

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES



COMITÉ INTERNATIONAL  
DES  
POIDS ET MESURES

Procès-verbaux de la  
75<sup>e</sup> session — 1986

TOME 54

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

ISBN 92-822-2097-4

---

## 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 m<sup>2</sup>) du Pavillon de Breteuil (Parc de Saint-Cloud) mis à sa disposition par le Gouvernement français ; son entretien est assuré à frais communs par les États membres de la Convention du Mètre (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 1986, 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. de), 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 14 327 000 francs-or (en 1986), soit environ 26 000 000 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  $\gamma$ , électrons), Section II (Mesure des radionucléides), Section III (Mesures neutroniques), Section IV (Étalons d'énergie  $\alpha$ ) ; cette dernière Section a été dissoute en 1975, son domaine d'activité étant confié à la Section II.
7. Le Comité Consultatif des Unités (CCU), créé en 1964 (ce Comité Consultatif a remplacé la « Commission du Système d'Unités » instituée par le 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 multicoopiés).

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 14 octobre 1986

---

*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.

*Membres*

3. E. AMBLER, Directeur du National Bureau of Standards, Gaithersburg, M. D. 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, 10137 Torino (Italie).
6. P. DEAN, Directeur du National Physical Laboratory, Teddington, TW11 OLW (Royaume-Uni).
7. K. IZUKA, Président, Agency of Industrial Science and Technology, 3-1 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100.
8. H. H. JENSEN, Professeur, H. C. Ørsted Institutttet, Universitetets Fysiske Laboratorium 1, Universitetsparken 5, 2100 København Ø.  
*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'U.R.S.S. pour les Normes, Leninski prosp. 9 b, 117049 Moscou.
11. A. P. MITRA, Directeur du National Physical Laboratory of India, Hillside Road, New Delhi 110012 (Inde).
12. T. PLEBANSKI, Directeur, Centre de recherche et de développement des matériaux de référence « WZORMAT », Ul. Elektoralna 2, 00-139 Varsovie.
13. H. PRESTON-THOMAS, Directeur Associé de la Division de Physique du Conseil National de Recherches, Ottawa K1A OS1. *Vice-président.*
14. O. SALA, Professeur, Departamento de Física Nuclear, Universitaria Armando Salles de Oliveria, Caixa Postal 20516, 05508 São Paulo, (Brésil).
15. K. SIEGBAHN, Directeur de l'Institut de Physique, Box 530, 75121 Uppsala 1 (Suède).
16. J. SKÁKALA, Professeur, Université technique slovaque, SVŠT, Gottwaldovo nám. 17, CS 81213 Bratislava (Tchécoslovaquie). *Vice-président.*
17. R. STEINBERG, Chef du Département de Physique et Métrologie, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, 1101 Buenos Aires.
18. WANG DAHENG, Professeur, Directeur de la division des Sciences techniques, Academia Sinica, Conseiller du Bureau d'État de Métrologie, B.P. 2112, Beijing (Rép. Pop. de Chine).

#### *Membres honoraires*

1. L. M. BRANSCOMB, Box 309, Concord, Massachusetts 01742.
2. L. DE BROGLIE (\*), de l'Académie Française, Secrétaire Perpétuel de l'Académie des Sciences, 94, rue Perronet, 92200 Neuilly-sur-Seine.
3. J. V. DUNWORTH, The Warbuck, Kirk Michael, Isle of Man.
4. L. E. HOWLETT, 1702-71 Somerset Street W, Ottawa, Ontario K2P 2G2.
5. M. KERSTEN, Am Hohen Tore 4A, D 3300 Braunschweig.
6. F. J. LEHANY, 5 Gladstone Avenue, Hunters Hill, N.S.W. 2110.
7. J. STULLA-GÖTZ, Gentzgasse 3, 1180 Wien.

---

(\*) Au moment de mettre sous presse, nous apprenons le décès de L. de Broglie, survenu le 19 mars 1987.

---

LISTE DU PERSONNEL  
DU  
BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

au 1<sup>er</sup> janvier 1987

---

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

*Physiciens chercheurs principaux*

A. Allisy, J. W. Müller, T. Witt, J. Bonheure.

*Physiciens et Métrologistes*

J. Hamon, A. Sakuma, R. P. Hudson, V. D. Huynh, G. Girard, J.-M. Chartier,  
M. Gläser, F. Delahaye, P. Bréonce, D. Reymann, R. Felder, G. Ratel,  
W. Lewandowski, C. C. Speake, J. Azoubib.

*Chercheurs associés*

B. Guinot, 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.

*Atelier de mécanique*

G. Boutin, J. Leroux, B. Bodson, C. Gilbert, J.-P. Dewa, A. Gama, J. Dias,  
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*

Mme A. Perez, 4 employés (contractuels).

*Directeurs honoraires* : Ch. Volet, J. Terrien  
*Métrologiste principal honoraire* : G. Leclerc  
*Métrologiste honoraire* : H. Moreau.

---

## 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 Comité.
  4. Comités Consultatifs :
    - rapport du CCE ;
    - rapport du CCPR ;
    - réunions à venir.
  5. Travaux du BIPM (présentation du Rapport du directeur).
  6. Visite des laboratoires ; visite du dépôt des Prototypes métriques.
  7. Questions administratives et financières :
    - rapport aux Gouvernements 1985 ;
    - rapport de l'expert-comptable 1985 ;
    - quitus pour 1985 ;
    - exercice 1986 en cours ;
    - projet de budget 1987.
  8. Proposition pour la construction du « Nouveau Pavillon ».
  9. Préparation de la 18<sup>e</sup> CGPM (1987) :
    - approbation du texte de la Convocation (projets de résolution) ;
    - déroulement de la Conférence.
  10. Questions diverses.
-

# COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

---

75<sup>e</sup> SESSION (octobre 1986)

---

## PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES TENUES A SÈVRES

Présidence de Mr D. KIND

---

Le Comité International des Poids et Mesures (CIPM) s'est réuni pour sa 75<sup>e</sup> session les mardi 14, mercredi 15 et jeudi 16 octobre 1986. Il a tenu six séances au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

Étaient présents : MM. AMBLER, BLEVIN, DE BOER, BRAY, DEAN, IZUKA, JENSEN, KOVALEVSKY, KIND, MEKHANNIKOV, MITRA, PLEBANSKI, PRESTON-THOMAS, SALA (le 16 octobre), SIEGBAHN, SKÁKALA, WANG, GIACOMO (directeur du BIPM).

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

Excusé : Mr STEINBERG.

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

Le président ouvre la 75<sup>e</sup> session du Comité International des Poids et Mesures et accueille Mr Iizuka, présent pour la première fois en qualité de membre, ainsi que les membres nouvellement élus, Mr Mekhannikov et Mr Sala ; ce dernier a prié le Comité de l'excuser de ne pouvoir assister aux premières séances de cette session. Le quorum est atteint, conformément à l'article 12 de la Convention du Mètre.

Le président souligne que cette session marque une date importante, celle de la 75<sup>e</sup> session du Comité International des Poids et Mesures. Il consacre donc quelques instants à commémorer la création du Comité International qui a tenu sa première séance le 19 avril 1875, en présence de O. J. Broch (Norvège), W. Foerster (Allemagne), G. Govi (Italie), J. Herr (Autriche), A. Hirsh (Suisse), Husny-Bey (Turquie), A. Morin (France), J.-S. Stas (Belgique), H. Wild (Russie), J. de Wrede (Suède); J. E. Hilgard (États-Unis d'Amérique) avait délégué son vote à J. Herr. Il donne ensuite lecture de quelques passages marquants des Procès-verbaux de ce comité fondateur : l'ouverture de la séance par W. Foerster, assisté comme secrétaire par Husny-Bey, représentants des pays figurant en premier et en dernier sur la liste alphabétique, l'élection du président et du secrétaire du Comité International, l'élection de G. Govi comme premier directeur du Bureau International des Poids et Mesures et le choix du site du Pavillon de Breteuil pour abriter le Bureau International des Poids et Mesures.

Puis, il présente le programme de travail de la présente session. L'ordre du jour est approuvé.

## **2. Rapport du secrétaire du CIPM** (octobre 1985 — octobre 1986)

1. États membres de la Convention du Mètre. — Le nombre des États parties à la Convention du Mètre demeure de 47.

### 2. Membres du CIPM

Élections : Afin de pourvoir les sièges vacants, il a été procédé à trois votes par correspondance à scrutin secret.

Mr K. Iizuka, à l'époque directeur du National Research Laboratory of Metrology, a été élu le 3 février 1986, Mr O. Sala, professeur et directeur du département de physique nucléaire de l'Université de São Paulo, le 15 avril 1986 et Mr A.I. Mekhannikov, sous-directeur de l'Institut des Mesures Physicotechniques et Radiotechniques de Moscou, le 16 septembre 1986.

### 3. Réunions des Comités Consultatifs et des Groupes de travail

— Le Comité Consultatif d'Électricité a tenu sa 17<sup>e</sup> session du 16 au 18 septembre 1986 sous la présidence de Mr Ambler. Cette session avait été précédée par une réunion du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences, qui s'est tenue du 10 au 12 septembre 1986 sous la présidence de Mr Bailey.

— Le Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie a tenu sa 11<sup>e</sup> session du 30 septembre au 2 octobre 1986 sous la présidence de Mr Blevin.

Toutes ces réunions ont eu lieu au Pavillon de Breteuil.

#### 4. Bureau du Comité

Le bureau du Comité s'est réuni plusieurs fois au Pavillon de Breteuil et une fois à la Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Braunschweig).

#### 5. Indications financières

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

Comptes	1983	1984	1985	1986
I. — Fonds ordinaires.....	14 868 332,15	16 895 009,59	16 227 665,79	15 439 533,68
II. — Caisse de retraites.....	5 591 516,91	7 745 117,69	9 214 761,18	10 043 819,07
III. — Fonds spécial pour l'amélioration du ma- tériel scientifique.....	705 899,38	835 554,11	936 410,39	573 810,31
IV. — Caisse de prêts sociaux.....	108 449,20	123 382,54	185 090,87	187 788,99
V. — Réserve pour les bâtiments.....	1 555 578,24	1 884 546,82	141 352,65	821 291,74
Totaux.....	22 829 775,88	27 483 610,75	26 705 280,88	27 066 243,79

Ce rapport ne fait l'objet d'aucun commentaire.

### 3. Rapport sur l'activité du bureau du Comité

Le secrétaire présente son rapport sur l'activité du bureau du Comité.

Le bureau du Comité s'est réuni plusieurs fois depuis la session d'octobre 1985 du Comité International des Poids et Mesures (CIPM). L'une des réunions s'est tenue à la PTB, à Braunschweig. De plus, différentes questions ont été traitées par lettre et par téléphone.

Les principales questions dont le bureau s'est occupé cette année sont les suivantes :

— la préparation de la 18<sup>e</sup> Conférence Générale des Poids et Mesures, en particulier le texte de la Convocation, les documents

relatifs au transfert de la responsabilité du Temps atomique international (TAI) au BIPM et les dispositions financières pour la période 1989-1992 ;

- le projet de nouveau bâtiment pour la bibliothèque ;
- les activités futures du BIPM, tenant compte à la fois des décisions du CIPM d'octobre 1985 et des progrès récents dans le domaine de la métrologie ;
- les accords bilatéraux sur la métrologie.

