sont assez

simples, à l'exception du cas « N, N » qui ne se traite que péniblement. Pour ce qui suit, il est pratique de les donner sous forme de développements en série, et on peut trouver (avec $x = \rho \tau_2$) que

$$T_1(N, N) \approx 1 - \frac{1}{2} \alpha^2 x^2 + \frac{1}{2} (1 + \alpha) \alpha^2 x^3, \quad \text{pour } \alpha \leq 1/3,$$

$$T_1(E, N) \approx 1 - \frac{1}{2} \alpha^2 x^2 + \frac{1}{6} (3 - \alpha) \alpha^2 x^3, \quad \text{pour } \alpha \leq 1,$$

$$T_1(N, E) \approx 1 + \frac{1}{2} \alpha^2 x^2 - \frac{1}{3} \alpha^3 x^3, \quad \text{pour } \alpha \leq 1,$$

$$T_1(E, E) \approx 1 + \frac{1}{2} \alpha^2 x^2 + \frac{1}{3} \alpha^3 x^3, \quad \text{pour } \alpha \leq 1/3.$$

Ces formules permettent de voir qu'il n'y a pas de terme proportionnel à $\tau_1 = \alpha \tau_2$; l'effet dû à τ_1 apparaît pour la première fois sous la forme $\pm \frac{1}{2} (\rho \tau_1)^2$, où le signe dépend du type du deuxième temps mort. Cette observation, combinée avec ce que l'on connaît déjà d'un temps mort généralisé, permet de prévoir que l'influence du type de τ_1 , exprimé par θ , n'apparaîtra que dans le terme de troisième ordre en x , et sous forme linéaire.

Il est maintenant facile d'écrire la forme explicite de l'influence du type du premier temps mort, compte tenu de ce qui vient d'être dit et des formes limites connues pour les types $N(\theta = 0)$ et $E(\theta = 1)$. Ainsi on trouve (pour $\alpha \leq 1/3$)

$$T_1(\theta, N) \approx 1 - \frac{1}{2} \alpha^2 x^2 + \frac{1}{6} [3 + (3 - 4\theta)\alpha] \alpha^2 x^3,$$

$$T_1(\theta, E) \approx 1 + \frac{1}{2} \alpha^2 x^2 - \frac{1}{3} (1 - 2\theta) \alpha^3 x^3.$$

Ces résultats, auxquels nous sommes arrivés par des raisonnements heuristiques, gagneraient en crédibilité si l'un ou l'autre pouvait être confirmé indépendamment. Cela est en effet possible (quoique bien long) pour $T_1(\theta, E)$, nous affranchissant ainsi d'éventuels doutes.

Le bon achèvement de cette première étape a été assez pénible, mais il est décisif pour le développement d'une méthode permettant la mesure directe de τ_1 et θ , partie qui sera décrite quand les mesures seront terminées.

ii) *Transformation servant à « normaliser » une distribution de Poisson perturbée*

Pour des raisons de commodité, il peut être souhaitable de transformer une variable X , qui est asymétrique, par une fonction appropriée $g(X) = Y$ en une nouvelle variable de telle façon que Y suive une distribution normale, au moins pour $X \gg 1$. On sait que, si μ et σ^2

décrivent l'espérance et la variance de X , et en admettant que $\sigma = f(\mu)$ s'exprime comme une fonction connue, une transformée approximative s'obtient à l'aide de la relation

$$Y = g(X) \approx c \int_0^x \frac{d\mu}{f(\mu)} \Big|_{\mu=x},$$

où c est une constante.

Pour le cas d'un processus de Poisson perturbé par un temps mort τ de type traditionnel, les résultats sont (avec $x = \rho\tau$)

— pour un temps mort non étendu,

$$\text{où} \quad \mu_n = \frac{\rho\tau}{1+x} \quad \text{et} \quad \sigma_n^2 = \frac{\rho\tau}{(1+x)^3},$$

donc $\sigma_n = f(\mu_n) = \sqrt{\mu_n} (1 - \mu_n\tau/t)$, d'où

$$Y = g_n(X) \approx 2c \sqrt{t/\tau} \operatorname{artgh} \sqrt{X\tau/t};$$

— pour un temps mort étendu,

$$\text{où} \quad \mu_e = \rho t e^{-x} \quad \text{et} \quad \sigma_e^2 = \left(\frac{e^x - 2x}{e^{2x}} \right) \rho t,$$

donc $\sigma_e = f(\mu_e) = \sqrt{\mu_e} \sqrt{1 - 2\mu_e\tau/t}$, d'où

$$Y = g_e(X) \approx 2c \sqrt{t/2\tau} \arcsin \sqrt{2X\tau/t}.$$

M. C. Teich (Columbia Univ., New York), qui a obtenu ces résultats⁽¹³⁾, nous a demandé d'étudier le problème analogue pour un temps mort généralisé. Voici un bref résumé des résultats obtenus.

Dans le cas général il faut partir des relations

$$\mu = \frac{\theta\rho t}{e^{\theta x} + \theta - 1}$$

et

$$\sigma^2 = \frac{[e^{\theta x}(e^{\theta x} - 2\theta x) + \theta^2 - 1]\theta\rho t}{(e^{\theta x} + \theta - 1)^3}.$$

Pour exprimer σ en fonction de μ , quelques arrangements fastidieux (décrits dans le Rapport BIPM-86/8) sont nécessaires pour des

⁽¹³⁾ TEICH, M. C., Normalizing transformations for dead-time-modified Poisson counting distributions. *Biol. Cybern.*, 53, 1985, pp. 121-124.

développements en série. On finit par trouver (en se limitant aux termes X^3), avec $\eta = \tau/t$,

$$g(X) \approx 2c\sqrt{X} \left[1 + \frac{1}{3}\eta X + \frac{1}{5}\left(1 + \frac{1}{2}\theta\right)(\eta X)^2 + \frac{1}{7}\left(1 + \frac{4}{3}\theta + \frac{1}{6}\theta^2\right)(\eta X)^3 \right].$$

Il s'ensuit que ces développements deviennent, dans les cas limites correspondant aux types habituels de temps mort,

— pour $\theta = 0$:

$$g_n(X) \approx 2c\sqrt{X} \left[1 + \frac{1}{3}\eta X + \frac{1}{5}(\eta X)^2 + \frac{1}{7}(\eta X)^3 \right], \text{ et}$$

— pour $\theta = 1$:

$$g_c(X) \approx 2c\sqrt{X} \left[1 + \frac{1}{3}\eta X + \frac{3}{10}(\eta X)^2 + \frac{5}{14}(\eta X)^3 \right].$$

Ces résultats sont en accord avec les expressions exactes données auparavant qui s'écrivent également sous la forme

$$g_n(X) = 2c\sqrt{X} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{2k+1} (\eta X)^k$$

et

$$g_c(X) = 2c\sqrt{X} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(2k-1)!!}{(2k+1)k!} (\eta X)^k.$$

Il est possible d'exprimer la formule générale par la série

$$g(X) = 2c\sqrt{X} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(\eta X)^k}{(2k+1)k!} \sum_{j=0}^k \mu(k, j)\theta^{k-j},$$

où les premiers coefficients $\mu(k, j)$ sont rassemblés dans le tableau IV (on les a évalués jusqu'à $k \leq 8$).

TABLEAU IV

Valeurs numériques des coefficients $\mu(k, j)$ apparaissant dans la transformation $g(X)$

	$j = 0$	1	2	3	4	5
$k = 0$	1					
1	0	1				
2	0	1	2			
3	0	1	8	6		
4	0	1	24	56	24	
5	0	1	64	360	400	120

Ils ont la propriété $\sum_{j=0}^k \mu(k, j) = (2k - 1)!!$, mais leur loi générale, par exemple sous forme d'une récurrence, reste à découvrir.

iii) *Autres travaux*

Il convient de mentionner en particulier le Rapport BIPM-85/14 qui explique le principe de l'échantillonnage sélectif « aveugle », pour lequel on n'a plus besoin de convertisseur de vitesse. Cette description n'a pas été distribuée auparavant car une demande de brevet était envisagée. Or, l'indiscrétion de visiteurs, auxquels la méthode avait été décrite, a mis fin à ce projet.

Deux études concernent des applications mathématiques. Dans la première (Rapport BIPM-86/16) on détermine le degré de corrélation introduit dans des données indépendantes en formant des différences successives ou des lissages. Dans la seconde (Rapport BIPM-87/1) sont calculés les coefficients qui apparaissent si l'on forme des puissances (réelles) d'une série formelle. Ce problème a trouvé une solution générale, grâce à une idée de P. Carré.

Pour des manuels en préparation à l'AIEA (Vienne) et l'ISO (Genève), nous avons rédigé des contributions pour les chapitres concernant l'expression d'incertitudes expérimentales.

7. Thermométrie (J. Bonhoure)

La plus grande partie de l'activité de cette section a été consacrée à la mesure des températures thermodynamiques par pyrométrie infrarouge, mesure qu'il y avait lieu d'achever avant la réunion du Comité Consultatif de Thermométrie (9-11 juin 1987) et pour tenir compte des orientations décidées par le CIPM en 1985.

7.1. — Échelle internationale pratique de température

Thermomètres à résistance de platine pour la mesure des températures moyennes. — Dans le rapport de 1986 (p. 70), on indiquait que les thermomètres à résistance de platine placés dans les corps noirs pyrométriques avaient un comportement beaucoup plus satisfaisant depuis qu'ils étaient utilisés en position horizontale et non plus verticale tête en bas. L'expérience portait seulement sur le domaine de température 560-630 °C. L'achèvement des mesures pyrométriques a confirmé ce résultat pour des températures plus basses, jusqu'à 420 °C.

Entre novembre 1985 et avril 1987, les thermomètres ont été placés 150 fois environ dans les corps noirs pour une période de 19 heures et leur R_0 a été contrôlé après chaque période. Pour trois thermomètres, on a observé une diminution de R_0 à peu près régulière au cours du temps, alors que la température passait de 630 à 420 °C par paliers de

trente degrés environ. La variation ΔT de température qui correspondait à la variation ΔR_0 de résistance pour une période de 19 heures a été de :

Thermomètre	ΔT
T 236007	-0,05 mK
T 236009	-0,13
T 246139	-0,25

Le quatrième thermomètre (T 238670) a montré un comportement un peu différent : on a d'abord observé dans le domaine de 630 à 550 °C une variation de R_0 par période de 19 heures correspondant à un ΔT de -0,11 mK, puis une stabilité autour de 500 °C, enfin une variation de +0,45 mK dans le domaine de 470 à 420 °C.

7.2. — Températures thermodynamiques : étude par pyrométrie infrarouge

On rappelle que la méthode consiste à comparer les luminances de deux cavités « corps noir » à une longueur d'onde voisine de 1 μm ; les températures sont déterminées dans l'EIPT à l'aide de thermomètres à résistance de platine placés au voisinage des cavités. Si la différence $T - T_{68}$ est connue à la température de référence (420 °C), on en déduit $T - T_{68}$ aux autres températures par application de la loi de Planck.

En pratique, bien que les deux cavités soient aussi identiques que possible, la comparaison des luminances est faite sur la même cavité,

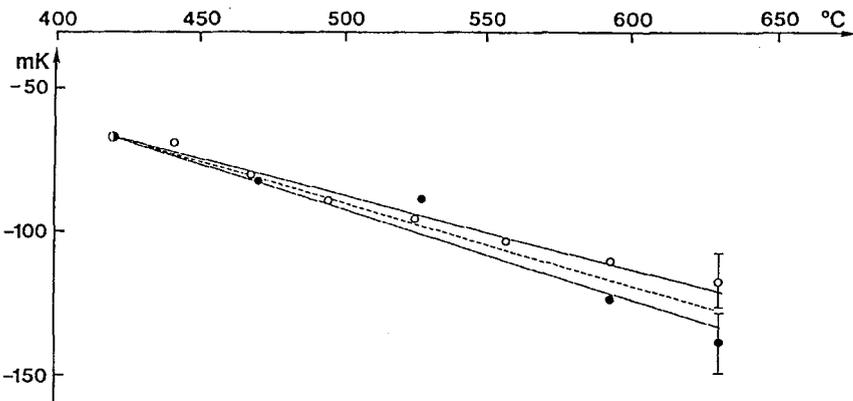


Fig. 19. — Différence $(T - T_{68})$ entre 420 et 630 °C.

La valeur de référence à 420 °C est l'écart $(T - T_{68}) = -67$ mK obtenu par L. A. Guildner avec le thermomètre à gaz du NBS.

Cercles noirs : mesures de 1982 ; cercles blancs : mesures de 1986-1987.

l'autre servant de tare; les rôles des cavités (tare et mesure) sont, toutefois, régulièrement échangés par souci de symétrie.

Entre janvier 1986 et avril 1987, on a effectué un ensemble de mesures couvrant le domaine de température de 630 à 420 °C, en utilisant les nouveaux fours horizontaux décrits dans le rapport de 1985 (p. 81). Les résultats obtenus sont indiqués à la figure 19; l'écart-type, indiqué seulement à 630 °C où il atteint la valeur la plus élevée, est de 10 mK.

Ces résultats sont à rapprocher de ceux déjà obtenus en 1982 avec des fours verticaux (Rapport 1984, p. 61) et qui sont aussi indiqués sur la figure; toutefois, au préalable, ils ont été recalculés en pondérant le résultat propre à chaque série de mesure de façon inversement proportionnelle à la variance. L'écart-type à 630 °C est de 12 mK.

L'ensemble des résultats obtenus au BIPM pour les différences $T - T_{68}$ entre 420 °C et 630 °C peut être représenté par la droite en tireté, avec :

$$T - T_{68} = (-125 \pm 8) \text{ mK à } 630 \text{ °C.}$$

Cette valeur est un peu plus faible que celles obtenues à la PTB et au NPL, qui sont de l'ordre de -145 mK.

7.3. — Études courantes

En plus de la vérification d'instruments appartenant au BIPM, on a étudié des thermomètres à résistance de platine, des thermocouples platine/platine rhodié et des cellules à point triple de l'eau appartenant aux laboratoires nationaux du Danemark, de la Hongrie, du Portugal, de l'URSS et de la Yougoslavie.

8. Publications

Publications du BIPM

Depuis octobre 1986 ont été publiés :

Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants, 11^e session (1985), 218 pages (regroupant les rapports d'activité des trois sections du CCEMRI ainsi que le rapport du président du CCEMRI au CIPM).

Procès-verbaux des séances du Comité International des Poids et Mesures, tome 54 (75^e session, octobre 1986), 132 pages.

Rapport annuel du Bureau International de l'Heure pour 1986 (72 pages environ pour la contribution du BIPM sur les échelles de temps).

Circulaire D du Bureau International de l'Heure (mensuelle) (contribution du BIPM sur les échelles de temps).

Metrologia (R. P. Hudson)

Comme prévu, deux volumes (23 et 24) seront publiés en 1987 pour faire face à l'augmentation du nombre des manuscrits, augmentation temporaire de toute évidence. L'autre événement exceptionnel cette année est la publication d'un numéro supplémentaire — gratuit pour tous les abonnés — «The Newtonian Gravitational Constant: An Index of Measurements», par G. T. Gillies.

Publications extérieures

CARRÉ, P. and DAVIS, R. Note on weighings carried out on the NBS-2 balance. *J. Res. Natl. Bur. Stand.*, **90**, 1985, pp. 331-339.

GIACOMO, P. Nouvelles du BIPM. *Bulletin BNM*, **18**, N° 67, 1987, pp. 11-17.

GIACOMO, P. News from the BIPM. *Metrologia*, **24**, 1987, pp. 45-51.

QUINN, T. J., SPEAKE, C. C. and DAVIS, R. S. A 1 kg mass comparator using flexure-strip suspensions: preliminary results. *Metrologia*, **23**, 1986/87, pp. 87-100.

FELDER, R., CHARTIER, J.-M., DOMNIN, Yu. S., OBOUKHOV, A. S. and TATARENKOV, V. M. Recent experiments leading to the characterization of the performance of portable He-Ne/CH₄ lasers. Part I: Results of the 1985 international comparison BIPM-VNIIFTRI, *Metrologia*, **25**, 1988, pp. 1-8.

CLAIRON, A., DAHMANI, B., ACEF, O., GRANVEAUD, M., DOMNIN, Yu. S., POUCHKINE, S. B., TATARENKOV, V. M. and FELDER, R. Recent experiments leading to the characterization of the performance of portable He-Ne/CH₄ lasers. Part II: Results of the 1986 LPTF absolute frequency measurements, *Metrologia*, **25**, 1988, pp. 9-16.

SPEAKE, C. C. and GILLIES, G. T. Why is G, the Newtonian constant of gravitation, the least precisely known physical constant? *Zeitschrift für Naturforschung*, **42 a**, 1987, pp. 663-669.

SPEAKE, C. C. The detectors of laboratory gravitation physics and a new method of measuring the gravitational constant (à paraître dans les Proceedings of the International School of Cosmology and Gravitation, 2-12 mai 1987, Erice-Trapani, Sicile).

GUINOT, B. Progrès du temps atomique international TAI. *Actes du Congrès de Chronométrie*, 1986, pp. 49-52.

GUINOT, B. BIH Report. In Proceedings 18th PTTI, 1987.

CAPITAINE, N., GUINOT, B. and SOUCHAY, J. A non-rotating origin on the instantaneous equator, definition, properties and use. *Celestial Mechanics*, **39**, 1986, pp. 283-307.

LEWANDOWSKI, W., WEISS, M. and DAVIS, D. A calibration of GPS equipment of time and frequency standard laboratories in the USA and Europe. In Proceedings 18th PTTI, 1987 et *Metrologia*, **24**, 1987, pp. 181-186.

WITT, T. J., ENDO, T. and REYMANN, D. The realization of the quantum Hall standard of resistance at the BIPM. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, **IM-36**, 1987, pp. 234-239.

DELAHAYE, F., FAU, A., DOMINGUEZ, D. and BELLON, M. Absolute determination of the farad, the ohm and measurement of the quantized Hall resistance $R_H(2)$ at LCIE. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, **IM-36**, 1987, pp. 205-207.

DELAHAYE, F. and DOMINGUEZ, D. Precise comparisons of quantized Hall resistances. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, **IM-36**, 1987, pp. 226-229.

BONHOURE, J. Sixth comparison of national standards of luminous intensity and of luminous flux (1985), *Metrologia*, **24**, 1987, pp. 157-162.

RYTZ, A., WILTSHIRE, R. A. P. and KING, M. Absolute measurement of the energies of alpha-particles emitted by sources of ^{252}Cf and ^{227}Ac . *Nucl. Instrum. Methods in Physics Research*, **253**, 1986, pp. 47-50.

BOUTILLON, M. and PERROCHE-ROUX, A.-M. Re-evaluation of the W value for electrons in dry air. *Phys. Med. Biol.*, **32**, 1987, pp. 213-219.

Rapports

DE ALMEIDA, C. E. and NIATEL, M.-T. Comparisons between IRD and BIPM exposure and air-kerma standards for cobalt-60 gamma rays. Rapport BIPM-86/12, novembre 1986, 19 pages.

RATEL, G. and MÜLLER, J. W. International comparison of activity measurements of a solution of ^{109}Cd (March 1986), Preliminary report. Rapport BIPM-86/13, novembre 1986, 11 pages.

DE ALMEIDA, C. E., PERROCHE-ROUX, A.-M. and BOUTILLON, M. Perturbation correction of a cylindrical thimble-type chamber in a graphite phantom for ^{60}Co gamma rays. Rapport BIPM-86/14, décembre 1986, 12 pages.

MÜLLER, J. W. Statistiques de comptage. Rapport BIPM-86/15, octobre 1986, 4 pages.

MÜLLER, J. W. Correlations in successive differences and smoothings. Rapport BIPM-86/16, décembre 1986, 11 pages.

ALLISY, A. The BIPM Ionizing Radiation Section (1960-1985). Rapport BIPM-86/17, décembre 1986, 24 pages.

MÜLLER, J. W. New light on powers of power series. Rapport BIPM-87/1, février 1987, 15 pages.

CHARTIER, J.-M. Étude de l'influence de la valeur de la pression atmosphérique sur la fréquence de lasers asservis. Rapport BIPM-87/2, août 1987, 19 pages.

9. Certificats et Notes d'étude

Du 1^{er} octobre 1986 au 30 septembre 1987, 75 Certificats et 9 Notes d'étude ont été délivrés.

CERTIFICATS

1986

N°

29. Thermomètre à résistance de platine, N° 318892	VNIIM, Leningrad, URSS.
30. Thermomètre à résistance de platine, N° 318900	Id.
31. Etalon de résistance de 0,1 Ω , N° 1914286	Service de la métrologie, Bruxelles, Belgique.
32. Etalon de résistance de 0,01 Ω , N° 1913866	Id.
33. Quatre étalons de force électromotrice, N°s 32933, 32939, 32942 et 32949 (addition)	Office national des mesures, Budapest, Hongrie.
34. Fil géodésique de 24 m en invar, N° 1055 (addition)	Section matériel et mesures de précision, Ivry-sur-Seine, France.
35. Fil géodésique de 20 m en invar, N° 351 (addition)	Id.
36. Fil géodésique de 8 m en invar (addition)	Id.
37. Ruban de 20 m en invar, N° 1 (addition)	Id.
38. Quatre étalons de force électromotrice N°s 1, 2, 3 et 4 contenus dans l'enceinte thermorégulée N° 52487	Service de la métrologie, Bruxelles, Belgique.
39. Etalon de force électromotrice à diode de Zener, modèle FLUKE 732 A, N° 3435024 ..	National Physical Research Laboratory, Pretoria, Afrique du Sud.
40. Etalon de masse de 1 kg N° 33, en acier inoxydable "Nical D" (addition)	Institut fédéral des mesures et métaux précieux, Belgrade, Yougoslavie.
41. Série de masses N° 92 de 500 g à 1 mg, (addition)	Id.
42. Règle de 1 m, N° 0112-77, en acier au nickel (addition)	Institut métrologique tchécoslovaque, Bratislava, Tchécoslovaquie.
43. Etalon de résistance de 10 000 Ω , N° 025036	Det Norske Justervesen, Oslo, Norvège.
44. Etalon de résistance de 10 000 Ω , N° 224102	Id.
45. Etalon de masse de 1 kg, en acier inoxydable "Nical D"	Saudi Arabian Standards Organization, Riyadh, Arabie Saoudite.

1987

N°

- | | |
|---|--|
| 1. Etalon de résistance de 1000 Ω ,
N° 236072 (addition) | Service de la métrologie, Bruxelles,
Belgique. |
| 2. Etalon de résistance de 1000 Ω ,
N° 246785 | Id. |
| 3. Etalon de résistance de 100 Ω ,
N° 242114 | Id. |
| 4. Etalon de masse de 1 kg N° 102, en acier
inoxydable "Nical D" | Ministère du Service de la science,
Bangkok, Thaïlande. |
| 5. Quatre calibres en acier de 300, 400, 500
et 600 mm | Institut central de métrologie,
Pyongyang (Rép. Pop. Dém. de Corée). |
| 6. Calibre en acier de 200 mm | Id. |
| 7. Etalon secondaire d'intensité lumineuse
(2853 K), N° G166 | Institut métrologique tchécoslovaque,
Bratislava, Tchécoslovaquie. |
| 8. Etalon secondaire de flux lumineux
(2787 K), N° A2 (addition) | Id. |
| 9. Etalon secondaire de flux lumineux
(2787 K), N° B3 | Id. |
| 10. Quatre étalons secondaires d'intensité
lumineuse (2853 K), N°S 650-3472,
656-3473, 695-3476, 655 (addition) | Statens Provningsanstalt, Borås,
Suède. |
| 11. Deux étalons secondaires de flux lumineux
(2787 K), N°S H2 et H3 (addition) | Id. |
| 12. Deux étalons secondaires de flux lumineux
(2787 K), N°S 3463 et 2 (addition) | Id. |
| 13. Cinq étalons secondaires d'intensité
lumineuse (2853 K), N°S 617, 618, 619,
620, 621 (addition) | Bureau fédéral des mesures et métaux
précieux, Belgrade, Yougoslavie. |
| 14. Sept calibres en acier de 2, 5, 10, 20,
50, 75 et 100 mm | Id. |
| 15. Trois étalons secondaires d'intensité
lumineuse (2800 K) N°S R2A 86, R2B 86,
R2C 86 | Id. |
| 16. Deux étalons secondaires de température
de couleur N°S V258 et 2371 (addition) | Institut métrologique tchécoslovaque,
Bratislava, Tchécoslovaquie. |
| 17. Thermomètre à résistance de platine,
N° 233164 | Office national des mesures, Budapest,
Hongrie. |
| 18. Thermomètre à résistance de platine,
N° 2906 | Bureau fédéral des mesures et métaux
précieux, Belgrade, Yougoslavie. |
| 19. Etalon de résistance de 1 Ω , N° 1883431
(addition) | Institute for Industrial Research and
Standards, Dublin, Irlande. |
| 20. Etalon de résistance de 10 000 Ω ,
N° 1876641 (addition) | Id. |

1987 (suite)

N°		
21.	Etalon de masse de 1 kg N° 07, en alacrite (addition)	Institut national de métrologie, Paris, France.
22.	Thermomètre à résistance de platine, N° 233148 (addition)	Laboratoriet for fundamental metrologi, Lyngby, Danemark.
23.	Quatre étalons de force électromotrice N°s 1, 2, 3 et 4 contenus dans l'enceinte thermorégulée N° 03262B	Institut métrologique tchécoslovaque, Bratislava, Tchécoslovaquie.
24.	Quatre étalons de force électromotrice N°s 60599, 60614, 60615 et 60716 contenus dans l'enceinte thermorégulée N° 47052 (addition)	Institute for Industrial Research and Standards, Dublin, Irlande.
25.	Etalon de force électromotrice à diode de Zener, modèle 732 A, N° 3795009	Service de la métrologie, Bruxelles, Belgique.
26.	Etalon prototype de masse N° 26, en platine iridié (addition)	URSS.
27.	Etalon prototype de masse N° 68, en platine iridié	République Populaire Démocratique de Corée.
28.	Etalon de résistance de 1 Ω , N° 076080 (addition)	Office national des mesures, Budapest, Hongrie.
29.	Etalon de résistance de 1 Ω , N° 076124 (addition)	Id.
30.	Etalon de résistance de 1 Ω , N° 143194	République Populaire Démocratique de Corée.
31.	Etalon de résistance de 1 Ω , N° 508 (addition)	Amt für Standardisierung Messwesen und Warenprüfung, Berlin, République Démocratique Allemande.
32.	Etalon de résistance de 1 Ω , N° 1799595	Laboratorio Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, Lisbonne, Portugal.
33.	Etalon de résistance de 10 000 Ω , N° 181514	Id.
34.	Etalon de résistance de 1 Ω , N° 1816194 (addition)	Centre de recherches techniques, Espoo, Finlande.
35.	Etalon de résistance de 10 000 Ω , N° 718011 (addition)	Service de la métrologie, Bruxelles, Belgique.
36.	Etalon de résistance de 10 000 Ω , N° 43024 (addition)	Id.
37.	Etalon de résistance de 10 000 Ω , N° 1 Mgn, 114 (addition)	Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, Berlin, République Démocratique Allemande.
38.	Etalon de résistance de 10 000 Ω , N° 2 Mgn, 115 (addition)	Id.
39.	Etalon de résistance de 10 000 Ω , N° 508004	Service de la métrologie, Bruxelles, Belgique.