De plus, les questions courantes à traiter aux sessions du CIPM de 1986 et de 1987 ont été évoquées : élections au CIPM, recrutement et gestion du personnel du BIPM.

En ce qui concerne la prochaine Conférence Générale, le secrétaire rappelle que les deux principaux documents qui doivent être préparés à l'avance sont la « Convocation » et le « Programme de travail et budget du BIPM dans les quatre années 1989-1992 ». La Convocation doit comprendre les projets de résolution soumis à la Conférence, avec un résumé des arguments qui seront présentés avec plus de détail par chaque président de comité consultatif, la question du transfert de la responsabilité du TAI au BIPM et la proposition de dotation du BIPM, avec un résumé des justifications qui seront développées dans le second document.

Les principes adoptés pour la rédaction de la Convocation sont les suivants :

- Les décisions prises lors de la session de 1985 du CIPM relatives aux modifications du programme scientifique du BIPM doivent être clairement exposées, si possible dans les termes utilisés à l'époque par le CIPM.

- Il est souhaitable de se référer en toute occasion au texte « Le rôle du Bureau International des Poids et Mesures dans les années 1980 » adopté par le Comité en 1984.

- La situation financière doit être décrite de façon à faire ressortir le fait que, grâce à une gestion rigoureuse, la section du Temps atomique international peut être prise en charge sans qu'il soit nécessaire de demander des fonds supplémentaires.

- Le budget proposé pour les années 1989-1992 doit être fondé sur une augmentation annuelle de 6 %, qui devrait couvrir l'augmentation des dépenses correspondant à l'accroissement de complexité du travail, à la nécessité de recruter du personnel de qualification élevée, à l'amorce d'une mise à niveau après des années sans augmentation réelle des moyens financiers et à une augmentation annuelle raisonnable des prix.

- En ce qui concerne la prise en charge du TAI, il convient de préparer un projet de résolution qui fasse référence aux Résolutions relatives au TAI, adoptées par les 14<sup>e</sup> et 15<sup>e</sup> Conférences Générales. La

première partie du document descriptif sur le TAI, qui figure en annexe au Rapport annuel aux Gouvernements pour 1985, doit être reprise en annexe à la Convocation. Les autres parties devraient être distribuées avec la Convocation sous forme de tirés à part des Procès-verbaux.

Au sujet des mesures financières pour la période 1989-1992, le président souligne qu'il est difficile de prévoir l'évolution future des prix. La tâche du BIPM est par ailleurs de plus en plus lourde.

Mr Blevin demande si la dotation prévue tient compte de l'inflation estimée à 3 % actuellement en France. Il désirerait savoir ce que recouvre l'augmentation de 6 % de la dotation demandée pour la période 1989-1992. Cette augmentation comprend-elle la prise en charge du Temps atomique international (TAI) ? Prend-elle également en compte la sophistication ?

Le secrétaire répond que ce point sera discuté en détail au cours de la session. Le coût du TAI est d'environ 7 % du budget du BIPM. Au départ, cette dépense sera prélevée en partie sur les réserves à raison de 900 000 francs-or en 1986, de 600 000 francs-or en 1987, de 300 000 francs-or en 1988 ; elle sera totalement absorbée dans le budget du Bureau en 1989 (\*). Le taux d'inflation actuel permet au BIPM cette absorption progressive des dépenses relatives au TAI dans le budget à condition de l'échelonner sur plusieurs années.

Mr Dean rappelle qu'une augmentation du budget de 9 % par an avait été votée par la 17<sup>e</sup> Conférence Générale. L'inflation actuelle n'est que de 3 % par an. Cela fait une différence de 6 % par an. On peut donc penser que le TAI devrait pouvoir être inclus dans le budget presque en une seule année et qu'il devrait ensuite y avoir une augmentation des fonds de réserve.

Mr de Boer précise que le taux d'inflation n'est aussi bas en France que depuis 1986 et qu'en 1985 l'inflation était plus élevée. De plus, il faut tenir compte de l'accroissement annuel nécessaire pour l'avancement du personnel encore jeune, de l'augmentation du prix des instruments de mesure (sophistication) et du retard d'une demi année entre l'ajustement des salaires et l'augmentation des prix. Il rappelle aussi la nécessité d'un programme de construction de nouveaux bâtiments.

Mr Dean répond qu'il comprend son point de vue, mais qu'il faut justifier auprès des Gouvernements, année par année, les avantages résultant du fait que l'augmentation de la dotation est supérieure à l'inflation.

En réponse à une question de Mr Bray, le secrétaire explique qu'il est nécessaire de s'occuper de l'avenir : la précédente dotation avait été établie par la 17<sup>e</sup> Conférence Générale, en octobre 1983, pour la période 1985-1988 et maintenant le CIPM a la tâche difficile de faire des

---

(\*) Ultérieurement, le Comité a ramené les prévisions à un prélèvement de 450 000 francs-or en 1987, le budget devant absorber totalement la dépense en 1988.

propositions pour les années 1989-1992. Il faut en effet que la proposition soit présentée à l'avance aux États membres pour permettre aux Gouvernements de donner des directives à leurs représentants à la Conférence Générale.

Mr Ambler comprend l'utilisation des fonds de réserve pour financer le TAI, mais il croit avec Mr Dean qu'il sera nécessaire de justifier auprès des gouvernements l'usage fait de la diminution de l'inflation pendant la période 1985-1988.

Le président rappelle qu'il s'agit pour l'instant de connaître les besoins financiers du BIPM.

Mr de Boer aborde ensuite la partie du rapport relative au projet de construction du nouveau bâtiment. Lors de la session de 1985 du CIPM, le bureau du Comité a présenté une esquisse de projet pour le nouveau bâtiment qui serait construit sur le site des garages. Les plans détaillés ont été parachevés par Mr D. Demonfaucon, architecte du bâtiment des lasers, et soumis aux autorités françaises. Après une réunion préliminaire avec ces autorités, le directeur a été informé qu'aucune objection majeure ne semblait s'opposer au projet et il a été invité à faire une demande formelle de permis de construire. Celle-ci a été déposée, et on espère recevoir le permis de construire au moment utile.

Le projet du nouveau bâtiment, que le bureau propose d'appeler le « Nouveau Pavillon », ne semble pas poser de problèmes techniques particuliers et cela conduira certainement à une amélioration importante et nécessaire des installations du BIPM. Le bureau propose que les travaux de construction commencent le plus tôt possible, c'est-à-dire en mars 1987, le bâtiment serait ainsi prêt à être occupé en septembre 1988. La proposition de commencer immédiatement les travaux se fonde sur les arguments suivants :

— le BIPM a un besoin de place immédiat et crucial, dû en partie à l'arrivée du TAI, mais aussi à l'augmentation de l'effectif et à l'extension des domaines d'activité durant ces trente dernières années ;

— tout retard entraînerait presque certainement des perturbations sérieuses dues aux interférences entre les opérations de construction et la troisième vérification périodique des prototypes nationaux du kilogramme qui devrait commencer en 1988 ;

— lors de la 17<sup>e</sup> Conférence Générale, les délégués ont été informés que des travaux de construction étaient prévus. En effet, il incombe au CIPM de conserver et de moderniser la propriété commune des États membres de la Convention du Mètre pour permettre de réaliser convenablement et efficacement le programme de travail scientifique financé conjointement par ces États membres.

Il est prévu que le rapport du président à la Conférence Générale contienne un exposé détaillé du problème général des bâtiments et des installations du BIPM.

Ce sujet sera étudié plus en détail au point 8 de l'ordre du jour.

Continuant son rapport, le secrétaire dit qu'en revoyant les activités futures du BIPM à la lumière des décisions prises par le CIPM en octobre 1985, le bureau du Comité a constaté la nécessité pour le BIPM non seulement de répondre à l'évolution des besoins des États membres, mais aussi de le faire savoir. En particulier, il faut faire savoir à l'extérieur que le BIPM est et doit être une institution active et moderne. En conséquence, il a été décidé qu'une brochure brève et bien présentée, exposant les divers aspects du travail, devrait être préparée à l'intention d'un large public de techniciens, non spécialistes. Une maquette de cette brochure est actuellement en préparation. L'éventualité de réaliser également un film a été envisagée. Il a été néanmoins conclu que la responsabilité de diffuser l'information sur les aspects internationaux de la métrologie et la Convention du Mètre revient surtout aux organisations métrologiques des États membres.

Pour Mr Ambler, la brochure doit s'adresser à deux types de public : la communauté industrielle et les autres organisations internationales. Elle doit faire ressortir le rôle spécial du BIPM dans le domaine de la métrologie scientifique.

Mr de Boer pense que cette brochure devrait s'adresser aussi aux décideurs gouvernementaux dans les États membres de la Convention du Mètre.

Le secrétaire aborde ensuite la question des accords bilatéraux sur la métrologie. Un certain nombre d'accords bilatéraux ont été récemment conclus entre des États membres de la Convention du Mètre, accords portant sur la reconnaissance mutuelle de la réalisation des unités de base et d'autres unités du Système international d'unités (SI). Le bureau du Comité a bien compris que des pressions diverses étaient à l'origine de ces accords, et que leur nombre était susceptible d'augmenter dans l'avenir. Néanmoins, on peut craindre, si les termes de ces accords ne sont pas soigneusement choisis, qu'il n'en résulte l'impression qu'ils remettent en question le rôle central du BIPM pour la coordination du système mondial de mesures, rôle établi par la Convention du Mètre.

En ce qui concerne ces accords bilatéraux, Mr Dean, ainsi que Mr Ambler, pensent que tous les pays sont au courant de l'activité du BIPM, et qu'il est donc inutile que le BIPM prenne des mesures à cet égard. Les États restent libres de passer les accords qu'ils estiment opportuns.

Le président ne pense pas qu'il soit utile de discuter longuement de cette question. Il reconnaît personnellement que chaque laboratoire doit être libre de sa décision, mais il voudrait également que le travail du Bureau soit reconnu, notamment dans le domaine des comparaisons internationales, qui permettent de comparer les réalisations nationales des unités dans les différents laboratoires.

#### **4. Rapports des comités consultatifs (CCE, CCPR) réunions futures**

##### **4.1. Comité Consultatif d'Électricité**

Mr Ambler, président du Comité Consultatif d'Électricité (CCE), présente le rapport de ce Comité qui s'est réuni du 16 au 18 septembre 1986 au Pavillon de Breteuil, à Sèvres. La session a rassemblé de nombreux participants, qui ont pu prendre connaissance de 59 documents de travail. Mr Vanier a rédigé le rapport, avec l'aide de MM. Witt et Taylor. Ce rapport n'est pas disponible actuellement car il a été jugé nécessaire d'y joindre en annexe un certain nombre de tableaux, lesquels demandent encore un gros travail de mise au point.