1987 (suite)

N°		
40.	Etalon de résistance de 10 000 Ω , N° 43021 (addition)	Service de la métrologie, Bruxelles, Belgique.
41.	Quatre calibres en acier de 600, 700, 800 et 900 mm (addition)	Institut métrologique tchécoslovaque, Bratislava, Tchécoslovaquie.
42.	Etalon de résistance de 1 Ω , N° 606 BZ13	Institut national de métrologie, Beijing République Populaire de Chine.
43.	Etalon de résistance de 1 Ω , N° 635 BZ13	Id.
44.	Etalon de résistance de 1 Ω , N° 681 BZ13	Id.
45.	Etalon de résistance de 1 Ω , N° 738 BZ13	Id.
46.	Etalon de résistance de 1 Ω , N° 1870791 (addition)	Service de la métrologie, Bruxelles Belgique.
47.	Etalon de résistance de 1 Ω , N° 1870794 (addition)	Id.
48.	Etalon de force électromotrice à diode de Zener, N° 3795009 (addition).....	Id.
49.	Etalon de résistance de 1 Ω , N° 1624034 (addition)	Office fédéral de métrologie, Wabern Suisse.
50.	Etalon de résistance de 1 Ω , N° 1844266 (addition)	Id.
51.	Etalon de résistance de 1 Ω , N° S60652 ..	National Physical Laboratory, Teddington, Royaume-Uni.
52.	Etalon de résistance de 1 Ω , N° S60656 ..	Id.
53.	Etalon de résistance de 1 Ω , N° L713	Id.
54.	Etalon de résistance de 1 Ω , N° 221921 ..	Id.
55.	Etalon de résistance de 1 Ω , N° 221928 ..	Id.
56.	Etalon de résistance de 100 Ω , N° 001 ...	Id.
57.	Etalon de résistance de 100 Ω , N° 004 ...	Id.
58.	Quatre étalons de force électromotrice N° ^S 32923, 32932, 32946 et 32961	Office national des mesures, Budapest, Hongrie.

NOTES D'ETUDE

1986

2.	Etalon de tension à diode de Zener, modèle CROPICO, ESC, N° 38938	Service de la métrologie, Bruxelles, Belgique.
3.	Laser à hélium-néon de longueur d'onde 633 nm (addition)	Bureau fédéral des mesures et métaux précieux, Belgrade, Yougoslavie.

1987

- | | |
|---|--|
| 1. Etalon secondaire d'intensité lumineuse
(2042 K), N° V249 | Institut métrologique tchécoslovaque,
Bratislava, Tchécoslovaquie. |
| 2. Etalon secondaire d'intensité lumineuse
(2353 K), N° 2635 (addition) | Id. |
| 3. Deux étalons secondaires de flux lumineux
(2353 K), N°s 1 et 6 (addition) | Id. |
| 4. Deux étalons secondaires de flux lumineux
(2353 K), N°s F2 et F3 (addition) | Statens Provningsanstalt, Borås, Suède. |
| 5. Deux cellules à point triple de l'eau,
N°s 182 et 183 | Bureau fédéral des mesures et métaux
précieux, Belgrade, Yougoslavie. |
| 6. Thermocouple platine/platine rhodié,
N° OMH-FR2 | Office national des mesures, Budapest,
Hongrie. |
| 7. Etalon de résistance de 1 Ω , N° 00001U ... | République Populaire Démocratique de
Corée. |

IV. — ACTIVITÉS ET RELATIONS EXTÉRIEURES

Travaux en liaison avec des organismes internationaux et nationaux (*voir aussi Voyages, visites, conférences, exposés du personnel*)

P. Giacomo participe aux travaux de l'Union internationale de physique pure et appliquée (en qualité de secrétaire de la Commission SUN-AMCO), de l'Union astronomique internationale (Commission de l'heure), du Comité de direction et du Conseil scientifique du Bureau national de métrologie français et du Conseil de l'Institut d'optique théorique et appliquée d'Orsay (en qualité de vice-président).

T. J. Quinn participe régulièrement aux réunions du Conseil scientifique de l'Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin. Il participe aux travaux du Task Group on Fundamental Constants du Committee on Data for Science and Technology, en qualité de président, à ceux de l'Associate Committee on Standards of Physical Measurements du Conseil national de recherches du Canada, et à ceux de l'Interdivisional Committee on Nomenclature and Standards de l'Union internationale de chimie pure et appliquée.

A. Allisy participe aux travaux de l'International Commission on Radiation Units and Measurements en qualité de président.

B. Guinot participe aux travaux de l'Union astronomique internationale, de l'Union géodésique et géophysique internationale, du Comité consultatif international des radiocommunications. Il est membre des conseils scientifiques du Bureau national de métrologie français et du Groupe de recherches de géodésie spatiale. Il est membre du Bureau des longitudes et correspondant de l'Académie des Sciences (Paris).

J. Terrien, directeur honoraire, et H. Moreau, métrologue honoraire, ont continué à participer activement, jusqu'à son impression, à la 4^e édition du Vocabulaire international de l'éclairage, publié conjointement par la Commission internationale de l'éclairage et la Commission électrotechnique internationale, qui est maintenant publiée.

Voyages, visites, conférences, exposés du personnel

Dans ce qui suit, le signe ⁺⁺ ou ⁺ indique un déplacement dont les frais n'ont pas été pris en charge par le BIPM(⁺⁺) ou bien ont été pris en charge partiellement(⁺).

P. Giacomo s'est rendu :

— en Israël, du 31 octobre au 7 novembre 1986, d'abord à Jérusalem où il a visité le National Physical Laboratory of Israël, puis à Tel Aviv où il a donné une conférence intitulée « The role of BIPM » à l'occasion de la 6^e Conférence internationale de l'Israel Society for Quality Assurance et participé à l'International Laboratory Accreditation Conference (ILAC) ;

— à Londres⁺⁺ (Royaume-Uni), le 20 novembre 1986, pour participer au symposium « Measuring the Earth » organisé par la Royal Geographic Society et y donner une conférence sur « The Fortunate Adventures of the Metre » ;

— à Amman⁺ (Jordanie), du 23 au 27 novembre 1986, pour assister à un symposium sur la métrologie organisé par l'Arab Organization for Standardization and Metrology, y donner une conférence sur « The role of the BIPM » et visiter quelques laboratoires ;

— à Helsinki⁺⁺ (Finlande), du 3 au 6 février 1987, pour participer à un symposium commémoratif du centenaire du Système métrique en Finlande, y donner une conférence sur « Le Système international d'unités, succès et pari sur l'avenir » et visiter les laboratoires nationaux ;

— à Villars-sur-Ollon⁺⁺ (Suisse), du 4 au 7 mars 1987, pour donner une conférence sur « Le rôle du BIPM » à des Journées de l'École polytechnique fédérale de Lausanne ;

— à Corsendonk⁺⁺ (Belgique), du 7 au 10 mars 1987, pour une réunion de réflexion et de discussion sur le rôle et l'avenir de l'Union radio-scientifique internationale ;

— à Marseille⁺⁺ (France), du 7 au 10 juillet 1987, pour participer aux jurys de quatre thèses de doctorat dans le cadre du Laboratoire d'optique des surfaces et des couches minces ;

— à Vienne⁺⁺ (Autriche), du 24 au 29 août 1987, pour participer à la 6^e conférence internationale sur la spectroscopie par transformée de Fourier et y donner une conférence d'ouverture sur « L'interféromètre de Michelson » ;

— à Madrid, du 23 au 25 septembre 1987, en tant qu'observateur à une réunion du Club de métrologie de l'Europe de l'ouest ;

— à Braunschweig (Rép. Féd. d'Allemagne) du 5 au 7 octobre 1987, accompagné de T. J. Quinn, pour participer aux cérémonies du centenaire de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt et y prononcer une allocution.

T. J. Quinn s'est rendu :

— à Ottawa⁺⁺ (Canada), du 21 au 24 octobre 1986 pour prendre part au « Review Committee on Standards » ;

— à Moscou (URSS), du 16 au 22 novembre 1986, où il a participé au congrès IMEKO sur le thème « Problems of present day radiation pyrometry » ; il a présenté une conférence intitulée « The evolution of the practical black-body radiator as a standard for radiation thermometry » ; il a aussi visité plusieurs laboratoires de l'Institut des mesures physico-techniques et radiotechniques, où il a eu, entre autres, des discussions détaillées sur l'avancement du projet de la nouvelle Échelle internationale de température ;

— à Teddington⁺ (Royaume-Uni), les 8 et 9 janvier 1987, pour visiter les sections de thermométrie et des masses du National Physical Laboratory (NPL) ;

— à Orléans (France), les 11 et 12 mai 1987, où il a participé au congrès sur « Les développements récents en gravimétrie » ;

— à Turin⁺⁺ (Italie), trois fois au cours de l'année, pour prendre part au Conseil scientifique de l'Istituto di Metrologia G. Colonnetti (IMGC) ;

A. Allisy s'est rendu :

— à Bethesda⁺⁺ (É.-U. d'Amérique), du 14 au 21 février 1987, pour traiter de questions relatives au travail de l'ICRU ;

— à Vienne⁺⁺ (Autriche), du 17 au 22 mai 1987, à l'Agence internationale de l'énergie atomique pour participer à l'élaboration d'un document de la collection Sécurité sur l'étalonnage des instruments de surveillance radiologique servant à la protection des travailleurs dans les installations nucléaires ;

— à Lisbonne⁺⁺ (Portugal), le 31 mai 1987, pour assister à la réunion du Comité exécutif de la Société internationale de radiologie ;

— à Vienne⁺⁺ (Autriche), du 1^{er} au 5 juin 1987, où il a participé à la réunion du Comité scientifique des Secondary Standard Dosimetry Laboratories (SSDL) de l'Agence internationale de l'énergie atomique ;

— à Bruxelles⁺⁺ (Belgique), du 9 au 19 septembre, pour la réunion annuelle de la Main Commission ICRU.

B. Guinot s'est rendu :

— à la Chaux-de-Fonds (Suisse), les 3 et 4 octobre 1986, pour participer au Congrès de Chronométrie et y présenter une communication sur le temps atomique international ;

— à Coolfont⁺ (É.-U. d'Amérique), du 20 au 24 octobre 1986, pour participer au symposium n° 128 de l'Union astronomique internationale sur la rotation de la Terre et les systèmes de référence (présentation par N. Capitaine d'un article commun) ;

— à Washington⁺⁺ (É.-U. d'Amérique), du 1^{er} au 6 décembre 1986, pour participer au « 18th Annual Precise Time and Time Interval (PTTI) Applications and Planning Meeting » (présentation d'une communication sur le rôle et l'avenir du Bureau international de l'heure) et pour participer à des réunions au sujet de l'expérience LASSO.

Il a participé, du 1^{er} au 5 juin 1987, à Paris, au symposium n° 133 de l'Union astronomique internationale « Mapping of the sky » et le 6 juin 1987, à Paris, à une réunion du groupe de travail sur les références (spatiales et temporelles) de cette Union.

B. Guinot et W. Lewandowski se sont rendus à Besançon (France), du 18 au 20 mars 1987, pour participer au 1^{er} Forum européen temps-fréquence.

J. W. Müller s'est rendu :

— au NPL (Teddington, Royaume-Uni), les 25 et 26 mars 1987, accompagné de G. Ratel, pour mettre au point une publication en commun avec D. Smith sur les coïncidences fortuites ; il y a fait un exposé sur « Blind selective sampling » et visité divers laboratoires ;

— à Rome (Italie), du 15 au 19 juin 1987, pour participer à la réunion bisannuelle de l'ICRM (International Committee for Radionuclide Metrology), où il a fait une conférence sur « The selective sampling method made easy ».

En outre il a participé à la deuxième réunion du Working Group on Uncertainties (ISO TAG-4) qui s'est tenue du 6 au 8 mai 1987, à Paris, et qui a pour but de mettre sur pied un « Guidance document » sur l'expression des incertitudes expérimentales.

T. J. Witt s'est rendu au NBS (Gaithersburg, É.-U. d'Amérique), les 22 et 23 juillet et du 3 au 5 août pour discuter des questions suivantes : décisions du CCE au sujet de l'effet Josephson et de l'effet Hall quantique ; mesures de l'effet Hall quantique, mesure des résistances et des diodes de Zener. Il a participé aux mesures de précision de la tension d'un volt fournie par un réseau de jonctions de Josephson. Du 17 au 19 août, il s'est rendu au NBS, Boulder, pour étudier des réseaux de jonctions et en a rapporté deux réseaux qui seront utilisés bientôt au BIPM.

J. Bonheure et R. Pello se sont rendus au NPL (Teddington, Royaume-Uni), du 6 au 9 mai 1987, pour discuter des problèmes concernant certains résultats de la comparaison internationale photométrique effectuée en 1985. À cette occasion, ils ont assuré le transport de divers étalons électriques et photométriques.

J. Bonhoure a participé, du 17 au 25 juin 1987, à la 21^e session de la Commission internationale de l'éclairage qui s'est tenue à Venise (Italie).

Du 14 au 18 septembre 1987, à Braunschweig (Rép. Féd. d'Allemagne), il a assisté au 13^e symposium IMEKO « Photonic Measurements » et à la réunion préparatoire sur la comparaison internationale de mesures de puissance de rayonnements de lasers concernant les fibres optiques, comparaison organisée par le CCE en liaison avec le CCPR.

A. Sakuma s'est rendu au Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM, Orléans La Source, France), du 10 au 13 mai 1987, pour participer au colloque national français de gravimétrie ; il y a fait un exposé intitulé « Récents développements des mesures absolues de la pesanteur ».

Il a participé, du 8 au 23 août 1987, à la 19^e Assemblée générale de l'Union géodésique et géophysique internationale (UGGI) à Vancouver (Canada) afin de discuter des projets d'utilisation de la gravimétrie absolue en géodésie et géophysique.

R. P. Hudson, au cours d'un voyage privé aux États-Unis d'Amérique, en avril 1987, a visité le NBS (Gaithersburg) à plusieurs reprises pour discuter de certains manuscrits avec plusieurs scientifiques.

G. Girard et Mme M.-J. Coarasa se sont rendus à l'Office fédéral de métrologie (Wabern, Suisse), les 11 et 12 mars 1987, pour voir fonctionner une balance automatique de portée maximale 1 kg construite par la Société Mettler. Ils se sont ensuite rendus les 13 et 14 avril chez ce constructeur en vue de l'acquisition d'une balance de ce type.

G. Girard s'est rendu :

— au NBS (Gaithersburg, É.-U. d'Amérique) du 3 au 5 août 1987, pour rencontrer les responsables des mesures de masse et pour discuter de la comparaison internationale d'étalons de masse volumique organisée par le Groupe de travail 5 du CCM ;

— au NRC (Ottawa, Canada) du 5 au 8 août 1987, pour visiter principalement la section des masses et en particulier voir la balance automatique de portée 1 kg ;

— à Vancouver (Canada) du 10 au 15 août 1987, pour participer à l'Assemblée générale de l'Association internationale des sciences physiques de l'océan dans le cadre de l'Assemblée générale de l'Union géodésique et géophysique internationale. Il y a rendu compte de la parution d'une brochure intitulée « The International System of Units (SI) in Oceanography » à la rédaction de laquelle il a participé au sein d'un groupe de travail *ad hoc*.

F. Delahaye s'est rendu à Tel Aviv (Israël), du 25 août au 2 septembre 1987, pour participer à la 22^e Assemblée générale de l'Union radio-scientifique internationale (URSI) ; il y a fait un exposé intitulé : « Present state of quantized Hall resistance measurements ».

D. Reymann s'est rendu à Belgrade (Yougoslavie), du 26 au 31 octobre 1986, au 12^e symposium yougoslave sur la mesure et les équipements de mesure⁺ ; il a fait deux exposés, l'un sur le rôle actuel du BIPM, et l'autre sur les nouveautés dans le domaine des mesures électriques au BIPM. Il a profité de ce voyage pour visiter le Bureau fédéral des mesures et des métaux précieux, à Belgrade, ainsi que le Laboratoire de métrologie électrique de l'université de Zagreb.

W. Lewandowski s'est rendu :

— à Turin (Italie), Graz (Autriche), Wattzell et Braunschweig (RFA), Delft (Pays-Bas) et Teddington (Royaume-Uni), du 1^{er} au 17 octobre 1986, en compagnie de Mr Weiss (NBS), pour y étalonner les récepteurs horaires du GPS ;

— à San Fernando (Espagne), du 1^{er} au 5 juin 1987, pour participer à la 4^e réunion du « LASSO experiment user team » et étalonner le récepteur horaire du GPS de l'Observatoire de la marine ;

— à Tel Aviv et Jérusalem (Israël), du 24 août au 3 septembre 1987, pour participer à l'Assemblée générale de l'Union radio-scientifique internationale (URSI), pour visiter le National Physical Laboratory d'Israël, pour étalonner le récepteur de GPS de ce laboratoire et mettre au point sa collaboration avec le BIPM dans le domaine des mesures de temps.

C. C. Speake a fait un exposé intitulé « Une étude des expériences terrestres sur la gravitation et les forces faibles » au Centre d'études nucléaires de Saclay (France), le 24 novembre 1986.

Au Bureau des longitudes, Paris, il a présenté un exposé intitulé « Le renouvellement expérimental dans le domaine de la gravitation », le 7 avril 1987.

Il a assisté au congrès « International School of Cosmology and Gravitation », à Erice-Trapani (Italie), du 2 au 12 mai 1987, où il a présenté une conférence intitulée « The detectors of laboratory gravitation experiments and a new method of measuring the gravitational constant ».

R. Pello et Mme M.-J. Coarasa se sont rendus en Grande-Bretagne du 11 au 14 août 1987 pour transporter la balance hydrostatique Stanton en vue de sa révision par la société Oertling et visiter le NPL.

Dans le cadre de l'information du personnel du BIPM, les exposés suivants ont été présentés :

— par C. C. Speake, le 7 octobre 1986 : « Les limites fondamentales des mesures de masse » ;

— par J. Bonhoure, le 18 novembre 1986 : « Mesure des pressions moyennes » ;

— par P. Carré, le 9 décembre 1986 : « Neuf mille six cents jours d'activité pour le BIPM » ;

— par W. Lewandowski, le 13 janvier 1987 : « Étalonnage de récepteurs du GPS en Europe et aux États-Unis » ;

— par V. D. Huynh, le 10 février 1987 : « Mesures neutroniques au BIPM et comparaisons internationales » ;

— par T. J. Witt, le 10 mars 1987 : « Réseau de jonctions Josephson fournissant une tension d'un volt » ;

— par J.-M. Chartier, le 14 avril 1987 : « Influence de la valeur de la pression atmosphérique sur la fréquence de lasers asservis ».

Visites et stages au BIPM

Mlle M.-T. Niatel (Institut national de la santé et de la recherche médicale, Paris) a cessé sa participation au travail de la section des rayonnements ionisants le 1^{er} octobre 1986, après plus de 23 ans de fructueuse collaboration.

Mme A.-M. Perroche (Service central de protection contre les rayonnements ionisants, Paris) a poursuivi sa participation au travail de la section des rayonnements ionisants (rayons X et γ , électrons).

Mr C. E. de Almeida (Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Rio de Janeiro, Brésil) a terminé, le 5 décembre 1986, un stage d'un an dans la section des rayonnements ionisants.

Mme M.-H. da Hora Villano (Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Rio de Janeiro, Brésil) a effectué, du 6 octobre 1986 au 30 janvier 1987, un stage pendant lequel elle s'est initiée aux techniques utilisées dans le groupe de mesure des radionucléides. Elle s'est plus spécialement intéressée au compteur proportionnel à pression, appareil qu'elle est chargée de construire dans son laboratoire au Brésil.

Du 16 mars au 14 avril 1987, Mr Philipp Ebert, étudiant à Aix-la-Chapelle (RFA), a effectué un stage dans la section des rayonnements ionisants. Il s'est particulièrement intéressé aux travaux en cours et y a participé activement.

MM. A. Jakab et M. Peter (OMH, Budapest, Hongrie) ont comparé, du 29 septembre au 9 octobre 1986, l'étalon calorimétrique de dose absorbée dans le graphite de leur laboratoire à l'étalon ionométrique du BIPM.

Mr K. Steinschaden (LMRI, Saclay, France) a participé, du 3 au 7 novembre 1986, à l'étalonnage d'une chambre d'ionisation de son laboratoire dans le domaine des rayons X de moyenne énergie.

MM. D. Mosse (du même laboratoire) et Leroy (LCIE, Fontenay-aux-Roses, France) sont venus, le 5 novembre 1986, discuter de cet étalonnage.

Mr T. Nemeth (OMH, Budapest, Hongrie) a participé aux mesures de la section de thermométrie, du 26 au 29 janvier 1987, et a visité la section d'électricité.

Mr E. Funck (PTB, Braunschweig, RFA) a visité le laboratoire des radionucléides les 19 et 20 février 1987. Il s'est intéressé en particulier à certains problèmes liés aux temps morts, et à l'échantillonnage sélectif, ainsi qu'aux améliorations éventuelles à apporter au compteur proportionnel à pression. Il a fait une conférence intitulée « Nouvelles idées concernant la méthode $4\pi\beta\text{-}\gamma$ ».

Mr O. Gullberg (Statens Strålskyddsinstitut of National Institute of Radiation Protection, Stockholm, Suède) est venu, le 5 mars 1987, apporter pour étalonnage sept chambres d'ionisation (rayons X et ^{60}Co). Mme M. Ljungberg, du même laboratoire, est venue chercher ces chambres le 3 avril 1987 ;

MM. J. W. G. Dale et A. R. DuSautoy (NPL, Teddington, Royaume-Uni) sont venus, les 8 et 9 avril 1987, apporter les instruments de transfert du NPL pour des comparaisons indirectes de dose absorbée dans le graphite et dans l'eau. MM. J. E. Burns et B. Owen (du même laboratoire) sont venus, les 29 et 30 avril 1987, discuter des résultats de ces comparaisons.

Mme V. Živković, MM. P. Vujković Cvijin et V. Vasiljević (Bureau fédéral des mesures et métaux précieux, Belgrade, Yougoslavie) sont venus, du 27 au 30 avril 1987, pour se documenter sur la construction de lasers asservis sur l'iode.

MM. D. F. G. Reher et E. Celen (BCMN, Geel, Belgique) ont visité le laboratoire des radionucléides le 22 mai 1987. La technique de l'échantillonnage sélectif leur a été présentée de façon détaillée. Ils se sont également intéressés aux autres travaux effectués dans le groupe. Enfin, ils ont profité de leur passage au BIPM pour admirer les installations de A. Sakuma.

MM. Kim Sang Rok, Directeur Adjoint et Kim Yu Chol (Institut central de qualité et de métrologie, Pyongyang, Rép. Pop. Dém. de Corée) ont visité du 7 au 17 juillet 1987 toutes les sections du BIPM et principalement la section des masses. À cette occasion ils ont emporté l'étalon prototype du kilogramme en platine iridié, N° 68.