Le CCE avait à son ordre du jour le projet de recommander des valeurs pour chacune des constantes qui relient le volt et l'ohm respectivement à l'effet Josephson et à l'effet Hall quantique. Cette réunion a permis de rassembler et de discuter un grand nombre d'informations sur les travaux achevés ou en cours dans les laboratoires nationaux. Il s'agit d'une part des réalisations du volt et de l'ohm, soit par des mesures directes, soit par des déterminations de constantes physiques fondamentales, d'autre part des représentations de ces unités à l'aide des effets quantiques en question, enfin des comparaisons internationales à l'aide d'étalons de transfert comme les piles étalons de Weston ou les résistances étalons en manganine.

Le CCE a préféré différer de deux ans la décision relative à l'ohm et à l'effet Hall quantique, car il subsiste une incertitude sur ce qui constitue un « bon specimen » pour l'effet Hall quantique.

En ce qui concerne le volt et l'effet Josephson, certains membres voulaient prendre une décision dès maintenant, car il est déjà certain qu'il faudra changer la valeur admise d'environ  $8 \times 10^{-6}$  et on ne s'attend pas à une évolution significative de la situation au cours des deux prochaines années. Mais il faut du temps pour préparer un tel changement, car celui-ci aura des répercussions importantes pour le commerce et l'industrie, et il serait malencontreux de les perturber brutalement.

En 1988, le CCE prendra une décision et donnera les valeurs recommandées pour les constantes de l'effet Josephson et de l'effet Hall quantique, afin qu'elles puissent être adoptées simultanément par tous les pays au 1<sup>er</sup> janvier 1990. Ces valeurs entraîneront des modifications de l'étalonnage de certains instruments commerciaux. Deux groupes de travail ont été créés, l'un pour le volt, l'autre pour l'ohm, afin de rassembler toutes les données, pour préparer la décision du CCE.

Le CCE a réalisé un très gros travail dans un laps de temps très court, et Mr Ambler remercie MM. Witt et Taylor pour leur excellent travail préparatoire.

Le président remercie Mr Ambler pour son rapport et le bon déroulement du Comité Consultatif d'Électricité.

Mr Kovalevsky trouve que la décision qui a été prise est sage, et qu'il faut éviter une action prématurée. Il souligne que le délai doit rester court, si l'on veut éviter l'utilisation anarchique de nouvelles valeurs. Il est souhaitable de synchroniser tous les changements, qui devraient se faire certainement avant la Conférence Générale prévue pour 1991.

Mr Ambler fait remarquer que, si un accord se fait dans deux ans et doit entrer en vigueur en 1990, cela se produira entre deux Conférences Générales. Il suggère de préparer un projet de résolution à soumettre à la 18<sup>e</sup> Conférence Générale en 1987, visant à encourager tous les pays à mettre en œuvre ce changement à la même date.

Mr Blevin approuve la conclusion du CCE de reporter sa décision à une date ultérieure, d'ici deux ans. Toutefois, il estime préférable de ne pas attendre plus longtemps.

Mr Ambler rappelle que, dans le cas de l'ohm, tous les aspects de l'effet Hall quantique ne sont pas encore expliqués du point de vue de la physique (influence de la température, de la nature de l'échantillon, etc.). Il serait souhaitable d'avoir une interprétation de ces phénomènes. La technique utilisée pour réaliser les équipements en est encore à ses débuts. La situation se sera probablement améliorée d'ici deux ans et la méthode sera alors plus facile à mettre en œuvre.

Le président souligne que, si une institution comme le Bureau International a été capable en deux ans, à partir de zéro, de mettre en œuvre cette méthode, cela signifie que la technique est pratiquement au point et que son utilisation est appelée à se répandre rapidement.

Mr Ambler ajoute que les tableaux et graphiques qui seront joints au rapport du CCE donneront les résultats des mesures réalisées jusqu'ici, résultats qui permettent d'espérer une exactitude de l'ordre de  $10^{-7}$ . Il donne lecture des déclarations et recommandations du CCE, qui sont approuvées. Il précise que la date du 15 juin 1988, qui figure dans les déclarations du CCE, a été choisie en fonction de la Conférence on Precision Electromagnetic Measurements (CPEM) qui doit se tenir auparavant à Tokyo.

Mr Ambler donne ensuite lecture du projet de résolution préparé par le bureau du Comité et suggère, de même que Mr Blevin, quelques modifications dans la formulation.

Mr Ambler souligne la portée de cette résolution. Du fait de la commercialisation d'instruments de mesure de hautes performances, les utilisateurs intéressés ne sont pas seulement les laboratoires nationaux. Il faudra veiller à ce que tous ceux qui sont réellement concernés fassent le changement en même temps.

Mr de Boer et Mr Dean rappellent que le CIPM peut faire des recommandations aux pays, mais ne peut pas changer les lois.

Mr Ambler signale qu'au National Bureau of Standards (NBS) un groupe de travail prépare déjà ce changement. En septembre-octobre 1988, il sera prêt à appliquer la décision qui sera prise. Si le CCE n'a pas mentionné de valeurs précises dans ses déclarations, c'est justement pour éviter que les intéressés ne les mettent en application de façon hâtive et non coordonnée.

Après une mise au point rédactionnelle, le projet de résolution suivant est adopté :

#### *Projet de résolution F*

La Dix-huitième Conférence Générale des Poids et Mesures,  
*considérant*

que l'uniformité mondiale et la constance à long terme des représentations nationales des unités électriques sont d'une importance majeure pour la science, 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 et commencent à utiliser l'effet Hall quantique pour conserver respectivement des représentations du volt et de l'ohm qui donnent les meilleures garanties de stabilité à long terme,

qu'en raison de l'importance de la cohérence entre les unités de mesure des diverses grandeurs physiques les valeurs attribuées à ces représentations doivent être autant que possible en accord avec le SI,

que l'ensemble des résultats des expériences en cours ou récemment achevées permettra d'établir une valeur acceptable, suffisamment compatible avec le SI, pour le coefficient qui relie chacun de ces effets à l'unité électrique correspondante,

*invite* les laboratoires dont les travaux peuvent contribuer à établir la valeur du quotient de la tension par la fréquence dans l'effet Josephson et de la tension par le courant dans l'effet Hall quantique à poursuivre activement ces travaux et à communiquer sans délai leurs résultats au Comité International des Poids et Mesures et

*charge* le Comité International des Poids et Mesures de recommander, dès qu'il le jugera possible, une valeur de chacun de ces quotients et une date à laquelle elle pourra être mise en pratique simultanément dans tous les pays ; cette valeur devrait être annoncée au moins un an à l'avance et pourrait être adoptée au 1<sup>er</sup> janvier 1990.

#### **4.2. Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie**

Mr Blevin, président du Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie (CCPR), présente le rapport de son comité, qui a tenu sa 11<sup>e</sup> session du 30 septembre au 2 octobre 1986 à Sèvres.

La Seizième Conférence Générale, en 1979, après avoir changé la définition de la candela, avait chargé le Comité International d'organiser des comparaisons internationales des réalisations de la nouvelle définition des unités photométriques. De telles comparaisons ont maintenant été faites au BIPM pour les unités d'intensité lumineuse et de flux lumineux.

La Recommandation P 1 (1986) fournit sur ces comparaisons internationales certaines informations qu'il serait souhaitable de faire connaître à la Dix-huitième Conférence Générale en 1987. Elle recommande aussi que les laboratoires nationaux continuent à mettre au point des méthodes radiométriques et photométriques sûres.

Ces dernières années, de nombreux laboratoires nationaux ont mis au point des techniques goniophotométriques améliorées pour réaliser leurs étalons de flux lumineux.

Les valeurs attribuées aux étalons photométriques secondaires de la candela et du lumen conservés au BIPM résultent des réalisations antérieures de ces unités par les laboratoires nationaux. Il est maintenant clair que ces valeurs sont incompatibles entre elles, avec un écart de l'ordre de 1,6 %. La Recommandation P 2 (1986) du CCPR recommande que les valeurs attribuées aux étalons du BIPM soient ajustées au 1<sup>er</sup> janvier 1987, afin de conserver et disséminer les résultats moyens des comparaisons internationales de 1985, et que la valeur de ces ajustements soit publiée.

Certains laboratoires nationaux attendent les résultats de ces mêmes comparaisons pour ajuster les valeurs attribuées à leurs propres étalons de la candela et du lumen, afin de les mettre en accord avec les présentes définitions de ces unités.

La Recommandation P 3 (1986) du CCPR recommande que les ajustements nécessaires soient effectués par les laboratoires nationaux avant le 1<sup>er</sup> juillet 1987. Les laboratoires nationaux sont priés de communiquer au BIPM leurs meilleures estimations des différences entre leurs valeurs ajustées et les valeurs moyennes des comparaisons internationales de 1985, en vue de leur publication.

Le CCPR a décidé d'attendre environ quatre ans avant d'entreprendre une autre comparaison importante des étalons photométriques nationaux.

Le CCPR a aussi étudié une récente comparaison de mesures radiométriques dans laquelle les laboratoires nationaux participants ont mesuré la sensibilité spectrale de photodiodes au silicium aux deux longueurs d'onde 488 nm (laser à argon) et 633 nm (laser à hélium-néon). Bien que les photodiodes voyageuses ne soient pas toutes stables, les résultats ont montré que les écarts entre les divers laboratoires sont seulement de l'ordre de 0,1 % à 0,2 % pour ce type de mesure. Le CCPR est reconnaissant au NBS pour le rôle qu'il a joué dans la coordination de cette comparaison.

Le CCPR a prévu une comparaison des étalons nationaux d'éclairage énergétique spectral pour les longueurs d'onde de 0,2 à 2,5  $\mu\text{m}$ . Les lampes utilisées sont du type de celles utilisées au National Physical

Laboratory (NPL). Le laboratoire pilote est de nouveau le NBS. Les résultats devraient être disponibles pour la prochaine session du CCPR, prévue pour 1990.

L'usage croissant de fibres optiques dans le domaine des télécommunications et d'autres applications est d'une grande importance technologique, et le CIPM devrait se préparer à coordonner les demandes concernant la métrologie de base dans ce domaine. Le CCPR considère qu'il devrait être, en général, responsable des aspects qui concernent la radiométrie, mais il a pris note que le Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences du CCE a déjà prévu des comparaisons de mesures dans le domaine des fréquences optiques, y compris de mesures de puissance. Sept laboratoires nationaux représentés à la 11<sup>e</sup> session du CCPR ont exprimé le vœu de participer à la comparaison de mesures de la puissance transportée par des fibres optiques aux longueurs d'onde 0,85, 1,3 et 1,55  $\mu\text{m}$ , comparaison dont le NBS, Boulder, a accepté d'être le laboratoire pilote. Une enquête auprès des délégués du CCPR a montré que dans la plupart des laboratoires les mesures de puissance dans les fibres optiques sont sous la responsabilité de la section de radiométrie optique. A l'Electrotechnical Laboratory (ETL) et au NBS, toutefois, ce travail est sous la responsabilité d'un groupe chargé des micro-ondes. Il semble nécessaire que le CIPM clarifie les rôles respectifs de ses deux comités consultatifs dans ce domaine.