Parmi les visites de courte durée, nous mentionnerons celles de :

— MM. Suh Hosuhng, Shin Yong Hyeon, Kang Kee Hoon (Korea Standards Research Institute, Rép. de Corée), le 15 septembre 1986 (lasers) ;

— Mr J. E. Burns (NPL, Teddington, Royaume-Uni), le 30 septembre 1986 (préparation de comparaisons de dose absorbée dans le graphite et dans l'eau) ;

— Mr R. Dubourg (BNM, Paris, France), le 9 octobre 1986 (rayonnements ionisants et plus particulièrement rayons X et ^{60}Co) ;

— MM. A. I. Mekhannikov (Comité d'État de l'URSS pour les normes), S. Oboukhov (VNIIFTRI, Moscou, URSS), M. Granveaud et B. Dahmani (LPTF, Paris, France), le 15 octobre 1986 (discussion avec

J.-M. Chartier et R. Felder des possibilités de collaboration future entre les trois laboratoires);

— MM. B. Étienne et E. Paris (Laboratoire de microélectronique et de microstructure, CNRS-CNET, Bagneux, France), le 16 octobre 1986 (électricité);

— Mr le Professeur O. Sala (Université de São Paulo, Brésil), le 17 octobre 1986 (rayonnements ionisants);

— Mr A. Michel (Établissement technique central de l'armement, Arcueil, France), le 21 octobre 1986 (lasers);

— Mr Shenhar (NPL, Jérusalem, Israël), du 27 au 29 octobre 1986 (longueurs, masses, temps);

— Mr V. Navratil (CSMU, Bratislava, Tchécoslovaquie), les 28 et 29 octobre 1986 (lasers);

— MM. Ryng Taek Ryong, Lo In Su, Jun Ok Khen et Kim Byong Ho (Institut central de métrologie, Pyongyang, Rép. Pop. Dém. de Corée), le 12 novembre 1986 (lasers, électricité);

— Mr Bai Jingzhong, directeur du Bureau d'État de Métrologie, Beijing, Rép. Pop. de Chine, et trois collaborateurs, le 18 novembre 1986;

— Mr le Professeur D. Brinkmann (Université de Zurich, Suisse), le 24 novembre 1986 (radionucléides et spécialement mesure des sources radioactives);

— Mr Lifka (CSMU, Bratislava, Tchécoslovaquie), les 24 et 25 novembre 1986 (électricité);

— Mr J.-M. Alunni (Quantel France, Orsay), les 25 novembre 1986 et 2 juin 1987 (étalonnage de lasers et collaboration entre les deux laboratoires);

— Mme V. Živković et Mr Vukadinović (Bureau fédéral des mesures et métaux précieux, Belgrade, Yougoslavie), le 27 novembre 1986 (lasers, masses);

— Mr P. Croce (Institut d'Optique, Orsay, France), Mme C. Croce (professeur au Lycée Fénelon, Paris, France) et Mlle A. Pilon (Laboratoire Aimé Cotton, Orsay, France), le 2 décembre 1986 (longueurs, gravimétrie, masses, électricité, temps);

— M. J. Nicolas (Service de la métrologie, Bruxelles, Belgique), les 20 et 21 janvier 1987 (électricité);

— MM. R. Freitas et L. Ribeiro (Laboratorio Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, Lisbonne, Portugal), le 23 janvier 1987 (électricité);

— Mr D. Dominguez (LCIE, Fontenay-aux-Roses, France), le 4 février 1987 (électricité);

— MM. Zhang Zhibin et Li Linpei (NIM, Beijing, Rép. Pop. de Chine), le 20 février 1987 (mesures neutroniques);

— Mr J. O'Gara (Institute for Industrial Research Standards, Dublin, Irlande), le 24 février 1987 (électricité);

- Mr J. R. Moore et Mlle Goodman (NPL, Teddington, Royaume-Uni), Mr J. Bastie et Mme Mercier (INM, Paris), le 26 février 1987 (photométrie : étalons d'intensité lumineuse) ;
- Mr J. Vatus (LCIE, Fontenay-aux-Roses, France), le 10 mars 1987 (électricité) ;
- Mr Gujadhur (Mauritius Standards Bureau, Ile Maurice), le 25 mars 1987 (masses) ;
- Mr Abdul Rahim (Central Organization for Standardization and Quality Control, Bagdad, Irak), les 14 et 15 avril 1987 (masses, électricité) ;
- Mr A. Hartland (NPL, Teddington, Royaume-Uni), les 14 et 15 avril 1987 (électricité) ;
- Mr L. Ribeiro (Laboratorio Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, Lisbonne, Portugal), le 24 avril 1987 (électricité) ;
- Mr M. Tockweiler (OFMET, Berne, Suisse), le 11 mai 1987 (lasers) ;
- Mr Akberom Tedla (General Manager, Ethiopian Standards Institution, Addis Abeba, Ethiopie), le 12 mai 1987 ;
- Mr Mohamed Ayyash (directeur à la Saudi Arabian Standards Organisation, Riyadh, Arabie Saoudite), le 18 mai 1987 ;
- MM. H. Harary et B. Borchardt (NBS, Gaithersburg, E.-U. d'Amérique), le 20 mai 1987 (lasers) ;
- Mr J.-S. Boulanger (NRC, Ottawa, Canada), le 21 mai 1987 (temps).

V. — 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 1986.

Compte I. — Fonds ordinaires*

RECETTES

	francs-or
ACTIF AU 1 ^{er} JANVIER 1986	15 439 533,68
Recettes budgétaires	15 292 143,74
Remboursement des taxes sur les achats (diminution de l'arriéré)	123 993,19
Recouvrement de contributions au titre de « Remboursement aux États »	94 273,00
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1986	883 858,69
Total	<u>31 833 802,30</u>

DÉPENSES

	francs-or
Dépenses budgétaires	16 145 786,14
Versement au compte « Remboursement aux États »	94 273,00
Différences de change	43 236,09
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1986	15 550 507,07
Total	<u>31 833 802,30</u>

DÉTAIL DES RECETTES BUDGÉTAIRES

Versements de contributions :

	francs-or
au titre de l'exercice 1986..... 12 230 047)	
au titre de l'exercice 1985..... 765 054)	
au titre de l'exercice 1984..... 296 803)	13 395 059,00
au titre de l'exercice 1983 et antérieurs 102 940)	
au titre de l'exercice 1987..... 215)	
Prélèvement sur le compte « Remboursement aux États »	541 445,00
Intérêts des fonds	1 349 046,46
Taxes de vérification.....	0
Recettes diverses	6 593,28
Total	<u>15 292 143,74</u>

* Dans ce tableau, ainsi que dans les suivants, on utilise le franc-or défini par l'équivalence 1 franc-or = 1,81452 franc français.

DÉTAIL DES DÉPENSES BUDGÉTAIRES

Chapitres	Dépenses de l'exercice	Prévisions budgétaires	Économies	Dépassements
A. Dépenses de personnel :				
1. Traitements	7 032 656,60	7 645 000	612 343,40	—
2. Allocations familiales et sociales	1 132 484,00	1 200 000	67 516,00	—
3. Sécurité Sociale	744 252,00	795 000	50 748,00	—
4. Assurance-accidents du travail	74 439,00	84 000	9 561,00	—
5. Caisse de retraites (a)	1 350 000,00	1 350 000	—	—
6. Traitements TAI (1 + 2 + 3 + 4)	585 842,00	650 000	64 158,00	—
7. Caisse de retraites TAI (a)	26 000,00	26 000	—	—
B. Dépenses de fonctionnement :				
1. Mobilier	36 845,58	35 000	—	1 845,58
2. Laboratoires et ateliers	803 952,03	940 000	136 047,97	—
3. Chauffage, eau, énergie électrique	369 349,44	490 000	120 650,56	—
4. Assurances	27 124,16	28 000	875,84	—
5. Impressions et publications	120 621,08	180 000	59 378,92	—
6. Frais de bureau	361 700,77	250 000	—	111 700,77
7. Voyages et transports d'appareils	292 940,82	250 000	—	42 940,82
8. Entretien courant	209 261,23	90 000	—	119 261,23
9. Bureau du Comité	52 000,00	52 000	—	—
10. TAI	34 432,02	155 000	120 567,98	—
C. Dépenses d'investissement :				
1. Laboratoires	1 251 916,80	1 300 000	48 083,20	—
2. Atelier de mécanique	82 100,23	90 000	7 899,77	—
3. Atelier d'électronique	7 642,15	10 000	2 357,85	—
4. Bibliothèque	172 342,38	120 000	—	52 342,38
5. TAI	19 367,80	50 000	30 632,20	—
D. Dépenses de bâtiments (gros travaux d'entretien et de rénovation)				
	1 344 414,52	1 350 000	5 585,48	—
E. Frais divers				
	14 101,53	60 000	45 898,47	—
F. Utilisation de monnaies non convertibles				
	0,00	—	—	—
Totaux	16 145 786,14	17 200 000	1 382 304,64	328 090,78
(a) Virement au compte II (Caisse de retraites).				

Compte II. — Caisse de retraites

RECETTES

	francs-or
ACTIF AU 1 ^{er} JANVIER 1986	10 043 819,07
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1986	592 319,14
Retenues sur les traitements	372 540,64
Virement du Compte I	1 376 000,00
Intérêts des fonds	879 041,66
Total	<u>13 263 720,51</u>

DÉPENSES

	francs-or
Pensions servies	1 405 116,11
Remboursement de versements	15 461,98
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1986	11 843 142,42
Total	<u>13 263 720,51</u>

Compte III. — Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique

RECETTES

	francs-or
ACTIF AU 1 ^{er} JANVIER 1986	573 810,31
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1986	26 127,04
Total	<u>599 937,35</u>

DÉPENSES

	francs-or
Effet Hall quantique	76 079,56
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1986	523 857,79
Total	<u>599 937,35</u>

Compte IV. — Caisse de prêts sociaux

RECETTES

		francs-or
ACTIF AU 1 ^{er} JANVIER 1986	111 058,20	} 187 788,99
Créances au 1 ^{er} janvier 1986	76 730,79	
Créances nouvelles en cours d'année.....		108 017,55
Amortissements partiels des prêts :		
Capital	76 116,92	} 78 487,46
Intérêts	2 370,54	
Virement du Compte I		6 930,00
Intérêts des fonds		7 681,81
Total		<u>388 905,81</u>

DÉPENSES

		francs-or
Prêts consentis en cours d'année.....		108 017,55
Créances amorties en cours d'année		76 116,92
Créances au 31 décembre 1986.....	108 631,42	} 204 771,34
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1986	96 139,92	
Total		<u>388 905,81</u>

Compte V. — Réserve pour les bâtiments

RECETTES

		francs-or
ACTIF AU 1 ^{er} JANVIER 1986		821 291,74
Alimentation par le Compte I.....		1 150 000,00
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1986		90 807,40
Total		<u>2 062 099,14</u>

DÉPENSES

		francs-or
Dépenses bâtiment « Lasers » et projet de nouveau bâtiment.....		245 498,69
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1986.....		1 816 600,45
Total		<u>2 062 099,14</u>

BILAN

AU 31 DÉCEMBRE 1986

	francs-or
Compte I « Fonds ordinaires »	15 550 507,07
Compte II « Caisse de retraites »	11 843 142,42
Compte III « Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique »	523 857,79
Compte IV « Caisse de prêts sociaux »	204 771,34
Compte V « Réserve pour les bâtiments »	<u>1 816 600,45</u>
ACTIF NET	<u><u>29 938 879,07</u></u>

Cet actif se décompose comme suit :

a. Fonds déposés en banque :

	francs-or
1° En monnaie française (1 FRF = 0,551109935 FO)	816 414,27
2° En monnaie U.S.A. (1 USD = 6,47 FF = 3,565 681 282 FO)	155 874,68
3° En monnaie suisse (1 CHF = 3,94 FF = 2,171 373 146 FO)	4 066 493,34
4° En monnaie britannique (1 GBP = 9,45 FF = 5,207 988 889 FO)	668 982,89
5° En monnaie allemande (1 DEM = 3,30 FF = 1,818 662 786 FO)	9 628 000,79
6° En monnaie japonaise (1 JPY = 0,040 FF = 0,022 044 397 FO) ..	7 164 429,06
7° En monnaie hongroise (1 HUF = 0,1315 FF = 0,072 470 957 FO)	6 325,86
8° En monnaie polonaise (1 PLZ = 0,0330 FF = 0,018 186 628 FO)	14 022,99
9° En monnaie néerlandaise (1 NLG = 2,92 FF = 1,609 241 011 FO)	5 036 924,37
10° En ECU (1 XEU = 6,87 FRF = 3,786 125 256 FO)	2 366 328,28
b. Espèces en caisse	29 657,12
ACTIF BRUT	<u><u>29 953 453,65</u></u>

c. Créances de la Caisse de prêts sociaux	108 631,42
à déduire : Provision pour remboursement aux États (1)	<u>123 206,00</u>
ACTIF NET	<u><u>29 938 879,07</u></u>

(1) *Compte « Remboursement aux États »*

	francs-or
Situation au 1 ^{er} janvier 1986	570 378,00
Recouvrements sur le Pakistan	94 273,00
Compensation du remboursement des avances faites pour le Chili, l'Inde et le Pakistan	<u>— 541 445,00</u>
Situation au 31 décembre 1986	<u><u>123 206,00</u></u>

RAPPORT
DU
COMITÉ CONSULTATIF
DE PHOTOMÉTRIE ET RADIOMÉTRIE
(11^e session — 1986)
AU
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
par P.J. KEY, rapporteur

Le Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie (CCPR) s'est réuni pour sa onzième session au Bureau International des Poids et Mesures (BIPM), à Sèvres, où il a tenu six séances entre le mardi 30 septembre et le jeudi 2 octobre 1986.

Étaient présents :

W.R. BLEVIN, membre du CIPM, président du CCPR.

Les délégués des laboratoires membres :

Bureau National de Métrologie, Paris: Institut National de Métrologie [INM] du Conservatoire National des Arts et Métiers (J. BASTIE).

Conseil National de Recherches du Canada [NRC], Ottawa (L.P. BOIVIN).

CSIRO, Division of Applied Physics [CSIRO], Lindfield (J.L. GARDNER).

Electrotechnical Laboratory [ETL], Ibaraki (M. NISHI).

Institut National de Métrologie [NIM], Beijing (CHEN Xiaju).

Instituto de Optica Daza de Valdès [IOM], Madrid (A. CORRÓNS).

Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris [IEN], Turin (P. SOARDO).

National Bureau of Standards [NBS], Gaithersburg (K.D. MIELENZ, J.H. WALKER).

National Physical Laboratory [NPL], Teddington (P.J. KEY, J.R. MOORE).

National Physical Research Laboratory [NPRL], Pretoria (F. HENGSTBERGER).

Office Fédéral de Métrologie [OFMET], Wabern (P. BLASER).
Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig
(K. BISCHOFF, D. FÖRSTE, K. MÖSTL).

Les membres nominativement désignés :

F. ROTTER (Wien).
J. SCHANDA (Budapest).

Le directeur du BIPM (P. GIACOMO).

Invité :

Instituto Nacional de Tecnología Industrial [INTI], San Martin
(R.D. LOZANO).

Assistaient aussi à la session :

T.J. QUINN, sous-directeur et J. BONHOURS (BIPM).

Excusés :

Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung [ASMW],
Berlin.
World Radiation Center [WRC], Davos Dorf (C. FRÖHLICH).
K. YOSHIE, Tokyo.

Absent :

Institut de Métrologie D.I. Mendéléev [IMM], Leningrad.

Le président ouvre la séance et accueille les membres du Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie (CCPR), en particulier ceux qui assistent pour la première fois au CCPR. Il rappelle la disparition du Professeur Hahn (PTB) et celle de G. Wyszeccki (NRC), président de la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE), survenues depuis la dernière session du CCPR.

Mr. Key est nommé rapporteur.

1. Rapport sur la comparaison internationale de lampes étalons d'intensité et de flux lumineux

1.1. Présentation des résultats

Mr Bonhours présente les résultats des comparaisons (Annexe P 2). Des groupes de lampes de référence ont été établis par le BIPM, à raison d'un groupe par type de lampe employé ; ces groupes de référence ont été utilisés pour comparer les lampes étalons des laboratoires nationaux. Chaque groupe de référence du BIPM a été comparé au groupe de lampes correspondant établi par le BIPM pour la comparaison

de 1969, de façon à relier les récentes réalisations des laboratoires nationaux aux unités actuellement conservées et disséminées par le BIPM: la moyenne internationale de 1961 pour l'intensité lumineuse et la moyenne internationale de 1952 pour le flux lumineux.

Se référant au tableau XVI, qui donne le rapport entre la réalisation moyenne de l'unité d'intensité lumineuse pour chaque laboratoire et l'unité conservée au BIPM, Mr Bonhoure remarque que la dispersion des résultats semble similaire à celle obtenue en 1969 avec l'ancienne définition. Toutefois, pour les laboratoires qui ont envoyé à la fois des lampes Osram et des lampes NPL/GEC, les différences entre les résultats des deux types de lampes mesurées par le BIPM se répartissent en deux groupes distincts. Pour le CSIRO, l'INM, le NBS et le NRC les différences [Osram — NPL/GEC] sont de l'ordre de $-0,21\%$ à $-0,40\%$, et pour l'ETL, le NIM, le NPL et le NPRL de $+0,03\%$ à $+0,17\%$.

Mr Bonhoure considère ensuite le tableau XVII, qui montre les résultats de la comparaison de flux lumineux. De nouveau, la dispersion des résultats des onze laboratoires participants ne présente pas d'amélioration significative par rapport à la comparaison de 1969.

Mr Key demande si les résultats provisoires de l'ASMW ont été confirmés. Mr Bonhoure répond que non.

1.2. Résultats de la comparaison d'intensité lumineuse

Mr Blevin ouvre la discussion sur les résultats de la comparaison d'intensité lumineuse et rappelle les différences observées entre les deux groupes de lampes, différences qui divisent les huit laboratoires en deux groupes égaux. Mr Bonhoure décrit l'organisation des mesures au BIPM et on convient qu'il n'y a aucun risque d'erreur de ce côté-là. Mr Blevin se félicite de la stabilité des deux types de lampes et fait remarquer que, même si les différences entre les types de lampes dans les laboratoires nationaux sont gênantes, elles n'affectent cependant pas le résultat final; il n'y a pas, en effet, de différence significative entre le rapport moyen général pour l'un des types de lampes et celui pour l'autre type.

Mr Bonhoure remarque que les diamètres des diaphragmes placés devant les photomètres ou les distances de mesure utilisées étaient différents d'un laboratoire à l'autre; cependant, il n'y a aucune corrélation avec les effets constatés. Mr Bastie indique qu'il a observé un changement, de l'ordre de $0,4\%$ entre 18°C et $21,5^{\circ}\text{C}$, dans le rapport des intensités lumineuses des deux types de lampes en fonction de la température du laboratoire; le photomètre n'était pas thermostaté. MM. Bonhoure et Key relatent des expériences similaires avec des photomètres thermostatés qui n'ont engendré aucun effet. On demande à Mr Bastie de faire circuler ses résultats, via le BIPM.

Mr Quinn demande si les effets de convection du gaz, qui produisent des caractéristiques d'émission bi-stables pour certains types de lampes, pourraient être en cause ; en fait, de tels effets n'ont jamais été constatés sur ces lampes.

Deux autres différences possibles dans les méthodes de mesure utilisées par les laboratoires sont ensuite examinées ; elles concernent les dispositifs pour piéger la lumière en arrière de la lampe à comparer et les écrans entre la lampe et le photomètre, en particulier pour les lampes NPL/GEC. On arrive à la conclusion que tous les laboratoires ont utilisé pratiquement les mêmes dispositifs.

Mr Schanda suggère qu'une comparaison bilatérale avec un laboratoire de chaque groupe pourrait résoudre ce problème. Le NPL et l'INM acceptent d'entreprendre une telle comparaison qui entraînera d'autres mesures au BIPM. Mr Moore est d'accord pour l'organiser et la superviser ; il espère que le travail sera terminé en mai 1987. Les résultats seront transmis aux laboratoires, via le BIPM.

1.3. Résultats de la comparaison de flux lumineux

Mr Blevin oriente alors la discussion sur les résultats de la comparaison de flux lumineux et Mr Nishi soulève le problème des corrections d'absorption dans la sphère du BIPM. Mr Blevin rappelle la lettre de Mr Bonhoure aux laboratoires participants et dit qu'on a malheureusement admis que l'effet serait le même pour toutes les lampes. Or, des tests ultérieurs ont montré que l'absorption variait de façon inattendue, de quelques millièmes, d'une lampe à l'autre. Elle a été mesurée pour les lampes de quatre laboratoires (IEN, INM, NPL, ASMW — pour un type de lampe différent). Toutefois, dans l'ensemble, l'influence sur les résultats est faible.

Mr Blevin fait remarquer qu'un goniophotomètre automatique aurait évité ce problème mais aurait compliqué la tâche du BIPM. Les lampes effectivement utilisées au cours de la comparaison ont été étalonnées par goniophotométrie dans sept laboratoires et dans une sphère intégrante dans trois laboratoires.

1.4. Conséquences des comparaisons

Mr Blevin ouvre la discussion sur les conséquences des comparaisons et fait trois propositions. Il rappelle que la Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM), en redéfinissant la candela, a demandé au Comité International des Poids et Mesures (CIPM) d'organiser des comparaisons internationales. Il pense donc qu'il conviendrait que le CCPR, par l'intermédiaire du CIPM, soumette un rapport à la CGPM, en 1987, sur les résultats de cette comparaison et leur signification pour la photométrie.

Un des points importants est l'uniformité des résultats de 1985, comparativement à ceux de 1969. Le CCPR devrait aussi conseiller le BIPM sur les unités à conserver et à disséminer dans l'avenir, car celles qui le sont actuellement ne sont pas en accord avec les résultats de la comparaison : en particulier, les unités représentatives du lumen et de la candela ne sont pas cohérentes. Enfin, parce que les unités maintenues dans certains laboratoires nationaux diffèrent de façon significative de leurs nouvelles réalisations et de la moyenne des résultats de la comparaison, le CCPR devrait encourager les laboratoires à modifier ces unités pour les faire correspondre à leur meilleure valeur scientifique ou, éventuellement, à la moyenne internationale.

1.4.1. Rapport à la CGPM

Mr Blevin présente une étude statistique sur la dispersion des réalisations nationales de la candela et du lumen lors des comparaisons de 1985 et de 1969 (Annexe P2, appendice A). Il est intéressant de noter que, pour l'intensité lumineuse, il y a peu de différence entre les résultats de 1985 à 2 800 K et ceux de 1969 pour les lampes à vide à 2 045 K, mais qu'une amélioration est observée par rapport aux résultats de 1969 pour les lampes qui fonctionnaient alors à 2 859 K. La discussion est limitée aux statistiques établies en ne tenant compte que des laboratoires dont les résultats ont été confirmés. Pour le flux lumineux, on constate une amélioration par rapport aux résultats de 1969 mais, de manière surprenante, la dispersion est un peu moins grande que pour l'intensité lumineuse.

Mr Förste trouve cela assez étonnant, compte tenu du fait que l'instrumentation et les méthodes employées pour le transfert de l'intensité au flux lumineux diffèrent suivant les laboratoires et qu'il en découle inévitablement une incertitude plus grande dans les mesures de flux lumineux. Mr Lozano note que plusieurs méthodes ont été utilisées pour réaliser les étalons d'intensité lumineuse, alors que seule la méthode goniophotométrique a été employée pour passer au flux lumineux. Mr Boivin estime que, même si la dispersion n'est pas diminuée, les techniques pour réaliser la candela à partir des principes de base sont maintenant beaucoup plus simples et qu'ainsi des redéterminations de l'unité peuvent être réalisées beaucoup plus fréquemment. Mr Hengstberger signale que, bien que plusieurs laboratoires aient en principe la même échelle radiométrique parce qu'ils utilisent des instruments similaires, leurs échelles photométriques diffèrent de façon significative. Il est donc nécessaire d'étudier le processus de transfert des échelles radiométriques aux échelles photométriques. Mr Hengstberger pense aussi que les caractéristiques du filtre $V(\lambda)$ peuvent poser problème.

Mr Blevin résume la discussion, notant que le nombre croissant des techniques actuellement utilisées à la place du corps noir au point de congélation du platine donne un meilleur niveau de confiance dans le

résultat moyen, qu'un plus grand nombre de laboratoires se trouvent concernés et ont la satisfaction d'avoir leur propre réalisation de l'unité, que l'écart-type de la moyenne des résultats est certainement inférieur à celui de 1969 et qu'une base sûre a été établie pour poursuivre l'amélioration des résultats. De l'avis général, ces informations doivent être portées à la connaissance de la CGPM.

1.4.2. Unités conservées au BIPM

Le président ouvre la discussion sur les unités conservées au BIPM (Annexe P2, appendice A). Le tableau 2 montre que la valeur moyenne internationale du quotient de chaque réalisation nationale du lumen par celle de la candela (réalisation de 1985) est de 1,6 % supérieure au rapport correspondant du lumen et de la candela conservés au BIPM. Le tableau 1 montre que la candela du BIPM est d'environ 1 % supérieure à celle du SI et que le lumen du BIPM est d'environ 0,7 % inférieur à celui du SI, en supposant que les moyennes des réalisations nationales de 1985 représentent les unités du SI.

Mr Mielenz demande si ces valeurs sont les seules à prendre en compte pour recommander le changement des unités du BIPM. Mr Blevin, ainsi que Mr Key, estiment qu'il faut ignorer tout travail antérieur. Mr Soardo pense que le BIPM doit obligatoirement changer ses unités et Mr Blevin considère que l'écart-type de la moyenne des résultats (environ 0,2 %) donne le niveau probable de répétabilité pour toute comparaison future.

Mr Giacomo, faisant référence à des discussions du Comité Consultatif d'Électricité (CCE) sur le moment optimal pour effectuer un changement de cette nature, suggère que le changement n'est pas justifié si les différences sont de l'ordre de l'écart-type des résultats. En revanche, il est probable que des difficultés importantes surgiront pour une différence de l'ordre de dix écarts-types. Une différence de trois écarts-types semble raisonnable pour justifier un changement.