Le CCPR considère comme prioritaire que le BIPM développe sa compétence en radiométrie pour pouvoir prendre en charge les comparaisons internationales de mesures de flux énergétique de rayonnements optiques monochromatiques, spécialement dans le domaine visible et le proche infra-rouge, et d'éclairement énergétique spectral, dans le domaine de longueur d'onde de 0,2 à 2,5  $\mu\text{m}$ . On a noté des divergences de vue sur les priorités, mais on est parvenu à un accord sur le fait que le premier point (flux énergétique) permettrait au BIPM d'acquérir une certaine expérience dans le domaine des détecteurs modernes.

Mr Blevin donne lecture des Recommandations P 1 (1986) et P 2 (1986) du CCPR.

Au sujet de la Recommandation P 2, Mr Blevin souligne de nouveau le manque de concordance entre les valeurs attribuées aux étalons de la candela et du lumen du BIPM : si les valeurs des étalons de la candela sont correctes, alors celles des étalons du lumen sont fausses. Il convient donc d'ajuster les valeurs données aux étalons photométriques du BIPM.

Le président constate que les progrès sont limités mais que l'on est sur la bonne voie, car le nombre de laboratoires qui participent aux comparaisons internationales a doublé.

Au sujet du choix du 1<sup>er</sup> janvier 1987 pour l'ajustement des valeurs des étalons de la candela et du lumen du BIPM (Recommandation P 2), Mr Blevin fait remarquer que le BIPM doit annoncer les nouvelles

valeurs à l'avance pour permettre aux laboratoires nationaux de les mettre en pratique, avec un délai supplémentaire de six mois. Nombre de pays utilisent la nouvelle définition de la candela pour la première fois. Des changements ont déjà eu lieu. D'autres laboratoires attendent les résultats des comparaisons internationales pour adopter de nouvelles valeurs pour leurs étalons. Le CCPR n'a pas voulu recommander aux laboratoires nationaux d'ajuster leurs valeurs sur la moyenne d'une seule comparaison, mais il leur recommande de faire connaître la différence entre la valeur qu'ils conserveront et la moyenne de la comparaison qui sera conservée au BIPM.

Mr Blevin donne ensuite lecture de la Recommandation P 3 (1986). Il a constaté dans le passé la réticence des laboratoires nationaux à exposer ouvertement les différences entre leurs réalisations des unités photométriques et celles du BIPM. Cette réticence a maintenant disparu et il s'en réjouit.

Le président propose d'approuver les recommandations du CCPR. Les Recommandations P 1, P 2 et P 3 du CCPR sont approuvées.

Mr Ambler rappelle le chevauchement de responsabilités entre le Groupe de travail du CCE pour les grandeurs aux radiofréquences et le CCPR dans le domaine des fibres optiques. Ce domaine est actuellement sous la responsabilité du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences. Il conviendrait de décider qui aura la responsabilité de tout ce qui touche aux télécommunications optiques, aux fibres optiques, diodes laser, etc. Il faudrait que le CCE et le CCPR se réunissent pour en discuter. Ils ont une vision différente de ces questions et leur audience même est différente. Mr Ambler suggère pour sa part de laisser la situation en l'état, si aucune comparaison n'est prévue pour le moment, et d'écrire aux membres du CCPR pour les inviter à assister aux réunions et participer aux comparaisons qui les intéressent, par exemple en 1988 à l'occasion de la prochaine session du CCE. Il souhaiterait que le CIPM prenne une décision à ce sujet.

Mr Preston-Thomas pense comme Mr Ambler que les problèmes de télécommunications, dont les fibres optiques sont un cas particulier, doivent rester sous la responsabilité du CCE. Il suggère que ce comité consultatif invite les membres du CCPR ainsi que leurs collègues qui le désirent à participer aux réunions qui les intéressent. Il est d'avis de laisser la question ouverte.

Le président ne pense pas que le domaine des fibres optiques soit un domaine nouveau à la frontière de l'optique et des radiofréquences. Il se demande si le Comité doit prendre une décision formelle à ce sujet dès maintenant.

Mr Ambler engage fortement le Comité à le faire. Le CCPR traite des problèmes de mesure de quantité de lumière. L'optique moderne fait appel à de nouveaux domaines scientifiques et technologiques, comme la physique de l'état solide pour les lasers.

Mr Blevin croit que la question est de savoir si le CIPM veut étendre ou non la compétence des comités consultatifs aux techniques métrologiques de base relatives à des domaines particuliers de l'industrie, comme celui des fibres optiques. Le CCPR ne cherche pas à étendre son domaine, mais il pense que les mesures concernant les rayonnements visibles et proches du visible sont de la responsabilité du CCPR.

Mr Giacomo ne pense pas qu'il convienne au CIPM de prendre une décision formelle sur la question des responsabilités. Il suggère à Messieurs Ambler et Blevin de rédiger un texte commun traitant du partage des responsabilités dans ce domaine, texte qui sera joint aux minutes du CIPM.

Messieurs Ambler et Blevin se mettent d'accord sur le texte suivant :

« La technologie des fibres optiques est d'une importance croissante pour le domaine des télécommunications et pour d'autres applications.

Le Comité International devrait aider à assurer l'uniformité et l'exactitude des mesures de base requises par cette technologie.

Autant que possible, cette aide devrait être fournie par l'intermédiaire des comités consultatifs existants, conformément à leur domaine de responsabilité respectif.

L'aide métrologique relative à la mesure des caractéristiques radiométriques des sources et détecteurs utilisés avec les fibres optiques, ainsi qu'à la mesure des flux énergétiques, doit être de la responsabilité du CCPR.

La responsabilité de l'assistance dans les autres domaines de la métrologie relative à la technologie des fibres optiques ne doit être attribuée à aucun comité consultatif en particulier tant que les besoins en la matière n'ont pas été clairement définis.

Les présidents des Comités Consultatifs d'Électricité et de Photométrie et Radiométrie devraient en conséquence revoir les arrangements conclus par le Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences du CCE concernant la comparaison internationale de mesures de flux énergétique aux longueurs d'onde 0,85, 1,3 et 1,55  $\mu\text{m}$ . »

Mr Ambler fait remarquer que dans la récente comparaison internationale du CCPR, certains laboratoires semblaient encore ignorer la recommandation du Groupe de travail sur l'expression des incertitudes qui demande d'utiliser l'écart-type.

Mr Blevin est d'accord : ces conseils n'ont pas été suivis. Le CIPM devrait faire une recommandation formelle à ce sujet.

Le président est d'accord sur le principe et suggère de rédiger une recommandation, qui est adoptée (*voir* p. 35 Recommandation 1 (CI-1986) : Expression des incertitudes dans les travaux effectués sous les auspices du CIPM).

Mr Ambler estime d'autre part que l'on ne tire pas assez les conclusions des comparaisons internationales. Le BIPM occupe une position très forte dans ce domaine. Il faudrait en tirer un meilleur profit.

Le président est d'accord avec Mr Ambler : les comités consultatifs et le BIPM devraient essayer de mieux présenter les résultats des comparaisons internationales, pour mieux faire ressortir les leçons que l'on peut en tirer et rendre plus efficace leur exploitation ultérieure.

Mr Ambler suggère de demander aux comités consultatifs d'interpréter les résultats des comparaisons internationales.

Mr Blevin est du même avis. Le BIPM a toujours pris grand soin de tirer des conclusions objectives de ces comparaisons, mais les experts ont le sentiment qu'il pourrait être utile de présenter différents types de commentaires individuels sur les résultats, comportant une certaine dose de subjectivité. Il partage le point de vue de Mr Ambler : le BIPM ne peut pas extraire le maximum de ces comparaisons s'il se borne à présenter seulement les résultats bruts.

Le président suggère de demander aux présidents des comités consultatifs lors des prochaines sessions de prendre des mesures à cet effet. Une recommandation dans ce sens est préparée et adoptée (*voir* p. 36 Recommandation 2 (CI-1986) : Analyse des résultats des comparaisons internationales).

#### 4.3. Réunions futures

Lors de la précédente session du CIPM (*voir BIPM Proc. Verb. Com. Int. Poids et Mesures*, 53, 1985, p. 13), la question des réunions futures des comités consultatifs avait donné lieu à une discussion étendue. Les dates suivantes sont proposées pour les prochaines réunions :

CCDM	1988
CCDS	mai-juin 1988
CCE	deuxième moitié de septembre 1988
CCEMRI	section II : 23-26 juin 1987
CCM	mai 1988
CCPR	pas avant 1990
CCT	9-11 juin 1987
CCU	juillet 1987 (*)

Mr Giacomo fait remarquer que c'est une lourde charge pour le BIPM d'assurer tous les travaux qu'impliquent les réunions de quatre comités consultatifs la même année.

---

(\*) Il a été décidé ultérieurement que le CCU ne se réunirait pas en 1987, l'importance des questions à porter à l'ordre du jour n'étant pas suffisante.

## 5. Travaux du BIPM

Le président ouvre la séance consacrée à l'exposé des travaux et rappelle aux physiciens et métrologistes présents que cette session marque une date importante, celle de la 75<sup>e</sup> session du Comité International. Il fait savoir au personnel combien les membres du Comité attachent d'importance aux travaux du Bureau, puis il cède la parole à Mr Giacomo.

Mr Giacomo remercie le président et souligne deux faits marquants pour le Bureau. L'un est le succès du travail sur l'effet Hall quantique qui a débuté il y a seulement deux ans, succès dû pour une bonne part à l'aide de Messieurs Endo et Yoshihiro de l'ETL, du Professeur Kawaji, de la Gakushuin University, et de Mr Delahaye du Laboratoire central des industries électriques (LCIE). L'autre est la mise en service du General Positioning System (GPS), d'une grande importance pour le TAI : il permet par exemple d'établir une liaison horaire simultanée entre trois laboratoires, effectuant une fermeture autour du monde en trois étapes. Les écarts observés ont incité le BIPM, avec l'aide du NBS, à faire une comparaison des récepteurs GPS en service par transport d'un récepteur « étalon ». On espère ainsi pouvoir expliquer certains écarts inattendus qui dépassent largement 10 nanosecondes. Il rappelle par ailleurs la comparaison internationale de gravimètres organisée en juillet 1985, dont les résultats sont maintenant connus, mais plutôt décevants, car ils révèlent des écarts systématiques considérables entre gravimètres. Ces résultats appellent d'autres mesures.

Il invite les physiciens à présenter leur travail aux membres du CIPM, à commencer par la section des longueurs, et cède la parole à Mr Carré.

Mr Carré présente l'historique du comparateur photoélectrique et interférentiel du BIPM depuis son entrée au Bureau en 1960 jusqu'à 1986, avec une extrapolation jusqu'en 1990.

Mr Hamon présente le travail relatif à l'interférométrie : comparaison de longueurs d'onde de lasers, à l'aide de l'interféromètre de Michelson.

Mr Chartier rappelle aux membres du CIPM qu'il vient de passer un an au Joint Institute for Laboratory Astrophysics (JILA), Boulder, où il a pu étudier des lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée de l'iode à  $\lambda = 543$  nm, lasers dont la stabilité est excellente.

Mr Quinn informe les membres du Comité que Mr Gläser va rejoindre la PTB au début de l'année 1987.

Mr Gläser expose son travail sur les lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée de l'iode à  $\lambda = 612$  nm.