Mr Rotter se réfère au besoin de stabilité à long terme pour le commerce international, comme c'est le cas par exemple avec l'EIPT. Mr Blevin, soutenu par Mr Hengstberger, rappelle que la goniophotométrie a été beaucoup développée au cours des dix dernières années et suggère que les premiers résultats obtenus étaient probablement incorrects ; puisque, de toute évidence, les unités actuelles du BIPM sont incohérentes, il serait impardonnable de persister dans l'erreur. Mr Soardo signale que, pour les étalonnages industriels, un niveau de confiance de 95 % est courant. Appliquées aux récentes comparaisons, les barres d'erreur recouvriraient probablement la moyenne internationale pour la plupart des laboratoires. Une recommandation devrait être faite pour demander au BIPM de changer les unités qu'il conserve et dissémine.

1.4.3. Unités conservées dans les laboratoires nationaux

Le président sollicite, alors, des commentaires sur trois propositions concernant l'ajustement des unités des laboratoires nationaux : (1) ne faire aucun changement, (2) ajuster les valeurs sur la moyenne internationale, ou (3) ajuster les unités conservées sur la meilleure réalisation scientifique. Mr Mielenz est en faveur de la troisième proposition : puisque les laboratoires nationaux ont la possibilité de réaliser les unités suivant les définitions du SI, ils devraient être autorisés à faire les ajustements nécessaires. Tout le monde est d'accord sur ce point. Mr Schanda suggère que les laboratoires vérifient périodiquement leurs valeurs et fassent connaître le lien entre les unités qu'ils conservent et la moyenne internationale.

Mr Quinn compare cette approche à celle du CCE qui recommande, afin d'obtenir un accord aussi large que possible sur les mesures électriques, que les unités réalisées à partir des définitions du SI de l'ohm et du volt soient ajustées sur la moyenne internationale dans les prochaines années. Mr Blevin estime que, si les positions relatives des laboratoires devaient se conserver pendant une période de quatre à huit ans, il pourrait être justifié de pousser à un ajustement international. Mr Hengstberger suggère que les laboratoires nationaux mentionnent sur leurs certificats d'étalonnage le lien entre leurs unités et celles du BIPM. Mr Soardo signale la situation des services d'étalonnage des pays européens qui appartiennent au Western European Calibration Club (WECC) : tout laboratoire peut maintenir ses propres réalisations des unités pour servir de base de dissémination.

Pour conclure, Mr Blevin estime que l'on devrait recommander aux laboratoires nationaux d'aligner les unités qu'ils conservent sur leurs propres réalisations conformes au SI et d'informer le BIPM et le CCPR de leurs meilleures estimations des différences avec les unités du BIPM. De plus, il est décidé que tous les résultats nationaux des comparaisons confirmés avant le 31 octobre 1986 seraient inclus, sans pondération, dans la détermination des nouvelles unités moyennes internationales.

1.4.4. Recommandations

Ensuite, les recommandations à rédiger sont passées en revue : 1) recommandation concernant les résultats de la comparaison et les progrès réalisés à porter à la connaissance de la CGPM, 2) recommandation concernant les unités qui doivent être conservées et disséminées à l'avenir par le BIPM, 3) recommandation sur l'ajustement des unités conservées par les laboratoires nationaux. Un comité *ad hoc* (MM. Bischoff, Blevin, Giacomo, Hengstberger) est constitué pour rédiger les Recommandations P1, P2 et P3 (1986), qui sont ensuite adoptées.

Mr Blevin exprime ses remerciements au BIPM et à Mr Bonhoure pour leurs efforts durant la préparation et la conduite de la comparaison, ainsi qu'aux laboratoires nationaux pour leur coopération et leur respect du plan de travail.

2. Rapport sur la comparaison NPL/NBS des échelles de luminance énergétique spectrale

Mr Moore rappelle que ce travail fait suite à une proposition de 1979 ; il s'agit d'évaluer une lampe étalon de transfert de luminance énergétique spectrale, améliorée et mise au point au NPL. Du fait des dommages subis par deux lampes au cours du transport, deux lampes seulement ont été finalement utilisées pour la comparaison (Annexe P3).

La reproductibilité des lampes, qui n'apparaît pas dans le rapport, est supérieure à 0,5 %, mais des différences significatives entre les échelles du NPL et du NBS ont été mises en évidence. Mr Mielenz pense aussi que les lampes semblent convenir comme étalons de transfert, mais le fait que les désaccords soient supérieurs aux incertitudes l'inquiète. Mr Blevin constate que toutes les lampes photométriques se sont révélées stables lors du transport. Mr Moore remarque que les lampes à ruban sont particulièrement sensibles aux chocs.

Il ne semble pas, pour le moment, qu'il y ait lieu de poursuivre les mesures, mais Mr Blevin suggère que ces résultats pourraient être utiles lors de comparaisons spectrales futures.

3. Sensibilité spectrale absolue : rapport sur la comparaison des étalons nationaux

Mr Mielenz rend compte de la comparaison (Annexe P4). Deux types de photodiodes au silicium ont circulé dans les laboratoires nationaux afin de mesurer la sensibilité spectrale à 633 nm et à 488 nm. Le niveau d'accord d'ensemble est encourageant. En excluant les résultats s'écartant de plus de trois écarts-types de la moyenne, la dispersion des résultats est de $\pm 0,2\%$ à 633 nm et de $\pm 0,3\%$ à 488 nm. La stabilité des photodiodes est bonne (0,1 à 0,2 %) sauf dans deux cas. Le travail doit se poursuivre avec la participation de laboratoires industriels, sous les auspices de la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE).

Mr Boivin fait remarquer que les mesures à 488 nm ne semblent avoir été faites au NBS qu'après celles effectuées dans le laboratoire participant, parfois plusieurs mois après ; il n'y a donc pas eu de mesures initiales faites au laboratoire pilote, comme c'est le cas habituellement dans les comparaisons internationales, pour connaître les

changements éventuels des étalons de transfert. Mr Mielenz confirme et pense que cela peut avoir engendré des problèmes de stabilité supplémentaires. Mr Blevin pense aussi que la comparaison à 633 nm est plus satisfaisante que la comparaison à 488 nm pour cette raison.

Mr Möstl suggère que les résultats peuvent dépendre du niveau d'éclairement et qu'il est nécessaire de connaître la répartition spatiale de l'éclairement énergétique. À la PTB, on a observé des écarts d'environ 0,4 % entre la technique d'auto-étalonnage et celle des radiomètres absolus à substitution électrique ; Mr Möstl demande si, dans d'autres laboratoires, on a aussi observé de tels écarts. MM. Gardner, Key et Boivin ont tous constaté un bon accord, bien que l'éclairement énergétique maximal acceptable dépende du dispositif employé.

Mr Möstl demande si, dans le cas des récepteurs instables, on en connaît la raison. Mr Blevin constate qu'il est nécessaire de rassembler plus d'informations sur la stabilité des récepteurs. Mr Mielenz pense que le défaut de contrôle de la qualité durant la fabrication peut induire des problèmes de stabilité. Mr Key estime qu'il est nécessaire de suivre un récepteur pendant un ou deux ans pour être sûr de sélectionner un dispositif stable.

Mr Key demande s'il est possible d'effectuer des mesures complémentaires dans le cadre de cette comparaison, en particulier pour les participants qui disposaient de récepteurs instables. Mr Mielenz pense qu'il faut maintenant conclure cette phase de la comparaison. Les résultats de travaux ultérieurs des laboratoires nationaux pourront être relatés dans la littérature ; des comparaisons avec des laboratoires industriels pourront être entreprises sous les auspices de la CIE.

Mr Blevin considère que ce travail constitue une base solide pour des progrès ultérieurs en radiométrie au sein du CCPR ; il suggère que le BIPM en devienne le pivot dans le futur et acquière la compétence nécessaire pour mener une comparaison internationale, à défaut d'être actif dans le domaine de la radiométrie absolue. Il remercie Mr Zalewski et ses collègues du NBS pour leur travail.

4. Progrès réalisés par les laboratoires nationaux dans l'établissement des étalons primaires pour les grandeurs radiométriques et spectroradiométriques

La plupart des laboratoires ont fait part de progrès dans leur réponse au questionnaire CCPR/86-1. On insiste sur certains points particuliers lors de la discussion :

Le NRC a mis au point de nouveaux radiomètres absolus à film mince particulièrement bien adaptés à l'automatisation des mesures, ainsi qu'un dispositif d'étalonnage automatique en sensibilité spectrale destiné à des applications industrielles.

Mr Gardner rend compte d'un accord de l'ordre de 0,1 % entre des photodiodes au silicium auto-étalonnées (de type UDT* UV100) et un radiomètre à substitution électrique, entre 488 nm et 633 nm (Document CCPR/86-6). Une nouvelle série de bolomètres au noir d'or améliorés a été fabriquée pour servir d'étalons de sensibilité spectrale relative.

L'ETL a appliqué la technique d'auto-étalonnage à deux types de photodiodes au silicium Hamamatsu qui n'avaient pas été évalués jusqu'à maintenant par cette méthode (Document CCPR/86-9). Des différences significatives ont été mises en évidence (environ 0,8 %).

Mr Bastie a étudié le vieillissement de radiomètres à substitution électrique. Il a constaté que le facteur de réflexion de leur revêtement au noir d'or variait de 0,5 % en trois ans et qu'il fallait donc le vérifier régulièrement. La réflexion, très diffusante à l'origine, devient de plus en plus spéculaire en vieillissant. D'autres participants ont fait des expériences similaires, bien que les revêtements à haute densité semblent plus stables mais aient un facteur de réflexion dans l'infrarouge plus important.

L'IEN a étudié les effets d'échauffement des conducteurs sur son radiomètre absolu et travaille sur des méthodes mathématiques destinées à augmenter le rapport signal/bruit.

Mr Corrons signale l'application de la technique d'auto-étalonnage aux photodiodes au silicium dans le domaine spectral de 400 à 900 nm et le travail effectué pour étendre les échelles spectroradiométriques dans l'infrarouge à l'aide de radiomètres à substitution électrique.

Mr Mielenz souligne les progrès réalisés dans le domaine de la radiométrie avec filtre (comparaison d'étalons fondés sur des sources corps noir, le rayonnement synchrotron et les photodiodes au silicium ; établissement d'échelles d'éclairement énergétique spectral) ; il parle aussi des nouveaux étalons de sensibilité spectrale fondés sur des photodiodes au silicium et des améliorations dans les réalisations des échelles de luminance énergétique spectrale et d'éclairement énergétique spectral.

Le NIM a mis au point de nouveaux étalons à source corps noir (au voisinage de la température ambiante et à 3 000 K) ainsi que des lampes à deutérium comme étalons de travail dans l'ultraviolet.

Mr Key décrit un nouveau radiomètre absolu refroidi à l'hélium. Il a été conçu spécialement pour fonctionner avec des sources laser afin de déterminer la sensibilité de récepteurs à semiconducteurs comme étalons secondaires. Il a été utilisé pour évaluer la technique d'auto-étalonnage (avec des récepteurs du type UDT QED 200) et on a constaté un accord de l'ordre de 0,1 % entre 406 et 676 nm.

Mr Hengstberger a amélioré les radiomètres absolus du NPRL en les thermostatant à ± 1 mK et en utilisant des ponts à courant alternatif

* United Detector Technology

pour accroître leur sensibilité. Des comparaisons avec des récepteurs QED 200 ont montré un accord avec une incertitude de mesure de l'ordre de 0,3 % entre 400 et 700 nm.

Mr Quinn remarque que de nouvelles améliorations de la détectivité du radiomètre du type NPL sont maintenant possibles, grâce aux techniques SQUID qui permettent de repousser les limites imposées par le thermomètre à résistance de germanium. Mr Key ajoute que la constante de temps du radiomètre sera améliorée par l'utilisation d'un chauffage à film mince et peut-être aussi d'une cavité plus petite.

Mr Hengstberger propose de placer le radiomètre du NPRL sous vide afin d'en améliorer la résolution jusqu'à 10 nW.

Mr Blaser signale les progrès réalisés sur le radiomètre absolu au World Radiation Center, Davos (Document CCPR/86-3).

À la PTB, on a obtenu une meilleure précision en radiométrie absolue en automatisant les étalonnages électriques; l'exactitude des étalonnages en sensibilité spectrale est aussi meilleure.

Mr Schanda signale l'application de la technique d'auto-étalonnage à l'établissement d'échelles radiométriques et photométriques.

Mr Lozano cite une étude en cours pour comparer les mérites de la technique d'auto-étalonnage au radiomètre absolu.

Mr Mielenz pense que l'exactitude de mesure de l'aire d'un diaphragme est un facteur limitatif en radiométrie. Mr Hengstberger signale une comparaison entre quatre laboratoires: Canada, Royaume-Uni, Afrique du Sud et Belgique. Il indique qu'en raison de l'effet d'épaisseur, l'aire effective n'est pas toujours égale à l'aire géométrique. En revanche, les diaphragmes minces utilisés pour éviter cet effet peuvent être endommagés par les techniques mécaniques de mesure.

5. Progrès réalisés par les laboratoires nationaux dans l'établissement d'étalons primaires d'intensité lumineuse et de flux lumineux

Les réponses au questionnaire CCPR/86-1 montrent des réalisations nouvelles ou améliorées de la candela dans la plupart des laboratoires. Presque toutes les réalisations reposent sur des radiomètres absolus à substitution électrique. Toutefois, le NBS a utilisé la radiométrie avec filtre, mais aussi des photodiodes au silicium auto-étalonnées. La PTB considère ses lampes à vide Toshiba à 2 042 K comme les plus stables et les utilise pour réaliser la candela.

La goniophotométrie a été utilisée par tous les laboratoires qui réalisent des étalons de flux lumineux. De nouveaux goniophotomètres ont été mis au point à l'INM et à l'IOM. MM. Chen et Mielenz ont travaillé sur des lampes au sodium à haute pression comme étalons de flux. MM. Mielenz et Moore décrivent un travail en cours pour établir des étalons de flux total spectral (incandescents ou à décharge).

Mr Nishi signale les mesures goniométriques effectuées à l'ETL sur la répartition de la température de couleur des étalons de flux lumineux, en vue de leur utilisation comme étalons de flux total spectral. Des études de faisabilité ont été menées au NBS sur l'obtention d'étalons de flux, en caractérisant la réponse de la sphère intégrante et en l'étalonnant par référence à un étalon d'intensité lumineuse ou à un laser.

6. Autres travaux effectués dans les laboratoires nationaux, études relatives à la technologie des fibres optiques

À l'ETL, au NPL, à la PTB et au NBS, on a effectué de nouvelles expériences sur le rayonnement synchrotron issu des anneaux de stockage ; des comparaisons avec d'autres étalons radiométriques montrent un accord à 0,1 % en termes absolus dans le visible.

Des études approfondies sur les propriétés de récepteurs au silicium, au germanium et sur d'autres récepteurs à semiconducteurs ont été faites dans nombre de laboratoires. On a porté une attention particulière à la linéarité, à l'uniformité de la réponse spatiale et à la stabilité. Mr Möstl signale les effets supralinéaires dans la région bleu-ultraviolet avec les photodiodes au silicium. Au NBS, on a étendu l'étude de la technique d'auto-étalonnage aux photorécepteurs InGaAs/InP pour le proche infrarouge et à de nouveaux types de photodiodes au silicium pour l'ultraviolet.

Mr Mielenz signale aussi un moindre intérêt porté par le NBS aux études théoriques au profit de l'application des nouvelles technologies comme, par exemple, les méthodes d'interférométrie hétérodyne en spectrophotométrie.

Mr Bischoff mentionne le développement à la PTB des techniques d'étalonnage pour les récepteurs solaires photovoltaïques et Mr Förste signale la mesure du flux lumineux et de la répartition spatiale des diodes électroluminescentes et d'autres petites sources par goniophotométrie automatisée.

On aborde ensuite les dispositions prises par les différents laboratoires nationaux pour effectuer les mesures nécessaires dans le domaine des fibres optiques. Dans la plupart des laboratoires, les mesures de flux énergétique sont sous la responsabilité des spécialistes de la radiométrie, tels qu'ils sont représentés par les membres du CCPR. Au CSIRO, au NIM, au NPL, au NPRL et à la PTB, des étalons ont été mis au point pour la mesure du flux énergétique aux longueurs d'onde utilisées dans les systèmes de communication optique (850, 1 300 et 1 550 nm). Des installations d'étalonnage de radiomètres et de calorimètres ou des récepteurs étalons secondaires sont déjà disponibles dans certains

laboratoires. À l'ETL et au NBS, ce travail est entrepris par les spécialistes chargés des mesures de puissance laser. La responsabilité pour d'autres étalons concernant les fibres optiques incombe à des groupes particuliers dans la plupart des laboratoires.

7. Activités de la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE)

Mr Rotter indique que la division 2 (mesures physiques) s'est réunie à Paris, en juin 1985, sous la présidence de Mr Grum; après le décès de ce dernier, en décembre 1985, Mr Mielenz est devenu directeur de la division. Des réunions se sont tenues, en juin 1986, à Vienne et, en septembre 1986, à Paris. La division 2 comprend 24 comités techniques (qui sont, à proprement parler, des groupes de travail à durée de vie limitée chargés de mener à bien des tâches spécifiques). Un résumé des activités et des progrès de chaque groupe de travail est présenté.

La CIE a récemment publié les documents CIE N° 64 [Determination of the spectral responsivity of optical radiation detectors] et N° 65 [Electrically calibrated thermal detectors of optical radiation (absolute radiometers)].

Mr Rotter annonce qu'il donnera sa démission du CCPR et de la CIE à la fin de 1986. Mr Blevin le remercie pour son travail de liaison entre la CIE et le CCPR. Il est alors proposé que Mr Mielenz, qui accepte, prenne en charge ces responsabilités après le départ de Mr Rotter. Il lui est demandé de présenter le travail du CCPR à la prochaine session de la CIE.

8. Activités futures du CCPR et comparaisons internationales

8.1. Intensité lumineuse et flux lumineux

Le besoin d'autres comparaisons internationales d'intensité lumineuse et de flux lumineux est discuté. Mr Blevin fait remarquer l'effort considérable que demandent de telles comparaisons. Il pense qu'il serait plus utile que le BIPM devienne compétent dans le domaine des mesures radiométriques, ce qui ne permet pas d'entreprendre en même temps de grandes comparaisons photométriques. Mr Mielenz estime que l'orientation vers des comparaisons spectroradiométriques pourrait inclure les résultats photométriques. On est d'accord pour dire qu'aucun travail complémentaire n'est nécessaire pendant les quatre années à venir. La situation sera rediscutée et de nouvelles comparaisons pourront être prévues si nécessaire lors de la prochaine session du CCPR.

8.2. Luminance énergétique spectrale et éclairage énergétique spectral

Mr Mielenz demande si l'on doit encore s'intéresser aux comparaisons de luminance énergétique spectrale, au vu des résultats peu concluants de la comparaison d'essai entre le NPL et le NBS. Bien que six laboratoires aient les moyens de réaliser une telle comparaison (ETL, INM, NBS, NIM, NPL, PTB), il semble que l'on s'intéresse plus aux comparaisons d'éclairage énergétique spectral. La proposition de Mr Mielenz d'effectuer une comparaison dans le domaine des longueurs d'onde de 250 nm à 2 500 nm, en utilisant des lampes à filament de tungstène, rencontre un large consensus. Dix laboratoires sont intéressés par cette comparaison (CSIRO, ETL, INM, IOM, NBS, NIM, NPL, NPRL, NRC, PTB). Le NBS pourrait agir comme laboratoire pilote.

Mr Moore fait part d'un nouvel étalon d'éclairage énergétique spectral (lampe à halogène), mis au point par le NPL et la GEC*, qui conviendrait à cette comparaison. Le NPL pourrait prendre en charge le vieillissement et la sélection des lampes qui seraient achetées par les participants. Il est aussi suggéré que chaque laboratoire mesure et soumette trois lampes au NBS qui pilotera la comparaison; les lampes seraient ensuite retournées aux laboratoires nationaux pour y être mesurées à nouveau.

Ces propositions sont acceptées. Mr Blevin suggère qu'un groupe de travail restreint (CSIRO, NBS, NPL) prépare des propositions détaillées pour cette comparaison et les fasse circuler pour recueillir les commentaires des participants. Le groupe de travail aura aussi à mettre au point un plan de travail avec des échéances précises, afin d'être sûr que la comparaison soit terminée au moins six mois avant la prochaine session du CCPR. Il est important de tenir le BIPM et le président du CCPR totalement informés de tous les aspects de cette comparaison. Les invitations à participer à la comparaison doivent passer par le BIPM.

8.3. Récepteurs $V(\lambda)$

Mr Schanda fait une proposition: constatant que la qualité de la correction $V(\lambda)$ et la stabilité des photomètres courants peuvent être des facteurs limitatifs en photométrie, il estime que le BIPM, sous les auspices du CCPR, devrait organiser et coordonner un projet de fabrication et d'évaluation d'un certain nombre de récepteurs au silicium corrigés $V(\lambda)$.

* General Electric Company

La PTB considère que cela demande trop de travail et fait remarquer qu'elle participe déjà à une étude sur la stabilité des récepteurs, sous les auspices de la Commission Économique Européenne (CEE), avec l'IEN, l'INM et le NPL. Mr Key dit que le filtre $V(\lambda)$ conçu par le NPL est très stable et il pense qu'il serait plus utile d'étudier une série de récepteurs et de filtres de divers types ou de conceptions différentes.

MM. Hengstberger et Mielenz sont en principe intéressés, mais on pense que le projet dans son ensemble est trop ambitieux et n'est pas du ressort du CCPR. Le NBS, le NPRL et l'IOM décident de participer à ce projet à titre individuel.

8.4. Fibres optiques

Mr Blevin donne la liste des comparaisons futures (document CCE/86-47) prévues par le Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences du Comité Consultatif d'Électricité (CCE). Ces comparaisons comprennent des mesures de puissance aux longueurs d'onde utilisées dans les systèmes de communication optique (850, 1 300 et 1 550 nm); elles sont proposées par le NBS (Boulder) et l'ETL (Section radioélectronique).

L'idée du CCPR n'est pas d'effectuer des mesures sur fibre. Le CSIRO, l'INM, le NIM, le NPL, le NPRL, la PTB et éventuellement le NBS (Gaithersburg) sont très intéressés par cette proposition de participation par l'intermédiaire du CCPR. Certains membres considèrent que le CCPR devrait prendre la responsabilité de cette comparaison. On suggère qu'en raison du grand intérêt manifesté au sein du CCPR et du fait que sept laboratoires membres du CCPR désirent participer à la comparaison, un groupe de travail commun CCPR-CCE soit créé pour préparer cette comparaison. Mr Blevin accepte d'en discuter le principe et les modalités avec le président du CCE. Le NPL est prêt à représenter les opinions et les intérêts du CCPR si un tel groupe de travail est créé.

Mr Möstl dit qu'une comparaison directe de photodiodes au germanium de grande surface constituerait la meilleure base pour cette comparaison. On est d'accord pour estimer qu'une comparaison directe du flux énergétique est nécessaire au stade actuel; les problèmes de raccordement doivent être exclus. Mr Blevin note que des organismes autres que des laboratoires nationaux peuvent participer à cette comparaison.

Mr Giacomo signale qu'il faudra s'assurer que tous les laboratoires intéressés soient au courant de cette activité. Il n'est pas nécessaire que les participants soient membres des comités consultatifs. Mr Quinn pense qu'il faut prendre en considération le problème du partage des responsabilités entre le CCE et le CCPR, par exemple un partage suivant la valeur de la longueur d'onde. Cette question peut aussi se poser pour d'autres aspects des étalons de mesure des fibres optiques.

9. Parrainage par le CCPR d'un symposium sur la radiométrie absolue

Mr Quinn fait un rapport sur la réunion « Advances in Absolute Radiometry » qui a eu lieu à Boston, États-Unis d'Amérique, en juin 1985. Cette réunion rassemblait des personnes intéressées par la radiométrie absolue provenant de plusieurs disciplines : mesure du rayonnement optique, physique spatiale, physique solaire, météorologie. Une autre réunion similaire est prévue, probablement en 1988, et l'idée a été émise que le CCPR pourrait peut-être la parrainer. Mr Key propose que le NPL se prépare à accueillir cette réunion.

On estime que la réunion de Boston a été un succès et l'on souhaite une deuxième réunion similaire ; cependant, on considère que l'objet de cette réunion dépasse les intérêts du CCPR. Il semble aussi qu'il n'existe pas de précédent d'un parrainage par un comité consultatif et que l'on ne sache pas trop à quoi le CCPR s'engage réellement. On décide donc que le CCPR ne parrainera pas officiellement la réunion prévue, mais plusieurs membres du CCPR soutiennent à titre individuel la proposition du NPL d'agir indépendamment.

10. Programme de travail futur du BIPM en radiométrie et en photométrie

Mr Blevin estime nécessaire que le BIPM développe sa compétence dans le domaine des mesures radiométriques et établisse des étalons radiométriques secondaires stables, fondés sur les étalons d'un certain nombre de laboratoires nationaux ; ainsi une large activité pourrait se développer dans le domaine des comparaisons internationales. Mr Mielenz considère qu'une installation spectroradiométrique serait plus importante, mais elle est plus difficile à établir.

Une étroite majorité des membres pense que la radiométrie fondée sur les lasers et les moyens de réaliser une comparaison internationale devraient être la première priorité, suivie par le développement de la spectroradiométrie dès qu'on le pourra.

Mr Quinn ne pense pas que la mesure de l'aire d'un diaphragme soit réalisable, l'équipement nécessaire à ce travail n'existant pas au BIPM.

11. Questions diverses

Mr Giacomo rappelle aux membres du CCPR le document du BIPM sur l'organisation des comparaisons internationales. L'importance de tenir le BIPM informé des comparaisons à échelle réduite ou officieuses est aussi soulignée.

Mr Blevin indique que le nombre des membres et la composition du comité consultatif doivent être revus de temps en temps. Il considère que le nombre actuel est un maximum pour une action efficace; la qualité requise pour appartenir au comité est la compétence technique.

12. Publication des documents

Mr Giacomo dit que l'on devrait éviter, en général, de publier les documents de travail, car leur intérêt dépasse rarement un ou deux ans après leur rédaction. Il est aussi nécessaire de savoir si ces documents ont déjà été publiés ailleurs ou s'il est prévu qu'ils le soient.

Le président remercie tous les membres pour leur active participation et clôt la session.

Recommandations
du Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie
présentées
au Comité International des Poids et Mesures

Développement des méthodes radiométriques pour la photométrie

RECOMMANDATION P 1 (1986)

Le Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie,

considérant

— que la 16^e Conférence Générale des Poids et Mesures (1979), lorsqu'elle a promulgué une nouvelle définition de la candela, a demandé au Comité International des Poids et Mesures d'organiser des comparaisons des réalisations des unités photométriques effectuées par les laboratoires nationaux suivant la nouvelle définition,

— que la même Conférence a invité les laboratoires nationaux à accroître leurs efforts en vue de réaliser la candela suivant la nouvelle définition et d'améliorer les méthodes utilisées pour les étalonnages photométriques et les comparaisons internationales,

— que la quantité et la variété des besoins des industries fortement technologiques, en matière de mesures radiométriques et photométriques, vont en croissant,

recommande

— que le Comité International des Poids et Mesures fasse savoir à la Conférence Générale des Poids et Mesures :

- a) que les comparaisons internationales demandées ont été effectuées et ont déjà confirmé les avantages de la nouvelle définition,
- b) qu'à la suite de ces comparaisons le Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie a recommandé au Bureau International des Poids et Mesures et aux laboratoires nationaux qui ne l'ont pas déjà fait d'ajuster la valeur attribuée à leurs étalons photométriques,
- c) que, depuis la promulgation de la nouvelle définition de la candela, en 1979, un effort accru a été consacré à la réalisation des unités photométriques et, bien que l'uniformité des résultats obtenus par les laboratoires n'ait augmenté que modestement, le nombre des laboratoires qui ont entrepris de telles réalisations et la variété des techniques mises en œuvre dans ce but ont largement augmenté,

d) que les progrès constants des techniques radiométriques devraient conduire à une amélioration de l'uniformité et de l'exactitude des mesures photométriques,

— que les laboratoires nationaux poursuivent leurs efforts pour mettre au point des méthodes radiométriques et photométriques de haute exactitude.

Étalons photométriques du Bureau International des Poids et Mesures

RECOMMANDATION P 2 (1986)

Le Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie,

considérant

— que la valeur attribuée aux étalons d'intensité lumineuse ou de flux lumineux conservés par le Bureau International des Poids et Mesures doit à la fois assurer l'uniformité mondiale des mesures et être en accord avec la nouvelle définition de la candela de 1979,

— que la moyenne des résultats de la comparaison internationale de 1985 des réalisations nationales constitue la meilleure valeur de référence représentative de la candela ou du lumen,

— que la valeur attribuée depuis 1961 aux étalons d'intensité lumineuse conservés par le Bureau International des Poids et Mesures est inférieure d'environ 1 % à celle qui correspondrait à la réalisation moyenne de la candela résultant de la comparaison de 1985,

— que la valeur attribuée depuis 1952 aux étalons de flux lumineux conservés par le Bureau International des Poids et Mesures est supérieure d'environ 0,7 % à celle qui correspondrait à la réalisation moyenne du lumen résultant de la comparaison de 1985,

recommande

— que la valeur attribuée aux étalons conservés par le Bureau International des Poids et Mesures comme représentation de la candela ou du lumen soit ajustée, avec effet au 1^{er} janvier 1987, pour conserver et disséminer le résultat moyen de la comparaison de 1985 des réalisations de la candela et du lumen,

— que la valeur de ces ajustements soit publiée.

Étalons photométriques des laboratoires nationaux

RECOMMANDATION P 3 (1986)

Le Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie,

considérant

— que la valeur attribuée aux étalons d'intensité lumineuse ou de flux lumineux conservés par les laboratoires nationaux doit à la fois assurer l'uniformité mondiale des mesures et être conforme à la définition de la candela ou du lumen,

— qu'il serait prématuré de demander à ces laboratoires d'ajuster la valeur des étalons en question pour les mettre en accord avec une valeur moyenne fondée sur les résultats d'une seule comparaison internationale,

— que, cependant, un progrès appréciable serait réalisé si les laboratoires nationaux ajustaient la valeur attribuée à leurs étalons pour la mettre en accord avec la réalisation de la candela ou du lumen qu'ils ont effectuée au cours de la comparaison de 1985,

recommande

— que, pour le 1^{er} juillet 1987, les laboratoires nationaux procèdent à l'ajustement nécessaire de la valeur attribuée aux étalons qu'ils utilisent pour la conservation et la dissémination de la candela ou du lumen, pour la mettre en accord avec la définition de l'unité correspondante,

— que, pour la même date, ces laboratoires communiquent au BIPM la valeur des ajustements effectués et celle des écarts estimés entre la valeur ajustée et la valeur moyenne résultant de la comparaison de 1985,

— que ces valeurs soient publiées par le Bureau International des Poids et Mesures.

RAPPORT
DU
COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ
(17^e session — 1986)
AU
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

Par J. VANIER, rapporteur

Le Comité Consultatif d'Électricité (CCE) s'est réuni pour sa dix-septième session au Bureau International des Poids et Mesures, Pavillon de Breteuil, à Sèvres, où il a tenu six séances les 16, 17 et 18 septembre 1986.

Étaient présents :

E. AMBLER, président du CCE.

Les délégués des laboratoires membres :

Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung [ASMW],
Berlin (W. SCHLESOK).

Conseil National de Recherches du Canada [NRC], Ottawa
(B. M. WOOD, J. VANIER).

CSIRO, Division of Applied Physics [CSIRO], Linfield (I. K.
HARVEY).

Electrotechnical Laboratory [ETL], Ibaraki (K. SHIDA).

Institut de Métrologie D. I. Mendéléev [IMM], Leningrad
(Y. TARBEV, A. B. DIATLEV).

Institut National de Métrologie [NIM], Beijing (ZHANG DESHI).

Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris [IEN], Turin
(S. D'EMILIO, D. ANDREONE).

Laboratoire Central des Industries Électriques [LCIE], Fontenay-
aux-Roses (J. OSWALD, R. KNOSP, L. ÉRARD).

National Bureau of Standards [NBS], Gaithersburg (B. N. TAYLOR).

National Physical Laboratory [NPL], Teddington (O. C. JONES,
B. P. KIBBLE).

National Physical Research Laboratory [NPRL], Pretoria
(W. M. P. MARAIS).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig
(V. KOSE).

Van Swinden Laboratorium [VSL], Delft (R. KAARLS,
K. J. P. M. HARMANS).

Le directeur du BIPM (P. GIACOMO).

Invité :

Statens Provningsanstalt, Borås (H. NILSSON).

Assistaient aussi à la session : A. E. BAILEY, président du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences, T. J. QUINN, sous-directeur du BIPM, T. J. WITT, F. DELAHAYE, D. REYMANN, T. ENDO (en stage au BIPM), G. LECLERC, métrologiste honoraire (BIPM).

Excusés :

Office Fédéral de Métrologie [OFMET], Wabern (W. SCHWITZ).
J. TERRIEN, directeur honoraire du BIPM.

Absent :

Institut National de Métrologie de la Roumanie [INM], Bucarest.

Le président du CCE et le directeur du BIPM souhaitent la bienvenue aux participants. Mr Vanier est nommé rapporteur. L'ordre du jour provisoire est adopté.

La plus grande partie de la journée du 16 septembre devant être consacrée à la discussion du point I de l'ordre du jour, « Effet Josephson », il est décidé que le point IV, « Rapport du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences », sera discuté en premier le 17 septembre, avant d'entamer la discussion du point II, « Effet Hall quantique ».

1. Rapports des laboratoires

Les laboratoires nationaux ont présenté au CCE cinquante-neuf documents au total, dont la liste figure à l'annexe E 1. Compte tenu de la longueur et du nombre de ces documents ainsi que du peu de temps disponible lors de la session, il a été décidé que les contributions individuelles des laboratoires nationaux ne seraient pas exposées de façon formelle. Ces documents contenaient quantité d'informations concernant en particulier les points I et II, effet Josephson et effet Hall quantique respectivement, qui étaient les points principaux de l'ordre du jour. On a donc pensé qu'il serait plus commode de se référer aux tableaux et figures préparés par T. J. Witt et B. N. Taylor et présentés dans les annexes E 2 et E 3, qui compilent et résument les résultats disponibles de façon méthodique. Les résultats présentés sont la synthèse

des divers documents soumis au CCE ainsi que d'autres documents disponibles au moment de la compilation, comme, en particulier, les épreuves de manuscrits soumis pour publication dans les comptes rendus de la Conference on Precision Electromagnetic Measurements (CPEM) qui s'est tenue au NBS, Gaithersburg, du 23 au 27 juin 1986. Le président donne comme date limite le 18 septembre, date de clôture de la session, pour la soumission de nouveaux résultats à prendre en compte dans ces tableaux et figures.

Avant d'entamer la discussion du point I de l'ordre du jour, le président souligne l'importance des recommandations éventuelles du CCE relatives à l'adoption de valeurs du quotient fréquence-tension de l'effet Josephson et de la résistance de Hall quantifiée R_H de l'effet Hall quantique. En particulier, il souligne les répercussions importantes pour la science et l'industrie de changements comme celui qui est envisagé pour les valeurs des représentations nationales du volt. Il lui semble qu'il est plus important, lors du choix de valeurs particulières, de rechercher l'uniformité de la définition et de l'usage au niveau international, que d'être en accord parfait avec le SI.

2. Effet Josephson

Ce point de l'ordre du jour a été préparé par le document CCE/86-46 dont la première partie fait l'objet de l'annexe E 2 (p. E 111). Les numéros des tableaux et des figures qui sont mentionnés dans la suite renvoient à cette annexe.

Les tableaux E2-1 à E2-5 présentent un résumé d'une sélection de valeurs relatives à l'effet Josephson. Les figures E2-1 et E2-2 représentent sous forme graphique les résultats du tableau E2-2. Le tableau E2-1 donne les valeurs du quotient fréquence-tension adoptées par divers laboratoires nationaux. La diversité est évidente. Le tableau indique aussi les incertitudes* estimées par les divers laboratoires nationaux pour leurs meilleures mesures de la force électromotrice d'une pile étalon en fonction de la valeur qu'ils ont adoptée pour ce rapport. On a souligné qu'il était souvent possible d'obtenir une incertitude relative meilleure que 1×10^{-7} .

Le tableau E2-2 présente un résumé des résultats des déterminations de $2e/h$ en unités du SI. Les résultats ne sont pas tous indépendants. Les résultats des points 3 à 8 sont obtenus à partir du volt ou de l'ampère. Ceux des points 9 à 17 sont obtenus à partir de combinaisons diverses des constantes fondamentales et sont indépendants des mesures électriques précédentes.

* Toutes les incertitudes dans ce rapport sont données sous forme d'un écart-type.

Le tableau donne l'écart relatif Δ entre la valeur du quotient fréquence-tension précédemment recommandée par le CCE et chaque résultat :

$$\Delta = \left[\frac{483\,594 \text{ GHz/V} - 2e/h}{2e/h} \right] \times 10^6.$$

Pour apprécier plus aisément l'accord entre les diverses déterminations de $2e/h$, la figure E2-1 présente sous forme graphique, dans l'ordre du tableau E2-2 en partant du bas, les dix-sept valeurs de Δ accompagnées de leurs incertitudes. La ligne verticale en pointillé sur la gauche correspond à la valeur recommandée par CODATA en 1986. La figure E2-2 représente, à plus grande échelle, la valeur de $2e/h$ recommandée en 1986 par CODATA et cinq des valeurs les plus exactes, essentiellement indépendantes, du tableau E2-2. En particulier, elle comprend, en partant du bas, les points 3, 4, 11, 9 et 10 combinés, et 12.

La moyenne pondérée et l'écart-type de ces cinq mesures, indiqués respectivement par les lignes verticales en pointillé et en continu, sont les suivants :

$$\begin{aligned} 2e/h &= (483\,597,786 \pm 0,086) \text{ GHz/V} \\ &= 483\,594 [1 + (7,83 \pm 0,18) \times 10^{-6}] \text{ GHz/V.} \end{aligned}$$

Le tableau E2-3 a été préparé par Mr Witt pour donner une idée de l'amélioration attendue de l'exactitude de la détermination de $2e/h$ dans l'avenir, avec l'incertitude approximative et la date prévues. D'après ce tableau et les commentaires des participants lors de la session du CCE, il semble que l'on peut espérer disposer prochainement de nouvelles valeurs de bonne exactitude. Ces nouvelles valeurs devraient contribuer à mieux préciser la valeur de $2e/h$ en unités SI.

Le tableau E2-4 présenté par Mr Witt indique les différences observées entre les étalons de tension fondés sur l'effet Josephson de quatre laboratoires. Dans ces expériences, c'est l'installation « Josephson » elle-même qui a été transportée. Dans tous les cas, on a noté que l'écart relatif entre les étalons de tension Josephson était au plus égal à $7,2 \times 10^{-8}$. Le tableau E2-5 donne une autre série d'observations de différences entre les étalons de tension Josephson utilisés dans divers laboratoires, les comparaisons étant réalisées par transport de piles étalons ou d'étalons à diode de Zener. Les résultats de la colonne 5 montrent que des divergences allant jusqu'à $0,68 \mu\text{V}$ ont été obtenues entre les différences observées et les différences attendues entre les représentations nationales du volt. De plus, les résultats montrent une assez grande dispersion. En admettant que les incertitudes dans les réalisations des étalons fondés sur l'effet Josephson données au tableau E2-1 sont correctes, on doit en conclure que, dans ce cas, les différences et la dispersion sont dues à l'instabilité des étalons de transfert.

La figure E2-3 et le tableau E2-6 fournissent des résultats complémentaires relatifs aux étalons de transfert, fondés sur des expériences réalisées au NBS avec des piles étalons ou des diodes de Zener. La figure E2-4 donne des informations supplémentaires sur la dérive observée sur deux étalons de tension à diode de Zener.

La présentation de ces résultats a fait l'objet d'une longue discussion. Une des principales conclusions est que dans les comparaisons internationales de représentations nationales du volt par des méthodes autres que le transfert d'une installation Josephson, il faut s'attendre à une dispersion de l'ordre de $0,5 \times 10^{-6}$. Ces tableaux indiquent, outre les résultats de la comparaison d'étalons fondés sur l'effet Josephson, l'exactitude que l'on peut attendre des services d'étalonnage. Après une longue discussion sur la possibilité de recommander des procédures de transfert ou de nouvelles comparaisons, le CCE s'accorde, à l'unanimité, pour proposer au CIPM la Recommandation E 1 (1986) (*voir* p. 16).

La récente disponibilité, toutefois limitée, de réseaux de jonctions Josephson, a suscité beaucoup d'intérêt chez les participants. Ces réseaux, qui opèrent à une fréquence de 70 à 96 GHz, produisent des tensions de sortie de 1 volt, ce qui résoud plusieurs problèmes rencontrés lorsqu'on utilise des étalons à une seule jonction. À présent, grâce à ces réseaux, le NBS est capable d'obtenir une répétabilité durant trois semaines de 17 nV dans la mesure d'une tension de 1,018 V d'un étalon de référence à diode de Zener. Toutefois, il existe une différence relative systématique et inexplicée de $1,3 \times 10^{-7}$ entre l'ancien étalon Josephson à jonction double et le nouvel étalon à réseau de jonctions (Document CCE/86-29). D'autres délégués ont décrit leurs progrès dans ce domaine (PTB, *voir* Document CCE/86-53, et ETL, *voir* Documents CCE/86-39 et 86-40). Ils semblent tous très optimistes quant à l'avenir de ces étalons. On a fait remarquer que les réseaux de jonctions Josephson devraient, en principe, pouvoir être aisément transférés et devraient faciliter la comparaison des représentations nationales du volt entre les divers laboratoires. Le principal problème qui subsiste est la disponibilité réduite de ces réseaux. Le NBS semble être en mesure de fournir des échantillons aux laboratoires nationaux à des fins de recherche scientifique, et les membres ont été informés que les réseaux pourraient être bientôt disponibles en plus grande quantité. Le BIPM aura un réseau de jonctions Josephson dans un proche avenir, et il aimerait être en mesure d'être le laboratoire pilote pour les comparaisons d'ici à 1988.

La question de l'adoption d'une nouvelle valeur pour le quotient fréquence-tension a suscité une longue discussion. Bien que cette question concerne les constantes fondamentales, on a souligné qu'il n'était pas nécessaire que la valeur adoptée soit exactement égale à celle de $2e/h$. Le CCE est surtout concerné par l'adoption d'une valeur qui puisse être utilisée dans le monde entier pour la conservation, la dissémination et l'étalonnage des représentations du volt. Cette nouvelle valeur ne devrait pas être modifiée dans un proche avenir. Les nouvelles

déterminations de $2e/h$ et les perfectionnements des expériences en cours ont été chaudement encouragés par le comité. On avait le sentiment que ces perfectionnements confirmeraient les résultats actuels en améliorant l'exactitude. Ensuite, la discussion s'est portée sur les conséquences pratiques d'un changement de valeur des représentations du volt aussi important que le laissent présager les résultats actuels. Au vu de l'importance des changements prévus, de nombreux délégués ont suggéré qu'un temps suffisamment long soit laissé aux laboratoires pour préparer le changement.

De nombreuses suggestions relatives à l'adoption d'une nouvelle valeur du quotient fréquence-tension ont été présentées. Un vote à titre consultatif a été proposé sur les deux approches suivantes :

1) proposer une nouvelle valeur du quotient fréquence-tension lors de la présente session du CCE et procéder au vote,

2) décider de réunir le comité en septembre 1988 avec l'intention d'adopter une nouvelle valeur pour le rapport fréquence-tension, qui prendra effet à compter de 1990.

Quatre laboratoires étaient favorables à la première solution, et onze à la seconde.

À la suite de quoi, la déclaration suivante (déclaration 1986/1, au sujet de la représentation du volt au moyen de l'effet Josephson) a été adoptée à l'unanimité :

« Le Comité Consultatif d'Électricité

constate

— que l'une de ses responsabilités, en tant qu'organe de la Convention du Mètre, est d'assurer la diffusion et l'amélioration du SI, système d'unités universel,

— que l'uniformité mondiale et la constance à long terme des représentations nationales du volt sont d'une importance majeure pour le commerce et l'industrie, du point de vue technique comme du point de vue économique,

— que de nombreux laboratoires nationaux utilisent l'effet Josephson pour conserver une représentation très stable du volt mais qu'ils n'utilisent pas tous la même valeur pour le quotient de la fréquence par la tension,

— que la valeur de ce quotient donnée par le CCE en 1972 ($483\,594,0\text{ GHz/V}$), valeur que la plupart de ces laboratoires nationaux utilisent pour conserver leur représentation du volt, est maintenant reconnue comme inexacte,

— que divers laboratoires ont réalisé directement le volt ou bien déterminé des valeurs des constantes physiques qui peuvent fournir indirectement une valeur de $2e/h$ en unités SI,

— que d'autres laboratoires nationaux doivent terminer sous peu des réalisations et déterminations analogues,

estime

— que la valeur du quotient « fréquence/tension » utilisée pour conserver une réalisation du volt à l'aide de l'effet Josephson doit être en accord avec le SI,

— qu'une nouvelle valeur, en meilleur accord avec le SI, pourra bientôt être adoptée pour l'usage de tous les laboratoires,

— que cette valeur devrait être adoptée simultanément dans tous les pays concernés.

En conséquence, le Comité Consultatif d'Électricité

— *crée* un groupe de travail chargé de proposer une nouvelle valeur au CCE d'après toutes les données qui seront disponibles avant le 15 juin 1988,

— *décide* de se réunir en septembre 1988 afin de recommander la nouvelle valeur de ce quotient qui entrera en vigueur au 1^{er} janvier 1990,

— *annonce* que cette nouvelle valeur sera vraisemblablement supérieure à la valeur actuelle d'environ 8×10^{-6} en valeur relative.

De plus, le Comité Consultatif d'Électricité

— *recommande* que les laboratoires nationaux poursuivent activement leurs travaux en vue de la réalisation du volt, de la comparaison de ces réalisations et de la détermination des constantes en question, et communiquent sans délai tous leurs résultats au groupe de travail,

— *recommande* que les laboratoires ne modifient pas la valeur qu'ils utilisent jusqu'ici pour le quotient de la fréquence par la tension, jusqu'à ce que la nouvelle valeur entre en vigueur,

— *estime* que la valeur qui sera adoptée sera suffisamment exacte par rapport au SI pour qu'aucun autre changement ne soit nécessaire dans l'avenir prévisible. »

Enfin, un groupe de travail appelé « Groupe de travail sur l'effet Josephson » a été formé. Il est chargé de proposer au CCE une nouvelle valeur du rapport fréquence-tension fondée sur toutes les valeurs disponibles, avant le 15 juin 1988. Les membres de ce Groupe de travail sont MM. B. N. Taylor (NBS), T. J. Witt (BIPM), B. P. Kibble (NPL) et R. Kaarls (VSL).

3. Effet Hall quantique

L'adoption éventuelle d'une valeur pour la résistance de Hall quantifiée R_H a été longuement discutée. (Pour éviter la confusion, la grandeur déterminée de façon expérimentale à l'aide de l'effet Hall quantique est représentée par le symbole R_H et appelée la résistance de Hall quantifiée, de façon à la distinguer clairement de la constante physique h/e^2 obtenue à partir des constantes fondamentales ou par d'autres moyens.) Par commodité, ce sujet sera traité en trois parties dans ce rapport. MM. Taylor et Witt ont préparé des tableaux et figures récapitulatifs faisant le point sur la question (voir Annexe E 3, p. E 122). Les paragraphes ci-dessous résument les commentaires présentés, les questions posées et les explications données au cours de la session.

a) R_H exprimée en fonction des représentations nationales de l'ohm (Point II.A de l'ordre du jour)

Ce point traite de l'aptitude d'un laboratoire donné à mesurer R_H en fonction de sa représentation de l'ohm (Ω_{Lab}). Les valeurs données au tableau E3-1 sont les différences relatives Δ , avec leur incertitude ε , entre la valeur de R_H exprimée en fonction de la représentation de l'ohm considérée (Ω_{Lab} , Ω_{69-91}) à la date t et la valeur de référence de 25 812,8 fois cette même « unité ». Dans ce tableau, les valeurs correspondant à la représentation Ω_{Lab} à la date de la mesure sont données dans la troisième colonne intitulée « Δ et ε de R_H en fonction de Ω_{Lab} (à la date t) ». Les différences des valeurs de Δ des divers laboratoires proviennent essentiellement des valeurs des représentations de l'ohm conservées par ces laboratoires. Pour les laboratoires qui maintiennent Ω_{Lab} sous forme de groupes de résistances étalons, l'incertitude relative de la mesure de R_H en fonction de Ω_{Lab} varie de 2×10^{-8} à 15×10^{-8} , en tenant compte des incertitudes composantes de type A et de type B.

b) Comparaisons de Ω_{Lab} (Points II.C.1 et II.C.4 de l'ordre du jour)

Les comparaisons internationales de Ω_{Lab} affectent directement l'accord entre les laboratoires pour la détermination de R_H . L'annexe E 3 résume ces valeurs sous forme de graphiques et de figures.

Les résultats de la 14^e comparaison d'étalons nationaux de résistance sont résumés au tableau E3-2 où Ω_{Lab} est rapporté à Ω_{69-91} . La figure E3-1 présente un histogramme de la dispersion par rapport à la moyenne des différences $\Omega_{\text{Lab}} - \Omega_{69-91}$, différence obtenue pour chaque étalon de transfert participant à l'une ou l'autre des deux comparaisons internationales les plus récentes qui ont eu lieu au BIPM. On peut en conclure que l'aptitude actuelle à transférer Ω_{Lab} au moyen d'étalons de transfert de 1 Ω se caractérise par une incertitude relative aléatoire de l'ordre de 5×10^{-8} . Il n'est pas tenu compte des incertitudes de type B, telles que celles dues à la température, à la puissance, à la pression ou aux courants de fuite.

Les comparaisons effectuées au BIPM permettent d'évaluer la différence entre Ω_{Lab} tel qu'il est conservé par différents laboratoires et les déterminations de l'ohm. Ces valeurs sont aussi représentées dans divers tableaux et figures de l'annexe E 3.