Mr Felder présente le travail sur les lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée du méthane en cuve interne à  $\lambda = 3,39$   $\mu\text{m}$ , et notamment la comparaison de lasers avec l'IMPR, Moscou.

Mr Quinn tient à souligner que le travail effectué dans la section des lasers est un bon exemple de la façon dont le BIPM doit travailler : chercher à comprendre le fonctionnement et les raisons du manque de reproductibilité de tel ou tel laser, effectuer des comparaisons entre laboratoires, rester au niveau technique et scientifique des autres laboratoires, envoyer des membres du personnel de la section faire des stages dans d'autres laboratoires.

Mr Blevin demande s'il est vrai que le BIPM a l'intention de proposer des comparaisons internationales de cuves d'absorption et non de lasers asservis complets ?

Mr Chartier répond affirmativement. Les causes possibles du décalage de fréquence observé entre deux lasers sont multiples. On a de bonnes raisons de soupçonner une contribution due à certaines impuretés contenues dans les cuves à iode. Il propose d'organiser des comparaisons internationales d'ici deux ans pour vérifier la qualité des cuves d'absorption.

L'exposé des travaux se poursuit par la section des masses.

Mr Girard expose l'effet du nettoyage-lavage sur les étalons de masse en platine iridié, l'évolution de la masse des étalons fabriqués depuis 1949 et les comparaisons en cours organisées par le Groupe de travail « Masse volumique de liquides et solides » du CCM.

Il cède ensuite la parole à Mr Speake qui présente les travaux en cours sur la balance prototype à suspensions flexibles, et notamment sur les dispositifs destinés à lutter contre les microséismes, dont la composante horizontale et la composante d'inclinaison perturbent sensiblement l'équilibre de la balance.

En l'absence de Mr Sakuma, Mr Quinn présente la deuxième comparaison internationale de gravimètres organisée en juillet 1985. Les résultats sont assez décevants, car on ne sait pas si on doit se fier aux résultats du gravimètre du BIPM ou à la moyenne des mesures. Il est entre autres surprenant que le gravimètre du BIPM et celui de l'IMGC, qui utilisent la même méthode, donnent des résultats différents.

Le président pense qu'il convient de poursuivre les recherches dans ce domaine.

Mr Bonhoure présente le travail de la section de photométrie, et en particulier la comparaison internationale d'étalons d'intensité et de flux lumineux organisée à la suite de la nouvelle définition de la candela en 1979.

Mr Guinot, représentant la section du temps, souligne que le Temps atomique international (TAI) bénéficie maintenant d'une couverture mondiale, incluant près de 50 à 60 laboratoires et 200 horloges. Il présente certaines activités de recherche telles que le service de transmission de données automatisé donnant un accès direct aux résultats, le travail

sur les algorithmes, les différents réseaux de liaisons horaires dans le monde et les études sur les pulsars. Il informe le CIPM de la comparaison par transport d'un récepteur GPS qui a lieu actuellement, grâce à la collaboration du BIPM et du NBS, pour identifier des écarts allant jusqu'à 100 ns dans les comparaisons entre horloges.

Mr Ambler demande si ces écarts sont dus à des inexactitudes des coordonnées ou à des erreurs d'une autre nature.

Mr Guinot répond qu'il ne le sait pas vraiment. Il peut s'agir de divergences entre différents modèles d'orbites ou de retards dus à l'installation dans certains laboratoires. Il cite aussi l'effet de la réfraction atmosphérique, lorsque l'angle d'élévation du satellite est faible, et les erreurs dans le logiciel de traitement des données des récepteurs.

Le président rappelle que les publications précédentes sur le GPS faisaient état d'incertitudes de 100 à 300 ns. Maintenant l'exactitude est meilleure. Est-ce que les laboratoires donnent des valeurs plus exactes que par le passé ?

Mr Guinot répond que les incertitudes sur les coordonnées sont bien plus faibles, mais elles sont encore excessives pour les comparaisons de temps.

Le président remarque que le nombre de laboratoires qui participent à l'établissement du TAI a augmenté de manière exponentielle, ainsi que le nombre d'horloges. Ne sera-t-il pas nécessaire de mettre des limites à cette croissance ?

Mr Guinot répond que non, car le nombre de participants potentiels a ses propres limites. Presque tous les laboratoires susceptibles de participer à l'établissement du TAI y participent aujourd'hui. Il n'est donc pas nécessaire de fixer des limites par voie d'autorité. Quant aux horloges du commerce, il faut remarquer qu'elles sont en progrès.

Mr Ambler demande combien de systèmes différents d'horloges existent actuellement sur le marché.

Mr Guinot répond qu'il en y a environ une dizaine.

Mr Blevin s'inquiète du risque de réduction de l'indépendance des horloges engendré par les systèmes automatiques de transmission de données.

Mr Guinot répond que l'objectif de ces systèmes est seulement de donner un accès rapide aux résultats, mais il reconnaît que certains laboratoires peuvent être tentés de les utiliser pour ajuster leurs horloges, ce qui n'est bien sûr pas sans danger.

Mr Witt présente ensuite les travaux de la section d'électricité relatifs à la mise en œuvre de l'effet Hall quantique. Il rappelle que Mr Endo, de l'ETL, quittera le BIPM en décembre 1986, que Mr Delahaye, du LCIE, a été engagé au mois d'août 1986, et que Mr Satrapinsky, de l'Institut de Métrologie D.I. Mendéléev, a été engagé comme chercheur associé pour une période de deux ans à compter du mois de juin 1986. Mr Leclerc a pris sa retraite en décembre 1985.

Mr Reymann présente les mesures de résistance de 10 k $\Omega$  par rapport à  $\Omega_{69-B1}$ . Il rappelle le travail qu'il a effectué au LCIE avec Mr Delahaye sur un comparateur cryogénique de courants. Une amélioration de l'exactitude allant jusqu'à  $1 \times 10^{-8}$  a pu être constatée.

Mr Blevin se demande s'il conviendrait de s'efforcer de remplacer les étalons de 1  $\Omega$  par des étalons de 10 k $\Omega$ . Les résultats des étalons de transfert de 10 k $\Omega$  sont encourageants.

Mr Reymann répond qu'à l'avenir les mesures effectuées en utilisant l'effet Hall quantique se feront par l'intermédiaire de résistances de 100  $\Omega$  qui permettent de passer de 1  $\Omega$  à 10 k $\Omega$  avec un niveau de confiance plus élevé.

Mr Allisy présente le travail effectué dans la section des rayonnements ionisants par le personnel du BIPM et les stagiaires extérieurs. Il rappelle que Mr Rytz a pris sa retraite en août 1986, après 24 ans passés au BIPM. Grâce à Mr Müller et à Mr Ratel son œuvre peut continuer. Son travail dans le domaine des particules  $\alpha$  est bien connu de tous et apprécié dans le monde entier. Mlle Niatel a pris sa retraite de l'INSERM le 1<sup>er</sup> octobre 1986 après avoir passé 23 ans dans le laboratoire de dosimétrie des rayons X et  $\gamma$  en qualité de stagiaire. La collaboration entre le BIPM et l'INSERM est exemplaire. Mme Boutillon, de l'INSERM, qui a travaillé pendant 23 ans dans cette même section, participe maintenant aux travaux de l'ICRU, mais continuera à être présente au BIPM. Depuis décembre 1985, Mr de Almeida, directeur de l'Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD), Rio de Janeiro, Brésil, passe une année sabbatique au BIPM pour se consacrer à deux projets de recherche : établissement d'un étalon d'exposition et comparaison à l'étalon du BIPM, mesures de temps morts équivalents. Des étalonnages d'étalons secondaires de dosimétrie X et  $\gamma$ , ainsi que des comparaisons de dose absorbée ont été effectués. Les comparaisons de mesures de dose absorbée dans l'eau progressent mais, du fait de la réduction de personnel de trois personnes à une dans cette section, il est douteux que ce travail, d'une grande importance pour le BIPM, puisse aboutir.

Mr de Almeida remercie le BIPM et le Professeur Allisy pour leur accueil. Il exprime sa gratitude et sa fierté d'avoir pu travailler avec Mlle Niatel durant la dernière année qu'elle a passée au BIPM. Il expose tout d'abord le travail effectué par son laboratoire au Brésil, qui compte environ 300 personnes, puis le résultat des mesures comparatives d'exposition dans l'air effectuées au BIPM au cours de ces derniers mois à l'aide des chambres de l'IRD et du BIPM, mesures qui permettront d'améliorer la cohérence interne des étalons de l'IRD.

Mr de Almeida cède la parole à Mr Huyhn pour présenter les deux comparaisons internationales de mesures neutroniques qui ont eu lieu au BIPM en 1985 : comparaison de mesures de débit de fluence entre l'Institute of Atomic Energy (IAEB), Beijing, et le BIPM ; comparaison internationale de mesures de débit de kerma organisée par le BIPM.

Mr Müller présente ensuite l'activité de la section des mesures de radionucléides, dont le travail est efficacement poursuivi grâce à la présence de Mr Ratel, excellent physicien capable de maintenir et de renouveler le travail effectué par Mr Rytz.

Mr Ratel parle tout d'abord du compteur proportionnel à pression du BIPM, construit selon les plans de la PTB, puis de l'application du nouveau compteur à la mesure de l'activité de sources de  $^{109}\text{Cd}$ , de la participation du BIPM à la comparaison internationale du  $^{109}\text{Cd}$  et du Système international de référence (SIR) pour la mesure de l'activité d'émetteurs de rayons  $\gamma$ .

Mr Ambler, se référant à la comparaison internationale du  $^{109}\text{Cd}$ , demande à Mr Ratel de faire quelques commentaires sur la manière dont l'activité du  $^{109}\text{Cd}$  peut être mesurée, de donner l'incertitude associée à ces mesures. Il demande s'il n'est pas possible d'analyser plus en détail ces mesures et d'en tirer des conclusions.

Mr Ratel répond que l'incertitude est de  $\pm 1\%$ , si l'on exclut les résultats anormaux. Il rappelle que les résultats sont très récents et n'ont donc pas encore pu être analysés en détail.

Mr Ambler souligne que le but de telles comparaisons est justement de faire connaître les résultats des laboratoires, de montrer quelle est leur réussite, quelle est la cohérence des mesures. Il souhaite que les conclusions concernant les incertitudes des mesures soient plus développées.

Mr Witt suggère de présenter un histogramme des résultats, afin de mettre en évidence leur distribution.

Mr Müller souligne que l'essentiel a été dit et que les résultats lui inspirent une grande confiance.

Il expose ensuite le travail relatif aux statistiques de comptage : effet de deux temps morts, temps morts équivalents, contrôle des temps morts, nouvelle formule pour le calcul des coïncidences aléatoires, poids statistiques. Le résultat de ses recherches relatives aux poids statistiques négatifs lui inspire la conclusion suivante : quel que soit le domaine choisi, il y a toujours du nouveau à découvrir, pour peu que l'on choisisse avec soin l'objet de ses recherches, que l'on pose la bonne question, et que l'on n'abandonne pas prématurément ses recherches, même si l'on donne l'impression d'aller contre le sens commun.