Le tableau E3-3 donne une évaluation de Ω_{69-91} au 1^{er} janvier 1986 en fonction de l'ohm déterminé par les laboratoires qui ont réalisé un condensateur calculable. Ces résultats apparaissent aussi sous forme de graphique (Fig. E3-2). On a discuté de la dérive réelle de Ω_{Lab} que l'on doit utiliser pour réduire les valeurs d'une date à une autre. La dérive dépend dans une certaine mesure des points particuliers pris en compte dans le calcul. De plus, les laboratoires peuvent réévaluer leur dérive (par exemple par pondération). La présence d'un élément fonction du

temps dans la dérive a été discutée, mais certains participants étaient sceptiques quant à l'importance d'un tel effet. La valeur de la dérive des différents laboratoires est présentée aux tableaux E3-4a et E3-4b.

Enfin, il est possible de combiner les résultats des déterminations de l'ohm, en particulier ceux du CSIRO (NML), aux résultats des comparaisons figurant au tableau E3-2 pour évaluer le comportement de Ω_{69-BI} en fonction du temps. Les valeurs de Ω_{69-BI} déduites de cette façon apparaissent sur le graphique de la figure E3-3. La droite a été calculée par la méthode des moindres carrés, avec pondération, appliquée aux valeurs déduites des déterminations de l'ohm au CSIRO (NML) depuis 1964. Des explications détaillées sur les valeurs révisées de l'ohm réalisé au CSIRO (NML) sont données dans le document CCE/86-13. Une deuxième révision fondée sur un calcul avec pondération paraîtra dans les comptes rendus de la CPEM-86.

La précision relativement bonne que l'on obtient par transport d'étalons de $1\ \Omega$ permet une comparaison indirecte des réalisations de la résistance de Hall quantifiée R_H exprimées en fonction des représentations nationales de l'ohm et de sa reproductibilité d'un laboratoire à l'autre. La cinquième colonne du tableau E3-1 intitulée « Δ et ε de R_H en fonction de Ω_{69-BI} au 1986-01-01 » donne une indication de cette reproductibilité. Les mêmes valeurs se retrouvent sur la figure E3-4 qui illustre cette reproductibilité, la référence commune étant la valeur de Ω_{69-BI} au 1986-01-01. L'écart-type pondéré de la moyenne est de $0,04\ \mu\Omega$.

c) R_H en unités SI (Points II.B.1 et II.B.2 de l'ordre du jour)

Les déterminations de R_H , exprimées en unités SI, dans les différents laboratoires sont résumées au tableau E3-5 et illustrées sur la figure E3-5. Quatre laboratoires (CSIRO, ETL, LCIE, NPL) ont fourni les résultats de mesures indépendantes directes de R_H en ohms au moyen de l'effet Hall quantique et d'un condensateur calculable. La dispersion relative totale de ces quatre résultats est de l'ordre de 3×10^{-7} . D'un autre côté, la différence entre la valeur de h/e^2 de 1986 de CODATA et R_H obtenue à partir des mesures directes les plus précises (NML/CSIRO et NPL) est un peu meilleure, de l'ordre de 2×10^{-7} environ (voir tableau E3-6 et Fig. E3-6). (On notera que le point 8 du tableau E3-6 est affecté de la plus petite incertitude, et qu'il est utilisé comme point de référence sur la figure E3-6 pour tracer les droites en pointillé et en continu). Les perspectives de déterminations absolues à venir de R_H et h/e^2 par les différents laboratoires sont résumées au tableau E3-7.

Les résultats des mesures des étalons de travail des laboratoires nationaux et des étalons voyageurs de capacité sont présentés afin de montrer l'aptitude actuelle à conserver et comparer des condensateurs qui pourraient, grâce aux ponts d'impédance, être utilisés pour conserver et comparer des étalons de résistance. Le tableau E3-8 résume les

résultats de la troisième comparaison internationale des représentations nationales du farad (voir aussi Annexe E4). Bien que ces résultats fassent apparaître des différences importantes entre les diverses représentations du farad, l'accord entre les laboratoires qui réalisent l'ohm au moyen d'un condensateur calculable (voir Fig. E3-2) est satisfaisant, la dispersion relative étant de l'ordre de 1×10^{-7} . La figure E3-7, qui indique sur près de 20 ans le comportement comparé de trois étalons voyageurs de 10 pF fabriqués au NBS, montre qu'il est possible de prédire la valeur relative de ces étalons à $5,5 \times 10^{-8}$ près ou mieux. L'histogramme de la figure E3-8 donne la dispersion des résultats de la détermination de $F_{\text{Lab}} - F_{\text{NBS}}$ et l'écart-type relatif associé de $7,5 \times 10^{-8}$. En comparant cet écart-type avec l'écart-type relatif de $4,5 \times 10^{-8}$ associé aux résistances (Fig. E3-1), il ressort que les comparaisons de résistance ont une exactitude relative plus élevée. Ceci fait le point sur la situation actuelle de l'ohm et de R_H et sur l'aptitude à comparer les étalons correspondants.

Les mêmes questions que pour l'effet Josephson ont été soulevées. En particulier, quelle exactitude doit-on atteindre pour pouvoir adopter une valeur de R_H en unités SI? Il devint clair au cours de la discussion que, comme c'est le cas pour l'effet Josephson, on recherche tout d'abord l'uniformité internationale, la reproductibilité et un usage largement admis. De nombreux participants pensent toutefois que plusieurs questions devraient trouver une réponse avant l'adoption d'une valeur pour R_H . En particulier, les points suivants ont été abordés : la disponibilité de « bons » échantillons et leur évolution dans le temps, la caractérisation des échantillons, les critères à utiliser pour déterminer si un échantillon est bon ou pas, les variations de R_H en fonction de la température, du matériau utilisé, de la concentration et de la mobilité des porteurs, les erreurs éventuelles dues au redressement au niveau des contacts et les effets du positionnement des électrodes de Hall sur les résultats, etc. Ces considérations sont traitées en détail dans les documents CCE/86-16, CCE/86-28, CCE/86-35, CCE/86-36 et CCE/86-52.

Considérant que de nouvelles expériences pourraient permettre bientôt de répondre à ces questions, et que la relation physique exacte entre R_H et h/e^2 pourrait être mieux comprise dans un proche avenir, on a considéré qu'il valait mieux ne pas recommander d'adopter maintenant une valeur pour R_H . La déclaration suivante (déclaration 1986/2, au sujet de la représentation de l'ohm au moyen de l'effet Hall quantique) a été adoptée à l'unanimité :

« Le Comité Consultatif d'Électricité

constate

— que l'une de ses responsabilités, en tant qu'organe de la Convention du Mètre, est d'assurer la diffusion et l'amélioration du SI, système d'unités universel,

— que l'uniformité mondiale et la constance à long terme des représentations nationales de l'ohm sont d'une importance majeure pour le commerce et l'industrie, du point de vue technique comme du point de vue économique,

— que de nombreux laboratoires nationaux étudient activement la mise en œuvre de l'effet Hall quantique comme moyen de conserver une représentation stable de l'ohm,

— que cette méthode fournit des résultats très reproductibles d'un laboratoire à l'autre, mais que le nombre d'échantillons utilisables est insuffisant pour satisfaire les besoins actuels,

— que l'expérience conduit à disposer de contrôles qui permettent de garantir l'obtention de résultats à la fois reproductibles et exacts à l'aide d'un échantillon convenablement choisi,

— qu'aucun laboratoire n'a encore adopté une valeur particulière de la résistance de Hall quantifiée R_H pour conserver sa représentation de l'ohm,

— que divers laboratoires ont déterminé la valeur de R_H en unités SI en utilisant aussi bien le condensateur calculable que les déterminations des constantes physiques fondamentales,

— que de nouvelles déterminations de cette valeur devraient être disponibles prochainement,

estime

— qu'une même valeur de R_H devrait être adoptée simultanément par tous les laboratoires qui décideront de l'utiliser comme représentation de l'ohm,

— que cette valeur devra être en accord avec le SI,

— qu'une telle valeur pourra être adoptée prochainement.

En conséquence, le Comité Consultatif d'Électricité

— crée un groupe de travail chargé de proposer une valeur de R_H au CCE d'après toutes les données qui seront disponibles avant le 15 juin 1988 et d'établir des instructions détaillées pour l'utilisation correcte de l'effet Hall quantique en vue de conserver une représentation de l'ohm,

— décide de se réunir en septembre 1988 afin de recommander la valeur de R_H qui entrera en vigueur au 1^{er} janvier 1990,

— annonce que l'adoption de cette valeur pourra conduire à modifier la valeur attribuée aux représentations de l'ohm conservées dans les laboratoires nationaux et au BIPM, mais que cette modification ne devrait en général pas excéder 2×10^{-6} en valeur relative.

De plus, le Comité Consultatif d'Électricité

— recommande que les laboratoires nationaux

— poursuivent activement leurs travaux en vue d'améliorer les connaissances relatives à l'effet Hall quantique,

— activent la production et la distribution d'échantillons appropriés de semi-conducteurs,

— déterminent la valeur de R_H en unités SI en s'appuyant aussi bien sur la réalisation de l'ohm que sur la détermination des constantes fondamentales appropriées,

— effectuent si nécessaire des comparaisons bilatérales et communiquent sans délai leurs résultats au groupe de travail,

— *recommande* que le BIPM organise en 1987-1988 une comparaison internationale d'étalons de résistance de un ohm en rapport avec les travaux sur l'effet Hall quantique,

— *recommande* qu'aucun laboratoire n'adopte une valeur de R_H pour établir sa représentation de l'ohm ni n'utilise l'effet Hall quantique pour modifier la dérive actuelle de sa représentation de l'ohm jusqu'à ce que la valeur recommandée entre en vigueur,

— *estime* que la valeur qui sera recommandée en 1988 sera suffisamment exacte, par rapport au SI, pour qu'aucun changement ne soit nécessaire dans l'avenir prévisible. »

À l'appui de cette déclaration, le CCE a été unanime pour proposer au CIPM la Recommandation E 2 (1986) (*voir* p. E 17).

Un groupe de travail intitulé « Groupe de travail sur l'effet Hall quantique » a été créé. Sa mission est de proposer au CCE une valeur de R_H fondée sur tous les résultats disponibles avant le 15 juin 1988. Ses membres sont MM. B.N. Taylor (NBS), F. Delahaye (BIPM), T. Endo (BIPM/ETL), V. Kose (PTB), O.C. Jones (NPL) et B.M. Wood (NRC).

En réponse à une question concernant les mesures à prendre vis-à-vis des laboratoires qui ne sont pas équipés pour réaliser R_H ou l'étalon Josephson, il a été suggéré que ces laboratoires soient invités à tenir compte des changements que pourront entraîner l'adoption d'une nouvelle valeur du rapport fréquence-tension et d'une valeur pour R_H à la date mentionnée dans la future recommandation. Ces laboratoires ont été, en outre, encouragés à utiliser les services d'étalonnage et de certification du BIPM si nécessaire.

4. État d'avancement des comparaisons internationales

4.1. BIPM: étalons de capacité de 10 pF (Document CCE/86-2)

Cette comparaison est achevée; les résultats sont publiés dans le Document CCE/86-2 (*voir* Annexe E 4, p. E 36).

4.2. BIPM: rapport de la 14^e comparaison d'étalons nationaux de résistance (Document CCE/86-1)

Cette comparaison est achevée. Les résultats sont publiés dans le Document CCE/86-1 (*voir* Annexe E 5, page 42).

4.3. VSL : étalons de transfert courant alternatif/courant continu (Document CCE/86-59)

Le circuit d'Europe de l'ouest est achevé. Aucun résultat n'a été publié à ce jour car la comparaison internationale n'est pas terminée. Le prochain circuit comprend l'ETL, le NIM, le CSIRO (NML), le NBS, le NRC, l'IMM et l'ASMW.

4.4. PTB : mesures de puissance électrique en courant alternatif (Document CCE/86-54)

La comparaison est achevée. Les résultats font l'objet du Document CCE/86-54 (*voir* Annexe E 6, page E 60) et seront publiés prochainement dans *Metrologia*.

4.5. PTB : Inductance

La comparaison, pour des raisons diverses, a été effectuée sur une très petite échelle. Bien que le nombre de participants ait été limité, on a obtenu des résultats intéressants. Les étalons voyageurs sont toujours disponibles. Un rapport sera publié d'ici peu.

5. Rapport du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences (GTRF)

Le président du groupe de travail (A. E. Bailey) présente le rapport de ce groupe (Document CCE/86-47, *voir* p. E 18) qui s'est réuni au Bureau International des Poids et Mesures les 10 et 11 septembre 1986. Le rapport donne la liste des comparaisons achevées depuis la dernière session du GTRF, des comparaisons en cours, des nouvelles comparaisons qui vont être entreprises prochainement, et des sujets possibles pour de nouvelles comparaisons. Parmi ces nouvelles comparaisons, les comparaisons 86-4 et 86-5 qui traitent des fibres optiques, devront faire l'objet d'une entente du Comité Consultatif d'Électricité avec le Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie, par l'intermédiaire du BIPM. Des comparaisons jusqu'à 1,5 GHz sont recommandées. La prochaine session du GTRF est prévue pour 1988.

Le président remercie Mr Bailey pour la présentation de son rapport et encourage la publication des résultats des comparaisons dans la littérature scientifique. Il lui semble que le Groupe de travail est un peu trop ambitieux dans ses projets, et il aimerait qu'il soit plus sélectif dans le choix des comparaisons. Le président suggère d'envoyer à tous les laboratoires participants le document sur les méthodes de comparaison,

qui a été très apprécié. Il remarque aussi que les résultats des comparaisons sont meilleurs que par le passé, mais qu'il est encore possible de faire mieux. Il suggère d'étudier les résultats obtenus au cours des vingt dernières années. Mr Bailey approuve et ajoute qu'il compte préparer un rapport sur ce thème dans l'avenir. Il suggère que, pour toutes les questions qui relèvent de la compétence du GTRF, les personnes mentionnées dans le rapport 1986 du GTRF servent de contacts. Enfin, il propose formellement que le NIM (Beijing, Chine) et le VSL (Delft, Pays-Bas) deviennent membres à part entière du GTRF. Ces laboratoires ont été jusqu'à présent invités, alors que leur participation était celle de membres à part entière. Cela simplifiera les choses. Le CCE approuve.

Le président annonce que Mr Bailey, qui a pris sa retraite du NPL depuis plusieurs années, l'a informé de son intention de quitter la présidence du GTRF. Le président remercie Mr Bailey pour les très nombreux services qu'il a rendus au Groupe de travail pendant de nombreuses années, et demande qu'il figure sur la liste des personnes invitées au GTRF. Il nomme Mr Érard (LCIE) nouveau président du GTRF.

6. Travaux du BIPM

T. J. Witt, responsable de la section d'Électricité du BIPM, expose les travaux effectués dans cette section, et en particulier : le projet de travaux sur les réseaux de jonctions Josephson qui remplaceront l'équipement actuel vieillissant, la poursuite des étalonnages de piles et les comparaisons à l'aide du comparateur automatique, les comparaisons internationales utilisant des diodes de Zener à 10 et 1,018 volts, le travail sur le comparateur cryogénique de courants pour les comparaisons d'étalons de $1\ \Omega$ et plus généralement d'étalons dans le rapport 1 : 1, 1 : 10 ou 1 : 100, l'étude de l'effet Hall quantique avec différents échantillons et son utilisation pour la mesure de la dérive de Ω_{69-BI} . Le travail sur la mise en œuvre de résistances étalons de 10 k Ω et leur évolution dans le temps est aussi mentionné, ainsi que les projets d'automatisation des mesures à 10 k Ω et d'étude des coefficients de puissance. Enfin, Mr Witt rappelle que le BIPM effectue des étalonnages et des comparaisons d'étalons de capacité, bien qu'il n'ait pas de condensateur calculable, et qu'il maintient une activité modeste dans le domaine des étalons de transfert courant alternatif/courant continu.

Le président remercie Mr Witt pour son rapport.

7. Comparaisons internationales prévues

On a discuté des comparaisons internationales qui pourraient aider à résoudre certains problèmes, en particulier dans le domaine des étalons de tension et de résistance. La discussion sur les étalons de tension a conduit à la Recommandation E 1 (1986). Compte tenu de l'importance des données concernant les réalisations de l'ohm conservées par les laboratoires, en vue de la session de 1988, il a été prévu de faire une comparaison de résistances de $1\ \Omega$. Toute information sur chaque résistance qui participera à la comparaison devra être communiquée au BIPM, une connaissance étendue des caractéristiques augmentant normalement l'exactitude. Des propositions de comparaisons internationales à grande échelle de résistances de $6\ 453\ \Omega$, $12\ 906\ \Omega$ et $10\ \text{k}\Omega$ ont reçu un accueil réservé, ces résistances voyageant moins bien que les résistances de $1\ \Omega$ et aussi parce qu'on dispose aujourd'hui de méthodes permettant de déterminer avec exactitude le rapport de deux résistances. Toutefois, on a encouragé des comparaisons bilatérales à ces valeurs.

Il a été décidé de laisser pour le moment les comparaisons d'étalons de capacité de $10\ \text{pF}$ aux soins des laboratoires nationaux concernés.

Enfin, il a été suggéré avec insistance que les laboratoires fassent part au BIPM des résultats obtenus dans le cadre des comparaisons bilatérales en général et qu'ils les publient afin de les porter à la connaissance de tous.

8. Questions diverses

Mr Quinn a fait un bref rapport sur le changement à venir de l'Échelle internationale pratique de température de 1968 (E IPT-68). Il a souligné que cette échelle était fondée sur la thermométrie à gaz des années 1950 et 1960, dont les inexactitudes sont significatives. Les changements attendus sont à longue portée. Des corrections de l'ordre de $5\ \text{mK}$ à $20\ ^\circ\text{C}$, de $30\ \text{mK}$ à $100\ ^\circ\text{C}$ et de $0,5\ \text{K}$ à $800\ ^\circ\text{C}$ sont attendues. Ces changements sont importants pour le CCE compte tenu que les valeurs des éléments sensibles aux variations de température devront être corrigées en conséquence ou faire l'objet d'un nouvel étalonnage. Par exemple, les tables des thermocouples devront être vérifiées. Il a été suggéré que les changements des représentations du volt et de l'ohm devraient être faits en même temps que le changement de l'échelle de température. La date exacte de ce changement sera connue en 1988, et l'E IPT pourrait être modifiée en 1990 ou 1991.

**Recommandations
du Comité Consultatif d'Électricité
présentées
au Comité International des Poids et Mesures**

Transfert du volt

RECOMMANDATION E 1 (1986)

Le Comité Consultatif d'Électricité,

constatant

— que la dissémination du volt et les comparaisons internationales des réalisations du volt sont faites traditionnellement à l'aide de piles étalons du type Weston et depuis peu aussi à l'aide d'étalons à diode de Zener,

— que, d'après les résultats actuellement disponibles, la stabilité de ces étalons est insuffisante pour garantir en toutes circonstances l'exactitude souhaitable du transfert du volt,

— que l'incertitude qui en résulte est excessive, comparée à la stabilité des représentations du volt conservées à l'aide de l'effet Josephson,

recommande

— que tous les laboratoires qui participent à des comparaisons de leurs représentations du volt, comparaisons bilatérales ou multilatérales, nationales ou internationales, communiquent au BIPM les résultats de ces comparaisons afin que le BIPM puisse les compiler et les publier, pour qu'ils soient évalués tous ensemble,

— que tous les laboratoires concernés poursuivent activement l'étude et l'amélioration des étalons transportables permettant le transfert du volt d'un laboratoire à un autre, piles étalons du type Weston, étalons à diode de Zener ou dispositifs transportables à jonctions de Josephson.

Au sujet de l'effet Hall quantique

RECOMMANDATION E 2 (1986)

Le Comité Consultatif d'Électricité

considérant

la déclaration 1986/2 et en particulier

- la connaissance imparfaite des divers aspects théoriques et expérimentaux de l'effet Hall quantique,
- le nombre insuffisant d'échantillons de semi-conducteurs disponibles pour mettre en œuvre l'effet Hall quantique,

recommande

- de poursuivre activement les études relatives à la fabrication et à la caractérisation des échantillons de semi-conducteurs appropriés,
- d'encourager les industries et les laboratoires de recherche à produire les échantillons de semi-conducteurs de haute qualité nécessaires pour l'utilisation métrologique de l'effet Hall quantique,
- d'approfondir la compréhension de l'effet Hall quantique dans ses aspects théoriques comme dans ses aspects pratiques,
- d'effectuer, sous le patronage du BIPM, des comparaisons des dispositifs utilisant l'effet Hall quantique.

Rapport du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences

Le Groupe de travail s'est réuni au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, les 10 et 11 septembre 1986.

Étaient présents : Mr A. E. BAILEY, président, MM. E. BAVA (IEN), Xi DEXIONG (NIM), L. ÉRARD (LCIE), E. GRIFFIN (RSRE), C. HARMANS (VSL), I. K. HARVEY (CSIRO), A. JURKUS (NRC), D. H. RUSSEL (NBS, Boulder), K. SHIDA (ETL), U. STUMPER (PTB), R. W. YELL (NPL).

Le directeur du BIPM, P. GIACOMO.

Assistaient aussi à la réunion : MM. J. TERRIEN, directeur honoraire du BIPM ; T. ENDO, G. LECLERC, A. SATRAPINSKY et T. J. WITT (BIPM).

Excusé : le représentant de l'ASMW.

Absents : les représentants de l'IRT et de l'IMM.

Aucun représentant de l'URSI n'a participé à la réunion.

Le Groupe de travail exprime sa tristesse à l'annonce du décès de G. Almassy, survenu depuis la dernière réunion, et sa reconnaissance pour ses travaux comme représentant de l'IRT.

Le président et le directeur du BIPM souhaitent la bienvenue aux participants, puis l'ordre du jour distribué en séance est adopté.

Mr Érard est nommé rapporteur.

1. Comparaisons internationales terminées depuis la dernière session du Groupe de travail (mars 1983)

Six comparaisons sont terminées : elles sont détaillées dans le tableau I.

2. Comparaisons en cours d'achèvement

Le point sur ces trois comparaisons, terminées mais pour lesquelles les rapports finaux ne sont pas prêts, est donné dans le tableau II.

3. État d'avancement des comparaisons en cours

Le résumé de l'état d'avancement des comparaisons organisées en 1975, 1978 et 1983 est donné dans le tableau III.

4. Nouvelles comparaisons

Le Groupe de travail a examiné attentivement les propositions de nouvelles comparaisons. La double proposition de l'ASMW concernant les mesures de tension sur ligne coaxiale 50 Ω jusqu'à 1,5 GHz (document

GT-RF/86-9) n'a pas été retenue pour l'instant car elle coïncide pratiquement avec des comparaisons nouvellement terminées ou en cours (75-A5 et 75-A7).

Les nouvelles comparaisons approuvées par le Groupe de travail sont indiquées dans le tableau IV ; la liste des participants à chaque comparaison n'étant ni limitative ni close, tous les laboratoires intéressés sont invités à y prendre part après en avoir averti le BIPM.

5. Sujets éventuels de comparaisons futures

Le tableau V énumère quelques-uns des sujets de comparaisons possibles dans l'avenir. Si quelques laboratoires sont dès à présent intéressés par certains de ces sujets et organisent des comparaisons non officielles, le Groupe de travail souhaite recevoir les rapports finaux auxquels ces comparaisons donneront lieu.

6. Questions diverses

Le Groupe de travail souhaite qu'un document-guide sur la conduite des comparaisons, à l'usage du responsable des mesures à la fois en tant que laboratoire pilote ou simple participant, soit émis. Le projet sera préparé et soumis à l'approbation de chacun des participants au Groupe de travail.

7. Date de la prochaine réunion

Le Groupe de travail souhaite tenir sa prochaine réunion en 1989. La date exacte sera fixée dès que la date de la prochaine réunion du Comité Consultatif d'Électricité sera connue.

12 septembre 1986

Le Rapporteur
L. ÉRARD

Le Président
A. E. BAILEY

TABLEAU I

*Comparaisons terminées depuis la dernière session du Groupe de travail
(mars 1983)*

- 72-6 Puissance sur coaxial, à la fréquence de 6 GHz.
(Laboratoire pilote : NBS ; participants : CSIRO, NPL, LCIE, IEN, RIND, NRC, PTB, OMH).
Les résultats définitifs sont contenus dans le document GT-RF/86-6. Le NBS envisagera la publication des résultats dans *Electronics Letters*.
- 75-A1 Puissance à 15,0 GHz : efficacité de montures bolométriques sur guide d'ondes.
(Laboratoire pilote : PTB ; participants : LCIE, NBS, NRC, RSRE).
Les résultats complets sont contenus dans la monographie BIPM 84/3 et sont publiés dans la revue *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, IM-35, 1986, pp. 116-120.
- 75-A3 Affaiblissement à 15,0 GHz sur guide d'ondes.
(Laboratoire pilote : PTB ; participants : IEN, NBS, RSRE, OMH).
Les résultats définitifs sont résumés dans le document GT-RF/86-3 (Annexe E 8). Les résultats complets sont contenus dans la monographie BIPM 85/1 et dans *Metrologia*, 23, 1986/87, pp. 121-127.
- 75-A5 Tension sur ligne coaxiale 50 Ω ; 1 V ; 100, 250, 500 et 1 000 MHz.
(Laboratoire pilote : PTB ; participants : ASMW, SESC, NBS, CSIRO, OMH, IMM).
Les résultats définitifs sont résumés dans le document GT-RF/86-5. Les résultats complets sont contenus dans la monographie BIPM 84/1 et publiés dans *Metrologia*, 20, 1984, pp. 115-126.
- 75-A12 Coefficient de réflexion à 10 GHz (en module).
(Laboratoire pilote : RSRE ; participants : ETL, IEN, NBS, CSIRO, NRC).
Cette comparaison était déjà terminée en mars 1983 (document GT-RF/83-8), les résultats complets sont contenus dans la monographie BIPM 84/2 et publiés dans *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, IM-34, 1985, pp. 463-466.
- 78-8 Puissance de crête laser (10,6 μm).
(Participants : NBS, NPL).
Les résultats définitifs sont contenus dans le document GT-RF/86-1 (Annexe E 9). Aucune autre publication n'est prévue.

TABLEAU II

Comparaisons en cours d'achèvement

- 72-1 Déphasage sur guide d'ondes R 100, aux fréquences 9,0, 10,0 et 11,2 GHz.
(Laboratoire pilote : NBS ; participants : ETL, CSIRO, RSRE ; l'IEN s'est retiré de cette comparaison).
Tous les laboratoires ont terminé leurs mesures. Le NBS préparera très prochainement le rapport final ; une publication, monographique du BIPM, est suggérée.
- 78-11 Impédance sur ligne coaxiale à 100, 200 et 300 MHz (connecteur GR900).
(Laboratoire pilote : RSRE ; participants : PTB, NBS, CSIRO, VSL).
Tous les laboratoires ont terminé leurs mesures. Le RSRE prépare le rapport final (document GT-RF/86-12).
- 78-14 Puissance (1 mW) à 50 MHz sur ligne coaxiale 50 Ω .
(Laboratoire pilote : NRC ; participants : PTB, NBS, ETL, CSIRO, LCIE, IEN, NPL, VSL, FFV, OMH).
Tous les laboratoires ont terminé leurs mesures. Le NRC prépare le rapport final et une publication dans *IEEE Trans. Instrum. Meas.* (document GT-RF/86-13).

TABLEAU III

Comparaisons en cours

a. Comparaisons abandonnées

Après examen de leur état d'avancement et de l'intérêt présenté, le Groupe de travail décide que les comparaisons suivantes devraient être abandonnées.

- 75-A8 Puissance de bruit à 30 MHz.
(Laboratoire pilote : CSIRO ; participants : NBS, RSRE).
- 78-10 Puissance surfacique à 10 GHz.
(Laboratoire pilote : NPL ; participants : LCIE, CSIRO, NBS, VSL, IEN).
Comparaison abandonnée sous cette forme, elle est reprise en partie, avec la comparaison 83-2, dans la comparaison 86-1.
- 78-12 Coefficient de surtension à 10 GHz ($1\ 000 < Q < 10\ 000$).
(Laboratoire pilote : RSRE ; participants : CSIRO, NPL, IEN).
- 83-1 Impédance sur une ligne coaxiale 50 Ω à 1 MHz et 50 MHz (connecteur GR900).
(Laboratoire pilote : VSL ; participants : PTB, NBS, NPL, CSIRO, SESC).
Comparaison abandonnée sous cette forme, elle est reprise dans la nouvelle comparaison 86-2.

- 83-2 Champ électrique en ultra-haute fréquence (fréquence préférentielle : 750 MHz, niveau voisin de 10 V/m).
(Laboratoire pilote : NPL ; participants : VSL, NBS, CSIRO, IEN).
Comparaison abandonnée sous cette forme, elle est reprise, avec la comparaison 78-10, dans la comparaison 86-1.

b. Comparaisons maintenues

- 75-A4 Facteur de réflexion à 500 MHz, 3 et 7 GHz sur coaxial 50 Ω .
(Laboratoire pilote : PTB ; participants : CSIRO, ETL, NBS, NRC, CSMU, OMH, RSRE, SNIIM, VSL).
Quatre laboratoires ont terminé leurs mesures. Le NIM désire participer à la comparaison uniquement pour les mesures à 500 MHz (document GT-RF/86-2).
- 75-A6 Tension sur ligne coaxiale 50 Ω , 100 V à 30 MHz.
(Laboratoire pilote : PTB ; participant : NBS).
Les mesures sont en cours au NBS. La comparaison doit se terminer prochainement (document GT-RF/86-2).
- 75-A7 Tension sur ligne coaxiale 50 Ω , 1 mV à 30 MHz.
(Laboratoire pilote : PTB ; participants : ASMW, CSIRO, NBS, NIM, OMH, TTL, VSL).
Quatre laboratoires ont effectué les mesures. La comparaison se poursuit (document GT-RF/86-2).
- 75-A11 Puissance sur ligne coaxiale à 12, 14 et 17 GHz : efficacité de montures bolométriques équipées de connecteurs de précision 7 mm (APC-7).
(Laboratoire pilote : PTB ; participants : CSIRO, IEN, LCIE, NBS, NRC, VSL).
Quatre laboratoires ont effectué les mesures. En raison de problèmes survenus aux étalons de transfert, la PTB fournira pour la suite de la comparaison un outil et des recommandations pour connexion au banc de mesure. Le NIM désirant participer à cette comparaison vers la fin de 1987, le LCIE lui expédiera les étalons de transfert après mesure (document GT-RF/86-2).
- 75-A14 Affaiblissement à 300 MHz sur ligne coaxiale 75 Ω (connecteur GR-900).
(Laboratoire pilote : PTB ; participants : NPL, NRC, TTL, VSL).
Deux laboratoires ont effectué les mesures (document GT-RF/86-2).
- 75-B3 Facteur de réflexion à 1 GHz sur ligne coaxiale 75 Ω .
(Laboratoire pilote : NRC ; participants : LCIE, NPL, OMH, PTB, TTL, VSL).
La comparaison doit débuter prochainement. Le laboratoire pilote pense utiliser des étalons de transfert équipés de connecteurs GR900 à moins que des connecteurs nouveaux et compatibles avec les précédents ne soient choisis avec l'accord des participants (document GT-RF/86-13).

- 75-C3 Temps de montée d'impulsions sur ligne coaxiale 50 Ω .
(Laboratoire pilote : NBS ; participants : ETL, NIM*, NPL).
Le NBS contactera les laboratoires participants afin de mettre au point un programme commun.
- 78-1 Affaiblissement (60 et 100 dB) à 30 MHz sur ligne coaxiale 50 Ω .
(Laboratoire pilote : PTB ; participants : IEN, LCIE, NPL, CSIRO, VSL, FFV, NBS, NIM, OMH, PKN, VNIIFTRI).
Cette comparaison est organisée sous l'égide du Bureau Communautaire des Références (CEE) et du BIPM. La « comparaison BCR » est terminée et a fait l'objet d'un compte-rendu final distribué aux participants correspondants. Six laboratoires de la « comparaison BIPM » ont terminé leurs mesures (document GT-RF/86-2).
- 78-2 Puissance (10 mW) à 500 MHz sur ligne coaxiale 75 Ω (connecteur GR900).
(Laboratoire pilote : NRC ; participants : LCIE, NPL, OMH, PTB, TTL, VSL).
La comparaison débutera prochainement (document GT-RF/86-13).
- 78-5 Gain d'un cornet et taux de polarisation transversale entre 8 et 12 GHz.
(Laboratoire pilote : NBS ; participants : NPL, TUD, FTZ, IEN, CNET, NRC, CSIRO, ETL).
Il a été convenu que la bande de fréquence prévue initialement (4-60 GHz) devait être réduite.
Le VSL s'est retiré de cette comparaison qui suit son cours (document GT-RF/86-11).
- 78-7 Puissance laser à ondes entretenues (10,6 μm).
(Laboratoire pilote : NBS ; participants : PTB, NPL, ETL, NRC).
Le laboratoire pilote fournira aux participants les détails techniques de la comparaison (document GT-RF/86-11).
- 78-9 Énergie laser (1,06 μm).
(Laboratoire pilote : NBS ; participants : NPL, PTB, ETL, VSL*).
La comparaison pourrait débuter en 1987 (document GT-RF/86-11).
- 78-13 Puissance de bruit sur guide d'ondes R100.
(Laboratoire pilote : RSRE ; participants : CSIRO, ETL, LCIE, NBS, NIM, PTB).
Trois laboratoires ont effectué les mesures. La comparaison suit son cours (document GT-RF/86-13).
- 83-3 Puissance à 94 GHz.
(Laboratoire pilote : ETL ; participants : NBS, RSRE, LCIE).
Les mesures sont en cours actuellement au LCIE (document GT-RF/86-7).

* Sujet à confirmation

- 83-4 Mesure des coefficients de dispersion (« S parameters ») à l'aide de système « large bande » dans la bande de fréquence 2-18 GHz. (Laboratoire pilote : RSRE ; participants : NBS, CSIRO, PTB, VSL, NIM).
Le RSRE interrogera les participants potentiels pour choisir des étalons de transfert adéquats et un programme de mesure approprié (éventuellement un ordinateur avec logiciel sera fourni afin de normaliser les résultats). La PTB et le NIM ne peuvent effectuer des mesures que sur guide d'ondes (8,2-12,4 GHz) (document GT-RF/86-12).

TABLEAU IV

Comparaisons projetées

- 86-1 Puissance surfacique à 2,45 et 10 GHz.
Champ électrique entre 300 et 1 000 MHz.
(Laboratoire pilote : NPL ; participants : IEN, LCIE, NBS, VSL, CSIRO, NRC*, PTB*, NIM*.)
Cette comparaison remplace celles numérotées 78-10 et 83-2, elle débutera dès que des étalons de transfert stables dans le temps seront disponibles.
- 86-2 Facteur de surtension jusqu'à 30 MHz.
(Laboratoire pilote : NBS ; participants : IEN, LCIE, NIM, PTB, SESC, VSL, CSIRO*.)
Cette comparaison, organisée en substitution à la 83-1, peut débuter prochainement.
- 86-3 Facteur de réflexion (en module et phase) sur guide d'ondes (R320) à 3 fréquences : 27, 35 et 40 GHz.
(Laboratoire pilote : RSRE ; participants : LCIE, NIM, NBS, ETL*, NRC*.)
- 86-4 Puissance laser à 0,85, 1,3 et 1,55 μm .
(Laboratoire pilote : NBS ; participants : ETL, LCIE, NPL, VSL, VNIIFTRI*, IEN/CSELT*) (documents GT-RF/86-8 et GT-RF/86-10).
- 86-5 Affaiblissement de fibre optique (< 50 dB).
(Laboratoire pilote : ETL ; participants : NBS, VSL, NPL*, VNIIFTRI*, LCIE*, IEN/CSELT*) (document GT-RF/86-8).
- 86-6 Puissance à 20 GHz sur guide d'ondes R220, efficacité de montures bolométriques.
(Laboratoire pilote : LCIE ; participants : NBS, PTB, NIM*, NRC*, ETL*, RSRE*.)

* Sujet à confirmation

- 86-7 Puissance sur guide d'ondes à 45 GHz.
(Laboratoire pilote : NBS ; participants : RSRE*, ETL*).
De préférence, les étalons de transfert seront équipés de guide d'ondes R400 et des brides correspondantes. Cette comparaison, sous réserve de confirmation des participants, pourrait débiter avant la prochaine réunion du Groupe de travail.
- 86-8 Affaiblissement (< 25 dB) sur guide d'ondes R320 à 27, 35 et 40 GHz.
(Laboratoire pilote : RSRE ; participants : PTB, LCIE, NBS, NRC*).
La comparaison peut débiter après consultation des différents laboratoires intéressés.

TABLEAU V

Sujets éventuels de comparaisons futures

- R1 Gain d'antennes cornet dans les bandes millimétriques.
Les laboratoires intéressés sont les suivants : NBS, NPL, NRC.
- R2 Dispersion chromatique d'une fibre optique (1,2 à 1,6 μm).
La proposition du NPL intéresse le VSL.
- R3 Puissance de bruit sur ligne coaxiale dans la bande de fréquence 2-18 GHz.
Les laboratoires suivants sont intéressés : LCIE, NBS, PTB, RSRE.
- R4 Impédance dans la bande de fréquence 1-100 MHz. Cette proposition émanant du RSRE intéresse la majorité des participants.
- R5 Mesures dans les bandes millimétriques et sub-millimétriques ($f > 100$ GHz).
Le Groupe de travail ne se fixe pas de limite de fréquence de travail. Il examinera toutes propositions qui lui seront transmises et prend note que des comparaisons de mesure de puissance et de caractéristique d'équipement en transmission entre 100 et 300 GHz pourraient être organisées.
- R6 Mesure des coefficients de dispersion (« S parameters ») à l'aide de système « large bande » dans la bande de fréquence 2-18 GHz (pour éléments munis de connecteurs type N).
Cette comparaison, identique quant à son principe à la comparaison 83-4, sera organisée de manière informelle entre le RSRE et le NBS qui échangeront des étalons de transfert équipés de connecteurs type N.
- R7 Facteur de réflexion entre 75 et 105 GHz (fréquence préférentielle : 95 GHz).
Le NBS et le RSRE participeront à une comparaison informelle et informeront le BIPM de leurs progrès.

* Sujet à confirmation

Identification des laboratoires

ASMW	Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, Berlin (Rép. Dém. Allemande).
CNET	Centre National d'Études des Télécommunications, Issy-les-Moulineaux (France).
CSELT	Centro Studi Elettronica E Telecomunicazioni, Turin (Italie).
CSIRO	(ancien NML), CSIRO, Division of Applied Physics, Lindfield (Australie).
CSMU	Československý Metrologický Ústav, Bratislava (Tchécoslovaquie).
ETL	Electrotechnical Laboratory, Ibaraki (Japon).
FFV	Maintenance Division, National Industries Corporation, Arboga (Suède).
FTZ	Fernmelde Technische Zentral Amt, Darmstadt (Rép. Féd. d'Allemagne).
IEN	Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin (Italie).
IMM	Institut de Métrologie D.I. Mendéléev, Leningrad (U.R.S.S.).
IRT	Institut de Recherches des Télécommunications, Budapest (Hongrie).
LCIE	Laboratoire Central des Industries Électriques, Fontenay-aux-Roses (France).
NBS	National Bureau of Standards, Gaithersburg (États-Unis d'Amérique).
NIM	Institut National de Métrologie, Beijing (Rép. Pop. de Chine).
NPL	National Physical Laboratory, Teddington (Royaume-Uni).
NRC	Conseil National de Recherches, Ottawa (Canada).
OMH	Országos Mérésügyi Hivatal, Budapest (Hongrie).
PKN	Polski Komitet Normalizacji, Miary i Jakości, Varsovie (Pologne).
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig (Rép. Féd. d'Allemagne).
RIND	Institut de Recherches de la Défense, Stockholm (Suède).
RSRE	(ancien RRE), Royal Signals and Radar Establishment, Malvern (Royaume-Uni).

SESC	(ancien EQD), Service Electrical Standards Centre, Bromley (Royaume-Uni).
SNIIM	Institut de Recherche Scientifique Sibérien en Métrologie, Moscou (U.R.S.S.).
TTL	(ancien PTF), Telelulkimulaitos, Helsinki (Finlande).
TUD	Technical University of Denmark, Lyngby (Danemark).
VNIIFTRI	Institut des Mesures Physicotechniques et Radiotechniques, Moscou (U.R.S.S.).
VSL	Van Swinden Laboratorium, Delft (Pays-Bas).

RAPPORT
DU
COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE
(16^e session — 1987)
AU
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
par M. DURIEUX, rapporteur

Le Comité Consultatif de Thermométrie (CCT) a tenu sa 16^e session au Bureau International des Poids et Mesures (BIPM), à Sèvres, du 9 au 11 juin 1987.

Étaient présents :

H. PRESTON-THOMAS, membre du CIPM, président du CCT.

Les délégués des laboratoires membres :

Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung [ASMW],
Berlin (H. MAAS).

Československý Metrologický Ústav [CSMU], Bratislava (M. BORO-
VICKA).

Conseil National de Recherches du Canada [NRC], Ottawa (R. E.
BEDFORD).

CSIRO, Division of Applied Physics [CSIRO], Lindfield (T. P.
JONES, R. C. KEMP, J. J. CONNOLLY).

Institut de Métrologie D. I. Mendéléev [IMM], Leningrad
(A. POKHODOUN).

Institut National de Métrologie [NIM], Beijing (LING Shankang).

Institut National de Métrologie [INM], Paris (G. BONNIER).

Istituto di Metrologia G. Colonnetti [IMGC], Turin (L. CROVINI,
F. PAVESE).

Kamerlingh Onnes Laboratorium [KOL], Leiden (M. DURIEUX).

National Bureau of Standards [NBS], Gaithersburg (R. J. SOU-
LEN, Jr.).

National Physical Laboratory [NPL], Teddington (R. L. RUSBY,
M. V. CHATTLE).

National Research Laboratory of Metrology [NRLM], Ibaraki
(H. SAKURAI).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig
(W. BLANKE, H.-J. JUNG).

Van Swinden Laboratorium [VSL], Delft (P. BLOEMBERGEN).

L'un des membres nominativement désignés :

C. A. SWENSON, Ames.

Le directeur du BIPM (P. GIACOMO).

Assistaient aussi à la session : J. TERRIEN, directeur honoraire (présent à la première demi-séance) ; T. J. QUINN, sous-directeur ; J. BONHOURE, R. P. HUDSON et G. GIRARD, adjoints au directeur du BIPM ; A. SATRAPINSKY (interprète).

Absents : Institut des Mesures Physicotechniques et Radiotechniques [VNIIFTRI], Moscou ; F. G. BRICKWEDDE (Pennsylvania), membre nominativement désigné.

Pour l'essentiel, la réunion a commencé par le rapport des présidents des groupes de travail :

Groupe de travail 1 — Présentation d'un projet de nouvelle échelle de température (appelée ici EIT-90).

Groupe de travail 2 — Présentation d'un projet de monographie « Techniques for Approximating the IPTS-68 and the EPT-76 ». Les commentaires que les membres du CCT auraient à faire sur ce projet devraient être communiqués au président du Groupe de travail 2 (R. E. Bedford) en septembre 1987 au plus tard.

Groupe de travail 3 — Résumé des dernières observations concernant les thermomètres à résistance de platine pour la mesure des hautes températures, à savoir : la confirmation de la migration du nickel au travers des fourreaux en silice ; l'inaptitude de l'eutectique cuivre/argent, ou de la pression de vapeur d'un caloduc, comme point fixe de définition au voisinage de 800 °C ; les récentes améliorations du comportement des thermomètres ; l'étude des diverses formules d'interpolation ; l'accord général sur le choix du point de congélation de l'argent, et non de l'or, comme limite du domaine.

Groupe de travail 4 — Suggestion qu'un article rassemblant les connaissances actuelles de $T - T_{68}$, prévu à l'origine pour être publié dans *Metrologia*, soit considéré comme une communication privée (et susceptible d'être corrigée) aux membres de la présente session du CCT.

Recommandation d'utiliser un thermomètre à gaz comme instrument étalon de l'EIT-90 entre 4 K (et non 3 K) et 24 K environ ; d'employer les échelles à pression de vapeur de l'hélium dans le domaine le plus large possible, mais en excluant celle de ^4He au-dessous du point λ ; de remettre à plus tard le choix de la limite inférieure de l'EIT-90.

Une longue discussion, centrée essentiellement sur le rapport du Groupe de travail 1 et sur le projet de résolution proposé par le CIPM à la 18^e CGPM, s'est engagée ensuite pour savoir si le CCT serait vraiment en mesure de donner dès 1989 une forme définitive à l'EIT-90 pour que celle-ci soit promulguée en 1990. On a fait remarquer que des études importantes intéressant l'EIT-90 et sa relation aux températures thermodynamiques étaient en cours dans un certain nombre de laboratoires et que les résultats de ces expériences ne seraient pas connus en 1989. Les erreurs numériques dans l'EIT-90 risquent donc d'être nettement plus grandes qu'elles ne le seraient pour une échelle publiée plus tard ; de plus, il est possible que des laboratoires restreignent les crédits consacrés à ces études si l'on sait que l'EIT-90 sera promulguée avant leur achèvement. En revanche, on peut dire aussi qu'on se trouve presque à tout moment dans cette même situation.

La plupart des participants sont d'accord sur ce qui suit : compte tenu de la répugnance toujours plus grande (encore peut-on discuter ce fait) à apporter des changements numériques aux systèmes de mesure, mais compte tenu aussi de l'occasion qui se présente de faire coïncider la solution de continuité introduite par l'EIT-90 avec les modifications prévues aux unités électriques, il est important de publier l'EIT-90 qui — cela ne fait aucun doute — sera bien supérieure à l'EIT-68. On pourra toujours, sans trop de difficulté, apporter ultérieurement des changements autres que numériques. Il est convenu de suivre l'opinion qui prévaut et d'essayer d'assurer l'échéance de 1990, en ne perdant pas de vue que le projet pourrait être retiré en 1989 si nécessaire, bien que cela ne soit pas souhaitable.

Plusieurs aspects des thermomètres à résistance de platine pour la mesure des hautes températures comme instruments étalons de l'EIT-90 ont été considérés. On a discuté des formules d'interpolation possibles, en se rapportant à des documents précis. La forme la plus convenable semble devoir être une fonction de référence assortie de plusieurs fonctions-écarts. On a constaté des améliorations récentes dans le comportement des thermomètres, mais il est manifeste qu'il subsiste des défauts fâcheux. Il semble que les thermomètres de fabrication chinoise soient stables à ± 5 mK près jusqu'à 1 064 °C, au moins à court terme.

L'expérience que l'on a des thermomètres de fabrication japonaise suggère qu'il existe une relation étroite entre un terme α élevé et une bonne stabilité à haute température. On a noté qu'il faut porter attention aux problèmes liés aux fuites électriques dans les isolants des thermomètres et à l'influence de la fréquence des dispositifs de mesure. L'amélioration

du comportement des thermomètres laisse à penser que les points de congélation aux températures élevées sont moins reproductibles qu'on ne le croyait précédemment ; on pourrait organiser des comparaisons entre laboratoires aux points de l'argent et de l'or. De plus, on est un peu préoccupé du manque de thermomètres de fabrication commerciale.

La question d'une limite inférieure de l'EIT-90 au-dessous de 1 K a été discutée brièvement. Parmi les techniques possibles, il y a la thermométrie suivant la courbe de fusion de ^3He , les points de transitions supraconductrices, la thermométrie à gaz de ^3He . À l'heure actuelle, il semble conseillé de conserver la limite inférieure de l'EIT-90 au niveau relativement élevé (1 K par exemple) prévu initialement ; un abaissement ultérieur est toujours possible et la procédure en est assez simple. En revanche, revenir sur une définition initiale qui a été mal étudiée est à la fois difficile et embarrassant.

D'autres questions connexes ont été soulevées. Des mesures de divers points fixes secondaires (en particulier ceux du gallium, de l'indium, du cadmium et de l'antimoine), faites avec des séries importantes de thermomètres à résistance de platine, ont donné des valeurs numériques vraisemblables pour l'unicité de l'EIPT-68 dans le domaine compris entre 0 °C et 650 °C. On a reconnu l'importance du thermocouple or/platine nouvellement mis au point comme instrument très précis (± 10 mK environ) jusqu'à 1 000 °C. Ce thermocouple sera vraisemblablement utilisé comme étalon de transfert avec l'EIT-90 et risque même de concurrencer le thermomètre à résistance de platine pour la mesure des hautes températures comme instrument étalon au-dessus de 600 °C. Bien qu'il soit moins précis que le thermomètre à résistance de platine, il est nettement plus simple et beaucoup moins cher. Le thermocouple palladium/platine semble avoir une importance comparable au-dessus de 1 000 °C. On a insisté sur la nécessité d'avoir une autre possibilité de définir l'EIT-90 avec grande précision entre -40 °C et $+40$ °C. On a confirmé que le manque de reproductibilité du point triple de l'oxygène, phénomène observé entre laboratoires, est dû à la contamination par l'argon. Il semble que les problèmes de contamination du deutérium par l'hydrure de deutérium rencontrés auparavant soient en grande partie réglés, ce qui permet d'envisager d'utiliser le point triple du deutérium comme point fixe de définition de l'EIT-90.

Lors de l'étude minutieuse du projet de rédaction de l'EIT-90, plusieurs points ont été soulevés concernant le texte lui-même, les détails des définitions et le temps qu'il faudra pour remplir les blancs et pour résoudre les questions encore pendantes. Parmi les points de détail, il faut noter : la nécessité d'une représentation lisse des températures thermodynamiques ; le choix entre 3,2 K et 4,2 K pour la limite inférieure du thermomètre à gaz ; le choix des points fixes ; le problème, dans les définitions, des domaines de température qui se chevauchent ; les méthodes d'interpolation ; le désir de ne pas avoir de points d'étalonnage obligatoires très en dehors du domaine courant d'utilisation du

thermomètre. La plupart de ces questions ont été laissées au Groupe de travail 3 pour qu'il les résolve et soumette des propositions au CCT en temps utile.

Au cours de la matinée du 11 juin, les groupes de travail se sont réunis, soit séparément, soit dans diverses combinaisons, pour étudier plusieurs des questions posées jusque là.

On a discuté ensuite, dans le détail, l'organisation, la composition et les tâches des groupes de travail :

Groupe de travail 1 — Préparation du texte de l'EIT-90 et révision de la monographie « Supplementary Information for the ITS-90 ».

H. Preston-Thomas (président)
P. Bloembergen
T. J. Quinn

Groupe de travail 2 — Achèvement de la monographie « Techniques for Approximating the ITS ».

R. E. Bedford (président)
G. Bonnier
H. Maas
F. Pavese

Groupe de travail 3 — Définition du domaine du thermomètre à résistance de platine dans l'EIT-90.