Mr Giacomo rappelle qu'au cours de ces exposés on a mentionné le départ de trois personnes qui ont joué un rôle important au BIPM dans les vingt-cinq dernières années. Il parle tout d'abord de Mlle Niatel et de Mme Boutillon, qui ont consacré vingt-trois ans au démarrage et aux progrès des mesures de rayons X et  $\gamma$  au BIPM. Mr Allisy a déjà souligné leur contribution au travail de la section des rayonnements ionisants. Bien que ne faisant pas partie du personnel, au sens propre, elles se sont intégrées avec bonheur à l'activité et à l'ambiance du Bureau. Il parle ensuite de Mr Carré, entré au Bureau il y a vingt-six

ans, qui a lui-même présenté l'historique du comparateur interférentiel mais n'a pas parlé d'une autre activité qui a joué un rôle important pour l'évolution du BIPM au cours de ces vingt-cinq dernières années : l'informatique. Mr Carré a été le premier à utiliser l'informatique au BIPM ; il a fortement contribué à mettre en œuvre le premier ordinateur du BIPM, l'IBM 1130, à en améliorer considérablement les possibilités et à former les physiciens et techniciens à la programmation. Depuis quinze ans, il s'est occupé en outre de la mise en forme du « Rapport du directeur » à partir des contributions des responsables des différents services, et Mr Giacomo lui en sait particulièrement gré.

Le président clôt la séance consacrée aux travaux du Bureau. Il souligne l'importance de la contribution de Mr Carré, ainsi que de Mlle Niatel et de Mme Boutillon, dans des domaines où leur compétence a joué un rôle primordial. Les paroles de MM. Giacomo et Allisy se suffisent à elles-mêmes, et il ne peut qu'ajouter que ces paroles sont totalement justifiées. Il espère que ces personnes resteront en relation avec le Bureau.

## 6. Visite du dépôt des Prototypes métriques

### Procès-verbal

Le 15 octobre 1986, à 17 h 30, en présence du président du Comité International des Poids et Mesures, du directeur du Bureau International des Poids et Mesures et du représentant des Archives de France, il a été procédé à la visite du dépôt des Prototypes métriques internationaux du Pavillon de Breteuil.

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

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

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

Température actuelle : 20,0 °C  
Température maximale : 22,0 °C  
Température minimale : 19,0 °C  
État hygrométrique : 61 %

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

Le directeur  
du Bureau,  
P. GIACOMO

Le conservateur  
des Archives de France,  
Madame L. FAVIER

Le président  
du Comité,  
D. KIND

## 7. Questions administratives et financières

Le secrétaire présente le Rapport aux Gouvernements des hautes parties contractantes sur la situation administrative et financière du Bureau International des Poids et Mesures en 1985, suivi du rapport de l'expert-comptable sur les comptes de 1985.

Mr Blevin fait remarquer que le fonds de réserve pour les bâtiments a largement augmenté, tandis que le fonds pour l'amélioration du matériel scientifique a diminué. Il est favorable au projet de construction de nouveaux bâtiments, mais il déplore que les fonds réservés au matériel scientifique soient en diminution.

Mr de Boer et Mr Giacomo expliquent que le fonds pour l'amélioration du matériel scientifique est financé exclusivement par les droits d'entrée des nouveaux pays adhérents à la Convention du Mètre. Les fonds destinés à la construction de nouveaux bâtiments n'ont aucune incidence sur le fonds réservé à l'amélioration du matériel scientifique.

Après avoir examiné le bilan administratif et financier pour 1985, le Comité donne quitus à l'administrateur et au directeur du BIPM.

Le secrétaire cède la parole à Mr Giacomo pour la présentation du projet de budget pour 1987. Il fait remarquer que le budget pour 1986, en recettes et en dépenses, est inférieur de 7 % à ce qui avait été prévu par suite des retards de paiement des contributions de certains États membres. Le budget est en équilibre, ce qui implique des économies.

Le président ajoute que des éléments dont nous ne sommes pas maîtres affectent le budget.

Mr Blevin attire l'attention sur les 900 000 francs-or pris sur les réserves en 1986 pour le TAI. Il fait remarquer que les dépenses de fonctionnement du TAI ont été moins élevées que prévu.

Mr Giacomo répond que la répartition des besoins de cette section est encore mal connue. La proportion du travail qui est effectué sur les micro-ordinateurs du BIPM a augmenté par rapport au travail effectué sur les serveurs extérieurs, ce qui entraîne des économies. L'un des physiciens de la section du temps participe actuellement à une comparaison internationale, ce qui augmentera le budget « transport » au détriment du budget « matériel ».

Le secrétaire précise que 600 000 francs-or seront pris sur les réserves pour le TAI en 1987 et 300 000 francs-or en 1988 (\*), et qu'ensuite le TAI sera totalement absorbé. Les dépenses ont dû être limitées en 1986, mais nous espérons faire en 1987 ce qui n'a pas été fait en 1986. De plus, il est très difficile de fixer le budget strictement à l'avance : le budget effectif varie en fonction de la ponctualité des États membres dans le paiement de leurs contributions, mais le budget prévu ne peut en tenir compte.

---

(\*) Voir note page 5.

## BUDGET POUR 1987

### RECETTES

A. Recettes budgétaires :		Francs-or
Contributions des États .....	15 633 700	} 17 250 000
Intérêts des fonds.....	1 595 000	
Taxes de vérification .....	21 300	
B. Prélèvement sur l'actif du compte I.....		450 000
Total.....		<u>17 700 000</u>

### DÉPENSES

A. Dépenses de personnel :		
1. Traitements .....	7 000 000	} 11 600 000
2. Allocations familiales.....	1 400 000	
3. Sécurité Sociale.....	900 000	
4. Assurance-accidents.....	100 000	
5. Caisse de retraites.....	1 500 000	
6. TAI — Traitements.....	670 000	
7. TAI — Caisse de retraites .....	30 000	
B. Dépenses de fonctionnement :		
1. Mobilier .....	50 000	} 2 900 000
2. Laboratoires et ateliers .....	1 100 000	
3. Chauffage, eau, énergie électrique.....	500 000	
4. Assurances .....	27 000	
5. Impressions et publications .....	220 000	
6. Frais de bureau .....	310 000	
7. Voyages et transports d'appareils.....	330 000	
8. Entretien courant.....	210 000	
9. Bureau du Comité .....	55 000	
10. TAI.....	98 000	
C. Dépenses d'investissement :		
1. Laboratoires .....	1 300 000	} 1 600 000
2. Atelier de mécanique.....	80 000	
3. Atelier d'électronique.....	10 000	
4. Bibliothèque.....	160 000	
5. TAI.....	50 000	
D. Bâtiments (gros travaux d'entretien et de rénovation).....	1 500 000	
E. Frais divers et imprévus.....	100 000	
F. Utilisation de monnaies non convertibles.....	0	
Total.....		<u>17 700 000</u>

Mr Bray trouve que les dépenses de fonctionnement sont trop importantes par rapport aux dépenses d'investissement.

Mr Kovalevsky pense qu'il faut prendre en compte l'évolution générale de toutes les dépenses : le chapitre « fonctionnement » correspond principalement aux expériences courantes.

Mr Giacomo ajoute que la répartition entre dépenses de fonctionnement et dépenses d'investissement varie suivant les sections : le TAI consomme essentiellement des dépenses de fonctionnement, d'autres activités comme la mise en œuvre de l'effet Hall quantique entraînent principalement des dépenses d'investissement. Il fait par ailleurs remarquer qu'au BIPM le matériel dure très longtemps.

Le président constate que le budget de l'exercice en cours et le projet de budget pour 1987 sont approuvés.

Le secrétaire aborde ensuite la question des salaires. Pour l'année 1986, un facteur de réduction des salaires de 0,99 avait été voté. Le bureau du Comité propose de supprimer ce facteur de réduction à compter du 1<sup>er</sup> janvier 1987. Les membres du Comité donnent leur accord sur ce point.

### **8. Proposition pour la construction du « Nouveau Pavillon ».**

Le président cède la parole à Mr Quinn pour la présentation du projet de construction d'un nouveau bâtiment destiné à abriter des bureaux pour l'ensemble des services administratifs et la bibliothèque, avec quelques bureaux pour des physiciens.

Mr Quinn rappelle le plan qui avait été présenté lors de la précédente réunion du Comité International, en 1985. Des améliorations y ont été apportées. Un programme à long terme pour les bâtiments avait été soumis aux membres du Comité en 1982. Un bâtiment a été construit à l'emplacement de la menuiserie pour la section des lasers. Le présent projet constitue la deuxième étape du programme de construction ; il concerne un bâtiment administratif-bibliothèque, qui sera construit à l'emplacement des garages. La troisième étape serait constituée par un bâtiment qui comprendrait des laboratoires et ateliers et qui pourrait être construit derrière le bâtiment des rayonnements ionisants. Ce projet avait reçu l'approbation du Comité International et les autorités françaises sont bien disposées à notre égard du fait du succès du bâtiment des lasers. Il ne faut pas oublier que le Pavillon de Breteuil est un site historique protégé, et qu'il convient d'en respecter l'esthétique. L'arrivée du TAI au BIPM a ravivé le besoin d'espace supplémentaire pour des bureaux et des laboratoires. Le problème de la bibliothèque a été très souvent soulevé, ainsi que le manque de petites salles de réunion. Le nouveau bâtiment, que nous appellerons le « Nouveau Pavillon » s'intègre bien aux bâtiments existants. Des garages ont été prévus vers le bâtiment

des neutrons pour remplacer les garages existants. Ils ne seront pas visibles de l'extérieur. L'espace disponible dans le Nouveau Pavillon sera de 900 m<sup>2</sup> habitables. Au niveau 0 se trouveront le secrétariat, les services administratifs et pour le directeur un bureau suffisamment grand pour accueillir de petites réunions ; le niveau — 1 sera consacré à la bibliothèque et le niveau — 2 à des bureaux. Le projet a été discuté avec l'architecte du bâtiment des lasers qui connaît bien les besoins du BIPM. Les autorités françaises ont donné leur accord virtuel. La question est de savoir si ce nouveau bâtiment doit ou non être construit et si oui quand doit-on commencer. En 1983 le programme à long terme de bâtiments avait été évoqué à la Conférence Générale, et il avait été prévu que des fonds seraient demandés à la prochaine Conférence Générale. En fait, il ne sera pas nécessaire de demander des fonds spéciaux pour la construction. Le bâtiment peut être financé sur le budget annuel.

Mr Dean ne discute pas de l'opportunité de la construction d'un nouveau bâtiment, mais demande quelle est l'affectation des fonds résultant de la différence entre l'inflation réelle et l'accroissement de la dotation votée. Une partie de ce budget a été utilisée pour le TAI, mais le reste ?

Mr de Boer répond que lors de la 17<sup>e</sup> Conférence Générale, en 1983, une augmentation annuelle de la dotation de 9 % avait été votée, alors que l'inflation était encore de 9 % par an. Le Comité avait demandé 12 % d'augmentation par an et en avait obtenu 9 %. Sur ces 9 %, 3 % correspondent actuellement à l'inflation, approximativement 2 % à l'absorption en trois étapes du TAI, et les 4 % restants se divisent approximativement en 1 ½ % pour l'accroissement du personnel, 1 ½ % pour les augmentations de salaire dues à l'ancienneté et 1 % à la sophistication. Le nouveau bâtiment sera financé entièrement par le chapitre D « Bâtiments (gros travaux d'entretien et de rénovation) » du budget annuel normal, comme le bâtiment des lasers construit entre 1982 et 1984.

Mr Kovalevsky souligne que la somme affectée à la construction du nouveau bâtiment administratif correspond plus ou moins à la somme dépensée pour la construction du bâtiment des lasers. La dotation votée pour la période 1981-1984 était sensiblement du même ordre de grandeur, et donc la même somme d'argent peut être mise de côté chaque année pour les bâtiments. Ce fonds pour les bâtiments est inscrit dans le budget.

Mr Dean dit qu'il est en effet important que ce fonds soit inclus dans le budget.

Le président pense qu'il convient de justifier ce projet de bâtiment par les besoins du Bureau et non de discuter des conditions économiques plus ou moins favorables. Le fait que la situation soit actuellement favorable a pour conséquence de favoriser la réalisation du projet maintenant et non plus tard.

Mr Preston-Thomas rappelle que lorsque Mr Terrien était directeur du Bureau, il avait demandé l'accroissement des fonds de réserve. C'est sur ces fonds de réserve alimentés par le budget annuel que sont prélevés les fonds pour la construction de nouveaux bâtiments.

Mr Dean suggère que cela soit expliqué clairement.

Mr Plebanski demande si le budget prévisionnel comprend également les garages. Mr Quinn répond que oui. Mr Plebanski pense que ce budget est raisonnable et il est favorable à ce projet.

Mr Blevin dit qu'il est pour sa part tout à fait conscient du besoin d'espace et de la nécessité de construire de nouveaux bâtiments. Le projet présenté par l'architecte est très réussi du point de vue esthétique. Il demande si un tunnel est prévu pour relier le nouveau bâtiment à l'Observatoire. Mr Quinn répond que oui. Il demande par ailleurs si le CIPM est bien sûr que le Bureau peut se permettre une telle dépense, si ce n'est pas risqué. Le CIPM peut-il prendre la décision de construire maintenant le bâtiment avec le risque que la Conférence Générale de 1987 n'augmente pas la dotation autant que nous le proposons ?

Mr Ambler répond que ce projet de bâtiment n'est pas lié à la prochaine Conférence Générale. Une somme correspondant à 6 % du budget est consacrée chaque année aux bâtiments. Le bâtiment des lasers a coûté relativement plus cher. Le nouveau bâtiment sera financé sur les réserves alimentées par le budget annuel normal.

Le secrétaire précise que le bâtiment des lasers a été aussi financé sur les réserves du Compte V qui est alimenté par le chapitre « Bâtiments » du budget annuel.

Mr Kovalevsky souligne que, si la prochaine Conférence Générale vote une dotation sans augmentation, il faudra réduire le budget. Il pourrait alors être difficile de continuer à affecter 6 % du budget au fonds de réserve pour les bâtiments.

Le secrétaire ajoute que si l'augmentation de la dotation pour la période suivante, de 1989 à 1992, était davantage limitée par la Conférence Générale, il faudrait songer sérieusement à réduire les activités et à licencier du personnel. Le projet de Nouveau Pavillon sera financé entièrement sur le budget annuel de la période actuelle, de 1985 à 1988. De plus, comme il s'agit de bureaux et non d'un laboratoire, le budget de fonctionnement correspondant sera plus léger.

Le président suggère que les arguments soient formulés soigneusement pour faire apparaître clairement la base financière, pour le passé ainsi que pour l'avenir. Il doit être clair qu'il n'est pas nécessaire de demander de l'argent à la prochaine Conférence Générale pour ce bâtiment.

Le président demande si le Comité est d'avis de donner un accord de principe pour la construction du bâtiment et de passer contrat avec l'architecte dès maintenant, afin que les travaux commencent au printemps prochain.

Il a l'intention d'inclure un exposé complet de la question dans son rapport à la Conférence Générale.

Décision est prise par le CIPM de procéder dès maintenant à la construction du nouveau bâtiment.

## 9. Préparation de la 18<sup>e</sup> Conférence Générale

Le président présente le projet du document de Convocation de la 18<sup>e</sup> Conférence Générale.

En accord avec le Ministère des Affaires Étrangères de France, les dates retenues pour la 18<sup>e</sup> CGPM sont les 12, 13, 14, 15 et 16 octobre 1987. Le Comité International se réunira la semaine qui précède, les 9 et 10 octobre, et tiendra une courte session à la fin de la Conférence Générale. La Convocation doit être envoyée aux Gouvernements des États membres avant la fin de l'année 1986, elle doit donc parvenir à l'imprimeur dès la fin de la présente session. Le projet de ce document doit donc être mis au point, avec les projets de résolution.

L'ordre du jour provisoire est tout d'abord discuté et Mr Giacomo propose la modification suivante : Point 8, Masse et grandeurs apparentées ; *kilogramme*.

Le président passe ensuite en revue les commentaires sur les principaux points de l'ordre du jour.

En ce qui concerne les masses, deux projets de résolution sont prévus : le premier, le projet de résolution A vise à informer les laboratoires nationaux de la préparation de la troisième comparaison générale des prototypes du kilogramme dont le principe a été adopté lors de la session du CIPM en 1985. Il s'agit en effet d'une comparaison particulièrement importante ; les laboratoires doivent en être informés afin de pouvoir prendre les dispositions nécessaires et compatibles avec leur propre programme de travail. Ils seront en effet privés de leur étalon primaire pendant un certain temps.

### *Projet de résolution A*

La Dix-huitième Conférence Générale des Poids et Mesures,

*rappelant et confirmant* la Résolution 3 de la Quinzième Conférence Générale des Poids et Mesures,

*ayant pris l'avis* du Comité International des Poids et Mesures et ayant approuvé sa décision de procéder à une comparaison du Prototype international du kilogramme, de ses témoins et des prototypes d'usage du Bureau International des Poids et Mesures,

*considérant* que le Bureau International des Poids et Mesures sera ensuite en mesure d'organiser une comparaison générale des prototypes nationaux, comparaison qui devrait commencer vers 1989-1990,

*recommande* que les laboratoires concernés se préparent à envoyer au Bureau International des Poids et Mesures leurs prototypes nationaux du kilogramme en platine iridié, en vue d'une comparaison générale de ces prototypes.

Le deuxième projet de résolution a pour but d'inciter les laboratoires à porter leurs efforts sur l'étude des problèmes complexes de pollution qui risquent de compromettre la stabilité à long terme des étalons de masse. Mr Wang Daheng estime à ce sujet qu'il serait peut-être opportun de revoir les conditions de conservation des étalons.

#### *Projet de résolution B*

La Dix-huitième Conférence Générale des Poids et Mesures,

*considérant*

que la stabilité à long terme est l'une des caractéristiques essentielles des étalons de masse,

que les perfectionnements apportés aux balances permettent aujourd'hui de mettre en évidence des variations de masse de quelques microgrammes sur un kilogramme,

que des variations de cet ordre ont été observées et ont pu être attribuées à des effets superficiels dus en particulier à la pollution par les agents atmosphériques,

que les méthodes utilisées pour nettoyer la surface des étalons de masse pourraient avoir des effets insoupçonnés,

que diverses méthodes modernes permettent d'étudier le comportement superficiel des alliages dont sont constitués les étalons de masse,

que des résultats importants ont déjà été obtenus à l'aide de ces méthodes concernant la contamination des surfaces,

*recommande* que les laboratoires appliquent les diverses techniques maintenant disponibles pour étudier la composition et le comportement superficiels du platine allié à 10 % d'iridium et des autres alliages dont sont constitués les étalons de masse.

Mr Kovalesvky présente ensuite les commentaires concernant la seconde et l'échelle du Temps atomique international. Trois projets de résolution sont prévus. Le premier concerne la prise de responsabilité du TAI par le CIPM.

#### *Projet de résolution C*

La Dix-huitième Conférence Générale des Poids et Mesures,

*considérant* l'importance des mesures de temps et en particulier de l'échelle de Temps atomique international, laquelle a déjà fait l'objet de la Résolution 2 de la Quatorzième Conférence Générale des Poids et Mesures et des Résolutions 4 et 5 de la Quinzième Conférence Générale,

*ayant pris connaissance* des résolutions adoptées par les Unions internationales concernées, Union Astronomique Internationale, Union Géodésique et Géophysique Internationale et Union Radio-Scientifique Internationale,

*rend hommage* au Bureau International de l'Heure et à son organisme-hôte, l'Observatoire de Paris, pour la création du Temps atomique international et pour la qualité des travaux accomplis pour l'établir et le diffuser,

*approuve* les décisions du Comité International qui ont eu pour effet la prise en charge par le Bureau International des Poids et Mesures de l'établissement et de la diffusion du Temps atomique international,

*et recommande* aux institutions nationales concernées de poursuivre avec le Bureau International des Poids et Mesures leur collaboration pour l'établissement et l'amélioration du Temps atomique international.

Les deux autres projets visent à obtenir une amélioration de la réalisation de la seconde telle qu'elle est définie actuellement. Le CCDS se montre certes intéressé par les nouvelles techniques, telle que la mesure des pulsars par exemple, mais il serait prématuré de vouloir les mettre en œuvre pour la dissémination du temps. En revanche, il est fondamental que des progrès soient faits dans les méthodes utilisées actuellement. Il convient en particulier d'approfondir les études concernant les perturbations qui affectent les horloges à césium.

#### *Projet de résolution D*

La Dix-huitième Conférence Générale des Poids et Mesures,

*considérant*

que la synchronisation de haute précision devient rapidement une condition essentielle des télécommunications modernes,

que les liaisons aller et retour par satellite permettent d'effectuer des comparaisons de temps à l'échelle internationale avec une très grande précision,

qu'il apparaît possible de transmettre des signaux horaires pseudo-aléatoires superposés à une utilisation normale des voies de communication sans qu'il y ait interférence,

que ces techniques de signaux pseudo-aléatoires permettent aussi de mesurer la distance du satellite avec une grande précision,

*recommande* que les organes nationaux et internationaux responsables apportent leur soutien aux expériences utilisant les liaisons de télécommunication par satellites, notamment à l'aide de signaux pseudo-aléatoires, dans le cadre des programmes internationaux de liaisons horaires faisant partie de l'établissement du Temps atomique international.

*Projet de résolution E*

La Dix-huitième Conférence Générale des Poids et Mesures

*rappelle que*

la définition de la seconde telle qu'elle résulte des décisions de la Treizième Conférence Générale des Poids et Mesures sous-entend que l'atome de césium utilisé comme référence est au repos et n'est soumis à aucune perturbation,

ceci implique notamment que, dans la présente mise en pratique, les mesures doivent être corrigées en raison de la vitesse des atomes de césium par rapport au référentiel de l'horloge, en raison des interactions magnétique et électrique, de l'échange des spins et des autres perturbations éventuelles,

*et recommande*, afin de mettre en œuvre les corrections nécessaires, que les études théoriques de tous les effets perturbateurs soient développées, que les expériences permettant de mettre en évidence ces effets, d'en vérifier l'interprétation théorique et d'évaluer l'incertitude des corrections correspondantes soient poursuivies activement.