L. Crovini (président)
H.-J. Jung
R. C. Kemp
Ling Shankang
H. Sakurai
J. F. Schooley

Groupe de travail 4 — Mise au point des meilleures valeurs de $T - T_{68}$ et communication de ces valeurs au Groupe de travail 3 ; définition du domaine du thermomètre à gaz dans l'EIT-90. (Ces sujets seront traités par deux sous-groupes à l'intérieur de ce Groupe de travail.)

R. P. Hudson (président)
M. Durieux
R. L. Rusby
R. J. Soulen
P.P.M. Steur
C. A. Swenson

On a minutieusement rédigé deux recommandations, T1 et T2, à soumettre au CIPM. T1 insiste sur la nécessité de poursuivre les

recherches en thermométrie fondamentale. T 2 traite de l'importance de la mise au point à venir de méthodes simples et peu coûteuses pour faire des mesures de température.

On a aussi rédigé une déclaration (1987/1) : son texte traduit l'effet désastreux de la réduction, qui s'est récemment étendue, des moyens consacrés à la recherche en thermométrie dans les laboratoires nationaux. De plus, on a noté et déploré la récente décision du CIPM de reporter sur la radiométrie les efforts consacrés par le BIPM à la thermométrie, essentiellement en réduisant les travaux de recherche et les services d'étalonnage pour l'extérieur.

Dans les mesures précises de température, on rencontre des difficultés qui sont encore loin d'être résolues, bien qu'elles ne constituent pas, en principe, des obstacles insurmontables.

Au cours des dernières années, cinq grands laboratoires nationaux, ainsi que le Bureau International des Poids et Mesures, ont notablement réduit les moyens consacrés à leurs recherches sur les étalons thermométriques. Ce concours de circonstances fortuit a sérieusement entravé l'élaboration d'une nouvelle échelle de température et amoindri la confiance accordée à son exactitude. Il aura pour effet, dans l'avenir, de ralentir les études concernant la détermination plus exacte de la température thermodynamique dans l'Échelle internationale de température de 1990 [EIT-90] (c'est-à-dire la détermination des erreurs), ainsi que de ralentir tout progrès dans l'amélioration, l'extension et l'exploitation des possibilités de l'EIT-90.

À la lumière de ce qui précède, le Comité Consultatif de Thermométrie souhaite attirer l'attention du Comité International des Poids et Mesures sur le fait qu'il estime très important de ne pas réduire davantage, dans l'ensemble du monde, les recherches en thermométrie de précision et qu'au contraire il souhaite voir s'inverser, dès que possible, la tendance actuelle, accidentelle, à réduire ces recherches.

Un échéancier pour la préparation de l'EIT-90 a été établi : l'EIT-90 doit être terminée en septembre 1989 ; en fait, elle doit être achevée à l'automne 1988 pour laisser suffisamment de temps aux membres du CCT pour l'étudier et la vérifier. Le tableau des valeurs de $T - T_{68}$ doit être prêt le 1^{er} janvier 1989. Les groupes de travail présenteront leur rapport en mars 1988. La monographie que prépare le Groupe de travail 2 doit être convenablement revue pour être en accord avec l'EIT-90 et prête à publier à la fin de 1988.

On est convenu que seuls les rapports des groupes de travail seraient publiés en annexe au rapport de la 16^e session du CCT ; il est rappelé que le rapport du Groupe de travail 4 est complété par un document traitant des différences $T - T_{68}$, que le rapport du Groupe de travail 3 comporte deux documents et que le rapport publié du Groupe de travail 2 se limitera à une brève mise au point sur l'état d'avancement de la monographie en cours de préparation.

On a décidé que la prochaine session du CCT aurait lieu en septembre 1989, après avoir discuté des avantages qu'il y aurait à se

réunir en 1988 ; la question a été soumise à un vote et seule une petite minorité s'est déclarée en faveur d'une réunion en 1988. Il est évident, toutefois, qu'un certain nombre de réunions de groupes de travail, et de très nombreuses consultations entre groupes, devront avoir lieu d'ici le mois de septembre 1989.

Quelques questions diverses ont été brièvement abordées : l'EIT-90 doit-elle définir la résistance réduite W comme égale à $R/R(0\text{ °C})$ ou à $R/R(0,01\text{ °C})$? Doit-on exprimer le terme α à partir de $W(\text{Ga})$? Doit-on procéder à des comparaisons entre des cellules scellées d'argent et aussi d'aluminium ? Comment résoudre la question des erreurs dues aux fuites électriques dans les thermomètres à résistance de platine pour la mesure des hautes températures, alors que le programme de travail du NRC a été réduit ? L'ASMW a obtenu l'accord du CCT pour organiser une comparaison internationale de points fixes supraconducteurs.

9 juillet 1987

**Recommandations
du Comité Consultatif de Thermométrie
présentées
au Comité International des Poids et Mesures**

Nécessité de travaux fondamentaux en thermométrie

RECOMMANDATION T 1 (1987)

Le Comité Consultatif de Thermométrie,

tout en déclarant que la valeur T_{90} de la température mesurée dans l'Échelle internationale de température de 1990 (EIT-90) sera aussi voisine de la température thermodynamique T que le permettent les connaissances actuelles,

reconnait

— que l'adoption de l'EIT-90 ne signifie en aucune façon que nous ayons maintenant une connaissance définitive de la valeur des températures thermodynamiques,

— que le travail nécessaire pour développer cette connaissance fondamentale par des déterminations directes des températures thermodynamiques est difficile, complexe et de longue haleine,

— qu'il est nécessaire d'anticiper les besoins à venir d'exactitude et de précision croissantes,

propose, en conséquence, de surveiller en permanence l'accord entre T_{90} et T au fur et à mesure des progrès de la science.

insiste sur l'importance de l'étude et de la mise en œuvre de méthodes nouvelles conduisant à des déterminations plus exactes des températures thermodynamiques, dans tout le domaine couvert par l'EIT-90 et aussi vers les très basses températures jusqu'à quelques millikelvins,

et insiste sur l'importance de la poursuite des travaux des laboratoires nationaux dans ce but.

Méthodes simplifiées et économiques de mesure des températures

RECOMMANDATION T2 (1987)

Le Comité Consultatif de Thermométrie,

tout en reconnaissant que sa tâche principale est de veiller à améliorer la mise en pratique et à mettre à jour périodiquement l'Échelle internationale de température, s'est efforcé dans les années récentes de répondre aux demandes des chercheurs, ingénieurs et autres utilisateurs qui ont besoin de bonnes mesures de température plutôt que de mesures de température du niveau le plus élevé,

a noté les travaux récents sur les thermocouples or/platine et palladium/platine indiquant que ces thermocouples peuvent présenter des avantages appréciables, pour de nombreux usages, par rapport aux thermocouples habituels platine/platine rhodié.

En conséquence, le Comité Consultatif de Thermométrie,

recommande aux laboratoires nationaux de poursuivre leurs recherches sur les méthodes simplifiées et de coût réduit de mesure des températures, en particulier sur ces nouveaux thermocouples pour déterminer leur fonction ainsi que les règles pratiques de construction et d'utilisation qui devraient permettre d'exploiter au mieux leurs possibilités.

INDEX

- Balances (*voir* Masses)
- Base géodésique
fils d'invar, 29 ; abandon des étalonnages, 29
- Bâtiments
- Bâtiment des lasers (mise en conformité du monte-charge), 26
- Dépendances (consolidation de la colline derrière l'Observatoire, plantation de troènes le long de la clôture, remplacement des marronniers de l'allée du Mail par des tilleuls argentés), 26
- Nouveau Pavillon (état d'avancement), 5, 21, 26
- Observatoire (réfection d'un bureau au 1^{er} étage, mise en conformité du monte-charge), 26
- Petit Pavillon (consolidation de la voûte de la cave, amélioration de l'isolement thermique), 26
- Rayonnements Ionisants (mise en conformité de l'installation électrique, réfection des peintures du hall des neutrons), 26
- BIH (*voir* Temps)
- Certificats et Notes d'étude, 83
- CIE (activité), P13
- CGPM (18^e), préparation, 7
proposition de l'URSS (répartition des contributions), 7
proposition de l'Argentine (retirée), 10
- Comités consultatifs
- Électricité, rapport, E1
- Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (section II : mesure des radionucléides), 14
- Photométrie et radiométrie, rapport, P1
- Thermométrie, 12 ; rapport, T1
- réunions futures, 15
- Comité International
bureau du Comité, 2 ; élection après la CGPM, 23
composition, VII
prochaine session, 23
rapport du secrétaire, 2
renouvellement par moitié et tirage au sort de 3 membres sortants, 11
- Comparaisons internationales
- étalons électriques, représentations nationales de l'ohm, 51, E8, E12, futures, E15 ; capacité (10pF), E12 ; transfert courant alternatif-courant continu, E13 ; puissance électrique en courant alternatif, E13 ; inductance, E13 ; GTRF (listes des comparaisons), E20 ; étalons à diode de Zener, 61
- gravimètres (2^e comparaison internationale), 22, 43
- lasers (avec le VNIIFTRI et le LPTF), 28, 34 ; projets, 36
- masses (préparation de la 3^e comparaison internationale), 23
- mesures neutroniques, 67
- photométric (résultats de la comparaison d'étalons d'intensité et de flux lumineux), 63, P2 ; comparaison d'échelles de luminance énergétique spectrale (NBS/NPL), P8, future comparaison d'éclairage énergétique spectral, P14 ; sensibilité spectrale absolue, P8 ; fibres optiques (collaboration entre CCE et CCPR pour les comparaisons envisagées), P15
- radionucléides (¹⁰⁹Cd, ¹²⁵I), 70
- rayonnement γ du ⁶⁰Co (dose absorbée), 65
- temps (récepteurs du GPS), 27
- Déclaration
- du CCE (Au sujet de la représentation de l'ohm au moyen de l'effet Hall quantique), E10 ; (Au sujet de la représentation du volt au moyen de l'effet Josephson), E6
- du CCT (Au sujet de la réduction des moyens consacrés à la recherche en thermométrie dans les laboratoires nationaux), T6
- Dépôt des prototypes métriques (visite du), 12
- Échantillonnage sélectif (méthode d') (*voir* Radionucléides)
- Échelle internationale pratique de température (*voir* Thermométrie)

- Électricité
conservation et transfert du volt, 58
effet Hall quantique, 27, 55, E7; déclaration 1986/2, E10
effet Josephson, 58, E3; déclaration 1986/1, E6
mesures de résistance, 50
- Étalons
Électricité, étalons de résistance de $1\ \Omega$, 50, 61; de tension à diode de Zener, 60; piles, 58
Longueur, à bouts plans, 29; règles divisées, 28
Masse en Pt/Ir, 37; en acier inoxydable, 38; en Nicral D, 39; en alacrite, 39
Radiométrie (grandeurs radiométriques et spectroradiométriques), P9; intensité et flux lumineux, P11
Rayonnements ionisants, chambres d'ionisation, 63; exposition, 64
- Fibres optiques, P12; Groupe de travail commun CCE-CCPR, P15, E13
- Gravimétrie (résultats de la comparaison de gravimètres absolus), 22, 43
- Groupes de travail
du CCE (grandeurs aux radiofréquences), rapport, E13, E18
commun CCE-CCPR sur les fibres optiques, P15, E13
du CCT, T2, T5
- Informatique (enregistrement des données sur disquettes), 27
- Lasers
à He-Ne asservis sur l'iode en cuve interne, à $\lambda = 633\ \text{nm}$, 29, lasers asservis sur le Lamb dip, 32, laser asservi par effet Zeeman, 32, lasers asservis sur le maximum du profil d'intensité, 32; à $\lambda = 612\ \text{nm}$, 31; à $\lambda = 3,39\ \mu\text{m}$, en cuve interne, 33, collaboration avec le VNIIFTRI et le LPTF, 28, 34, en cuve externe, 35
étude de la pression atmosphérique sur la fréquence de lasers asservis, 32
- Longueurs, 28
installation d'un nouveau système d'enregistrement des données, 28
- Manométric, 45
manobaromètre normal, 45; jauges de pression, 45
- Masses
balance à suspensions flexibles, 39
balance hydrostatique Stanton, 39
balance Mettler de portée 1 kg, 39
balance Ruelprecht de portée 1 kg, 39
prototypes du kilogramme (autorisation de sortie), 23
- Metrologia*, 81
- Notice
sur les organes de la Convention du mètre, V
- Personnel
chercheur associé, 26
départs, 21, 25
engagements, 6, 25
liste du, IX
nominations, 22, 25
- Photométrie, 63; récepteurs $V(\lambda)$, P14; travaux futurs, P16
- Préfixe pour 10^{-21} , 23
- Projet de résolution H pour la CGPM (répartition des contributions), 10
- Publications
du BIPM, 80
extérieures, 81
rapports internes, 82
brochure sur le BIPM et la Convention du Mètre, 5
- Questions administratives, 18
révision des allocations de foyer et d'expatriation, 18
- Questions financières, 18
actif du BIPM, 3
comptes, 97
dépenses relatives au TAI, 10
dotation pour la période 1989-1992, 10
projet du budget pour 1988, 19
- Radiométrie (équipement du laboratoire), 62; parrainage par le CCPR d'un symposium sur la radiométrie absolue, P16; travaux futurs, P16
- Radionucléides
activité (mesures d'), 69; (^{109}Cd et ^{125}I), 28
échantillonnage sélectif (méthode d'), 28, 78
statistiques de comptage, 74
- Rayonnements ionisants, 63
- Rayons X, 63; rayonnement γ du ^{60}Co , 64
- Recommandations
CCE (Transfert du volt), E16; (Au sujet de l'effet Hall quantique), E17
CCPR (Développement des méthodes radiométriques pour la photométrie), P18; (Étalons photométriques du BIPM), P19; (Étalons photométriques des laboratoires nationaux), P20
CCT (Nécessité de travaux fondamentaux en thermométrie), T7; (Méthodes simplifiées et économiques de mesure des températures), T8
- Système international de référence (SIR), 69, 73
- Système Giorgi (symposium sur le), 23

Temps

algorithmes, 48
atomique international (TAI), 45; théories dynamiques, 48; accord de l'UGGI pour le transfert au BIPM, 22
diffusion des données sur le temps, 49
échelles de temps, 45
Global Positioning System (GPS), 46
LORAN-C, 47
terrestre (TT), 48
universel coordonné (UTC), 45

Thermométrie

Échelle internationale pratique de température (EIP), 13, 78, E15; thermomètres à résistance de platine pour la mesure des températures moyennes, 78

Échelle internationale de température (EIT-90), T3; échéancier, T6

réduction des moyens consacrés à la thermométrie dans les laboratoires nationaux (déclaration 1987/1), T6

températures thermodynamiques, étude par pyrométrie infrarouge, 79

Travaux du BIPM (présentation par le directeur du BIPM), 16

Travaux en liaison avec les organismes internationaux et nationaux, 87

Visites et stages au BIPM, 93

Voyages, visites, conférences et exposés du personnel, 88

TABLE DES MATIÈRES

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

76^e session (octobre 1987)

	Pages
Notice sur les organes de la Convention du Mètre	v
Liste des membres du Comité International	vii
Liste du personnel du Bureau International	ix
Ordre du jour de la session	x
Procès-verbaux des séances, 9 et 15 octobre 1987	1
1. Ouverture de la session; quorum; ordre du jour	1
2/3. Rapport du secrétaire du CIPM et rapport sur l'activité du bureau du Comité	2
4. Préparation de la 18 ^e Conférence Générale	7
4.1. Proposition de l'URSS	7
4.2. Proposition de l'Argentine	10
4.3. Dotation	10
4.4. Tirage au sort de trois membres sortants en vue du renouvellement par moitié du CIPM	11
4.5. Visite du dépôt des prototypes métriques	12
5. Comités Consultatifs	12
5.1. de Thermométrie	12
5.2. pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants	14
5.3. Réunions futures	15
6. Travaux du BIPM	16
7. Questions administratives et financières (révision des allocations)	18
8. Nouveau Pavillon (état d'avancement)	21
9. Questions diverses	21
9.1. Départs à la retraite de MM. Giacomo et Hamon	21
9.2. Nomination de deux nouveaux adjoints	22
9.3. Temps atomique international	22
9.4. Gravimétrie	22

9.5. Symposium sur le système Giorgi	23
9.6. Préfixe SI pour dix à la puissance moins vingt-et-un	23
9.7. Autorisation de sortie des prototypes du kilogramme.....	23
9.8. Prochaine session du CIPM	23
10. Conséquences de la Conférence Générale.....	23
(élection du bureau du Comité)	24
Rapport du directeur sur l'activité et la gestion du Bureau International des Poids et Mesures (octobre 1986 — septembre 1987).....	25
I. Personnel. — Nominations (A. Chartier, F. Perez). Engagements (C. Angot, M.-M. Montbrun, M.-R. De Carvalho, C. Thomas, B. Picaut, A. Zarka). Départs (P. Carré, L. Lecoufflard, M. Gläser, T. Riotte, T. Endo)	25
II. Bâtiments. — Petit Pavillon (consolidation de la voûte de la cave, amélioration de l'isolement thermique). Observatoire (réfection d'un bureau du 1 ^{er} étage, mise en conformité du monte-charge). Bâtiment des lasers (mise en conformité du monte-charge). Laboratoires des rayonnements ionisants (mise en conformité de l'installation électrique, réfection des peintures du hall des neutrons). Nouveau Pavillon (terrassement et gros œuvre). Dépendances (consolidation de la colline derrière l'Observatoire, plantation de troènes le long de la clôture, remplacement des marronniers de l'allée du Mail par des tilleuls argentés)	26
III. Instruments et travaux	27
Remarques générales.....	27
1. Longueurs, lasers	28
1.1. Longueurs	28
1.1.1. Longueurs (installation d'un nouveau système d'enregistrement des données).....	28
1.1.2. Règles divisées (règle N° 011277 [Tchécoslovaquie], règle N° 12924 [BIPM])	28
1.1.3. Étalons à bouts plans (comparateur photoélectrique : quatre calibres [Rép. Pop. Dém. de Corée], quatre calibres [Tchécoslovaquie], interféromètre Tsugami : un calibre [Rép. Pop. Dém. de Corée], sept calibres [Yougoslavie], six calibres [Roumanie]).....	29
1.1.4. Base géodésique (abandon de cette activité, étude de trois fils de 8, 20 et 24 m et un ruban de 20 m [France] (demandée en 1986), invar géodésique).....	29
1.2. Lasers	29
1.2.1. Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée de l'iode en cuve externe à $\lambda = 633$ nm (stabilité de fréquence, comparaisons entre lasers du BIPM, avec ECTA)	29
1.2.2. Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée de l'iode à $\lambda = 612$ nm	31
1.2.3. Autres lasers à He-Ne asservis à $\lambda = 633$ nm (lasers asservis sur le Lamb dip, par effet Zeeman, sur le maximum du profil d'intensité).....	32
1.2.4. Étude de l'influence de la valeur de la pression atmosphérique sur la fréquence de lasers asservis	32
1.2.5. Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée du méthane à $\lambda = 3,39$ μ m (en cuve interne, collaboration avec le VNIIFTRI et le LPTF, en cuve externe, étude des tubes à décharge et des cuves à méthane).....	33
1.2.6. Projets à court terme (comparaisons internationales de lasers entre le BIPM et le NRLM, le CSMU, le Bureau fédéral des mesures et métaux précieux et l'Office national des mesures)	36

2. Masses et grandeurs apparentées	37
2.1. Masses	37
2.1.1. Étalons prototypes en platine iridié (N° 26 [URSS], fabrication de l'étalon N° 68 [Rép. Pop. Dém. de Corée], polissage des N° 69 [Portugal] et N° 70 [Rép. Féd. d'Allemagne], comparaison du prototype N° 67 aux prototypes d'usage courant N° 9 et N° 31).	37
2.1.2. Masse volumique d'ébauches en platine iridié (JM22 à JM28, ENG 691 [Royaume-Uni], JM32).....	37
2.1.3. Détermination de la masse volumique d'étalons en acier inoxydable « Chroniterm » offerts au BIPM par la PTB	38
2.1.4. Étude d'autres étalons de masse en Nicral D sans N° [Arabie Saoudite], N° 102 [Thaïlande])	39
2.1.5. Ajustage de la balance Rueprecht N° 1 de portée 1 kg	39
2.1.6. Balance hydrostatique Stanton	39
2.1.7. Balance Mettler de portée 1 kg.....	39
2.1.8. Balance prototype à suspensions flexibles (construction, anélasticité de l'alliage Cu-Be).....	39
2.2. Gravimétrie (résultats de la deuxième comparaison internationale de gravimètres : causes d'erreurs).....	43
2.3. Pressions.....	45
2.3.1. Manobaromètre normal	45
2.3.2. Études courantes (jauges de pression pour la section des masses, manomètre Crouzet pour la section d'électricité).....	45
3. Échelles de temps.....	45
3.1. Établissement du TAI et de l'UTC.....	45
3.2. Liaisons horaires (système GPS, LORAN-C, précision de l'accès au TAI).....	46
3.3. Travaux sur les algorithmes (prédiction des marches d'horloges).....	48
3.4. Temps atomique et théories dynamiques	48
3.5. Diffusion des données sur le temps	49
4. Électricité	50
4.1. Amélioration des mesures de résistance (mise en service du comparateur de résistances fondé sur un comparateur cryogénique de courants) ..	50
4.2. Comparaisons de représentations nationales de l'ohm (trois comparaisons : avec le LCIE, l'OFMET et le NPL)	51
4.3. Mesures de la résistance de Hall quantifiée.....	53
4.3.1. Mesures potentiométriques.....	53
4.3.2. Mesures à l'aide d'un comparateur cryogénique de courants continus.....	53
4.4. Recherche d'échantillons pour l'étude et l'utilisation de l'effet Hall quantique (transistors MOS et hétérojonctions à dopage modulé) ..	55
4.5. Mesures comparatives de $R_{H(i)}$ pour deux hétérojonctions GaAs - Al _{1-x} Ga _x As et pour différents plateaux ($i = 2, 4, 6$).....	56
4.6. Amélioration du dispositif potentiométrique et comparaison des deux installations de mesure des résistances de Hall quantifiées	58
4.7. Conservation et transfert de V_{76-01}	58
4.7.1. Piles de référence.....	58
4.7.2. Étude d'étalons de tension à diode de Zener.....	60

4.7.3. Comparaison internationale à l'aide d'étalons de tension à diode de Zener (comparaison de force électromotrice avec la PTB, essai de comparaison d'étalons avec le CSIRO)	61
4.8. Études courantes (32 étalons de résistance de 1 Ω ou de 10 Ω, comparaisons entre elles des résistances de référence de 10 kΩ du BIPM, 36 étalons de force électromotrice)	61
5. Radiométrie, Photométrie	62
5.1. Radiométrie (installation d'un laboratoire pour la spectroradiométrie)	62
5.2. Photométrie	63
5.2.1. Comparaison internationale d'étalons d'intensité et de flux lumineux (1985) (examen des résultats)	63
5.2.2. Études courantes (vérification de groupes de lampes du BIPM, lampes étalons d'intensité et de flux lumineux [Suède, Tchécoslovaquie, Yougoslavie])	63
6. Rayonnements ionisants	63
6.1. Dosimétrie	63
6.1.1. Rayons X (étalonnage de chambres d'ionisation)	63
6.1.2. Rayonnement γ du ⁶⁰ Co (amélioration des installations, comparaison d'étalons d'exposition, étalonnage de chambres d'ionisation, dose absorbée dans le graphite (comparaison entre le BIPM et l'OMH, entre le BIPM et le NPL; correction de perturbation pour une chambre à cavité du type « dé à coudre »), comparaison de dose absorbée dans l'eau (avec l'AIEA), équivalent de dose)	64
6.1.3. Mesures neutroniques (comparaison de mesures de débit de fluence (entre le BIPM, la PTB, le BCMN et le NPL), comparaison internationale de mesures de débit de kerma (entre le BIPM, le TNO, NPL, PTB, ETL, NBS, IAEB et NIM), taux d'émission de la source étalon Ra-Be (α, n) du BIPM)	67
6.2. Radionucléides	69
6.2.1. Mesures d'activité (comparaisons internationales de mesures d'activité (¹⁰⁹ Cd, ¹²⁵ I), participation à la comparaison internationale restreinte de ¹²⁵ I, SIR)	69
6.2.2. Statistiques de comptage (détermination du facteur de transmission T ₁ pour un premier temps mort généralisé, transformation servant à « normaliser » une distribution de Poisson perturbée)	74
7. Thermométrie	78
7.1. Échelle internationale pratique de température (thermomètres à résistance de platine pour la mesure des températures moyennes)	78
7.2. Températures thermodynamiques : étude par pyrométrie infrarouge	79
7.3. Études courantes (vérification d'instruments appartenant au BIPM, étude de thermomètres à résistance de platine, de thermocouples Pt/Pt-Rh et de cellules à point triple de l'eau [Danemark, Hongrie, Portugal, URSS et Yougoslavie])	80
8. Publications	80
Publications du BIPM	80
Metrologia	81
Publications extérieures	81
Rapports	82
9. Certificats et Notes d'étude	83

IV. Activités et relations extérieures.....	87
Travaux en liaison avec des organismes internationaux et nationaux.....	87
Voyages, visites, conférences, exposés du personnel.....	88
Visites et stages au BIPM.....	93
V. Comptes.....	97

ANNEXES

Rapport du Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie (11^e session — 1986) au CIPM, par P. J. Key.....	P 1
Rapport du Comité Consultatif d'Électricité (17^e session — 1986) au CIPM, par J. Vanier.....	E 1
Rapport du Comité Consultatif de Thermométrie (16^e session — 1987) au CIPM, par M. Durieux.....	T 1
INDEX.....	XI