En ce qui concerne les étalons électriques, point 10 de la Convocation, la discussion a eu lieu à l'occasion de la présentation du rapport de la dernière session du CCE (*voir p. 10 le projet de résolution F*).

La parole est donnée à Mr Preston-Thomas pour présenter le projet de résolution qui concerne l'Échelle internationale pratique de température. Il n'a pas été possible de se conformer au calendrier prévu en 1979 pour la mise en place d'une nouvelle EIPT. Les dernières valeurs attendues seront connues au cours de la période comprise entre deux Conférences Générales. On va donc se trouver dans une situation comparable à celle que l'on a pour les unités électriques et Mr Preston-Thomas propose de procéder de la même façon.

*Projet de résolution G*

La Dix-huitième Conférence Générale des Poids et Mesures,

*considérant*

que l'uniformité mondiale et la stabilité à long terme des mesures de température sont d'une importance majeure pour la science, le commerce et l'industrie, du point de vue technique comme du point de vue économique,

que la valeur de la température dans l'échelle pratique doit correspondre étroitement à la valeur de la température thermodynamique dans le SI,

que la 15<sup>e</sup> Conférence Générale des Poids et Mesures, ayant pris connaissance des écarts qui ont été mis en évidence entre la valeur de la température dans l'Échelle internationale pratique de température de 1968 (EIPT-68) et la valeur correspondante de la température thermodynamique, a chargé le Comité International des Poids et Mesures d'établir une nouvelle échelle qui devrait être sensiblement plus exacte, qu'une nouvelle échelle pourra être proposée en 1989, échelle telle que les écarts résiduels avec la température thermodynamique seront négligeables pendant de nombreuses années à venir,

*invite* le Comité International des Poids et Mesures et les laboratoires nationaux à achever la mise au point de cette nouvelle échelle de température et à fixer une date pour sa mise en application simultanément dans tous les pays ; la valeur des écarts entre cette nouvelle échelle et l'EIPT-68 devrait être annoncée au moins un an avant l'adoption de la nouvelle échelle qui pourrait intervenir au 1<sup>er</sup> janvier 1990.

Mr Ambler rappelle que plusieurs membres du CIPM se demandent si les conséquences pratiques des changements qui doivent intervenir dans l'EIPT seront bien comprises. Les effets s'en feront sentir de façon générale sur les mesures de température dans l'industrie et en particulier en métrologie de précision, par exemple sur les mesures de température faites lors de l'étalonnage des étalons de longueur ou des piles étalons. Le CIPM demande au directeur du BIPM d'informer les directeurs des laboratoires nationaux des changements attendus et de solliciter toute suggestion sur la façon dont la nouvelle EIPT pourra être mise en œuvre afin de réduire le plus possible les perturbations qui en résulteront.

Mr de Boer présente ensuite la partie du projet concernant la dotation annuelle du BIPM. Un tableau récapitulatif de la dotation du BIPM pour les années 1985-1988 est présenté. Dans les discussions sur l'augmentation des dépenses, il ne faut pas perdre de vue qu'il y a effectivement une extension des activités du BIPM, comme en témoignent la création d'un nouveau comité consultatif (CCM), la mise en service du bâtiment des lasers, la prise en charge du TAI, la sophistication et l'augmentation du personnel. La prise en charge du TAI a été considérée comme une activité prioritaire du BIPM. Pour la première année, 1986, les frais du TAI, environ 900 000 francs-or, soit 6 à 7 % du budget, ont été prélevés sur les réserves. Pour les années suivantes, le budget du TAI doit être absorbé en trois étapes de 300 000 francs-or (environ 2 % du budget) par le budget normal du Bureau (\*). Cette absorption échelonnée du TAI dans le budget du Bureau réduit en fait approximativement de 2 % l'augmentation annuelle disponible pour les autres activités pendant ces années. Pour la période 1989-1992, il est décidé de demander une dotation permettant de couvrir les besoins du

---

(\*) Voir note page 5.

BIPM, qui correspondent en fait aux besoins des États membres. Le bureau du Comité estime que cela demandera une augmentation annuelle de la dotation de l'ordre de 6 %. Le bureau du Comité propose de se limiter à ce qui est nécessaire pour l'accroissement normal de la complexité du matériel, pour les avancements et l'augmentation de qualification du personnel et pour la mise en œuvre de quelques méthodes déjà éprouvées dans les laboratoires nationaux, sans innovation. On peut estimer qu'une augmentation réelle de 3 à 4 % par an permettrait de maintenir un niveau réel de compétence raisonnable par rapport aux laboratoires nationaux, suivant les principes approuvés en 1984. En outre, pour les prochaines années, il serait difficile de tabler sur un développement économique mondial florissant : on peut espérer que l'augmentation des prix restera inférieure à 3 % mais l'évolution est difficile à prévoir. Pour ces raisons, le bureau du Comité recommande de proposer 6 % comme chiffre global pour l'augmentation annuelle de la dotation pour la période suivante couvrant les années 1989 à 1992.

Après une discussion approfondie, le Comité est d'accord avec les propositions du bureau et en particulier avec l'augmentation de 6 % par an à demander à la Conférence Générale.

Mr Kovalevsky demande combien de temps est accordé aux présidents des comités consultatifs pour la présentation de leur rapport. Mr Giacomo répond que la durée des présentations est de l'ordre de dix minutes à une demi-heure, suivant le nombre de résolutions à présenter. Les rapports écrits peuvent être plus développés, car ils sont destinés à être publiés dans le volume des *Comptes rendus de la Conférence Générale*. Ils doivent être prêts au moins six mois à l'avance pour pouvoir être traduits, reproduits et distribués aux participants à la CGPM et aux interprètes. Ils doivent donc être fournis au BIPM pour le 1<sup>er</sup> avril 1987. Ces rapports ne doivent pas trop entrer dans les détails techniques ou scientifiques, car une proportion notable de l'auditoire est constituée de responsables financiers, administratifs ou diplomatiques.

## 10. Questions diverses

### 10.1. Désignation du futur directeur du BIPM

Le président informe le Comité que Mr Giacomo, atteint par la limite d'âge, quittera son poste de directeur à la fin du mois de juillet 1988. À l'approche de ce départ, le Comité doit prendre une décision pour l'avenir. En l'absence de Mr Quinn, qui a quitté la salle, le directeur, Mr Giacomo, le propose comme futur directeur. Cette

proposition est appuyée par le bureau du Comité. Les qualités de Mr Quinn sont bien connues : sa position scientifique, son dévouement au Bureau, son efficacité et son énergie infatigable, ainsi que ses relations internationales en feront sans doute un bon directeur.

Il est procédé, à bulletins secrets, à l'élection du futur directeur du Bureau International des Poids et Mesures.

Mr Quinn, actuellement sous-directeur du Bureau International des Poids et Mesures, est nommé « directeur désigné », à l'unanimité des présents, pour entrer en fonction au départ de Mr Giacomo.

Mr Quinn est très touché de l'honneur qui lui est fait. Il espère, quand le temps viendra, se montrer digne de cette confiance et mettra toute son énergie à accomplir cette tâche de son mieux. En attendant, Mr Giacomo aura tout son soutien.

## 10.2. Gravimétrie

Mr Kovalevsky souhaite attirer l'attention du Comité sur l'importance internationale du travail effectué par le BIPM en gravimétrie. Le CIPM devrait avoir une meilleure information sur l'intérêt des mesures et des comparaisons gravimétriques effectuées au BIPM. La communauté géodésique a l'habitude de se fonder sur un seul point de référence, Potsdam dans le passé, et depuis 1971 Sèvres. Il souligne l'importance pour les géophysiciens de la station de référence de Sèvres et demande que le CIPM prenne une position claire sur l'avenir de cette station.

Le président répond que la situation actuelle n'est pas satisfaisante.

Mr Giacomo souligne que tout le travail de gravimétrie au BIPM repose actuellement sur Mr Sakuma, lequel a déjà eu de sérieux problèmes de santé. Le gravimètre actuel du BIPM a été conçu pour être disponible dans le commerce. Mr Sakuma y a apporté, comme il est naturel, de nombreuses améliorations de détail. En conséquence, il est seul capable de l'utiliser efficacement à l'heure actuelle. Il faudrait à un physicien de qualité deux ou trois ans pour être en mesure de prendre sa succession.

Mr Kovalevsky estime qu'il conviendrait de prendre contact officiellement avec les organisations géophysiques et géodésiques intéressées. On ne doit pas abandonner ce travail d'une extrême importance, mais du fait même que l'UGGI est concernée, il faudrait négocier avec cette Union, et peut-être avec des organismes nationaux, la façon d'en assurer la pérennité.

Mr Bray demande à Mr Kovalevsky comment il voit l'avenir. Jusqu'à maintenant le BIPM a joué un rôle central dans le domaine de la gravimétrie, grâce aux travaux de Mr Sakuma, comme le montrent les comparaisons de gravimètres et l'amélioration de l'exactitude obtenue.

Mr Kovalevsky répond que la situation devrait être clarifiée, et que les géodésiens devraient être mis en face de leurs responsabilités.

L'expérience dans d'autres domaines montre qu'il n'est pas réaliste de rattacher le réseau gravimétrique international à un seul point de référence, mais qu'il serait préférable de mettre sur pied un réseau de plusieurs stations gravimétriques de référence, sous la responsabilité de l'UGGI par exemple.

Pour Mr Blevin, le problème soulevé par Mr Kovalevsky est important puisqu'il s'agit du rôle futur du BIPM dans ce domaine.

Le président remarque que la qualité du travail effectué par Mr Sakuma justifiait la prise en charge de cette activité par le BIPM.

Mr Kovalevsky rappelle qu'il n'y a pas urgence mais qu'il faudra prendre une décision au cours des prochaines années.

Mr Quinn dit que la gravimétrie entre dans les préoccupations du BIPM, comme cela apparaît dans les conclusions relatives au plan à long terme pour le travail du Bureau International des Poids et Mesures rédigées en 1985. La mesure de  $g$  deviendrait essentielle, par exemple, si l'on envisageait de définir le kilogramme à partir de l'ampère.

À cette occasion, Mr Plebanski fait remarquer que les étalons de mesure sont de plus en plus liés aux constantes fondamentales. Il pense que le BIPM devrait établir des liens avec les organismes qui s'intéressent aux constantes fondamentales, comme CODATA.

Mr Quinn dit que c'est le cas actuellement. Mr Cohen doit quitter bientôt la présidence de CODATA et lui-même le remplacera dans cette fonction.

### **10.3. Nomination de Mr Leclerc comme « Métrologiste principal honoraire »**

Mr Giacomo propose de nommer Mr Leclerc « Métrologiste principal honoraire », comme cela avait été fait pour Mr Moreau précédemment. Mr Leclerc a passé quarante-sept ans au BIPM et a largement mérité ce titre.

Cette proposition est acceptée.

### **10.4. Prochaines sessions du CIPM**

Le CIPM se réunira les 9 et 10 octobre 1987 au Pavillon de Breteuil, avec une courte séance le dimanche 11 octobre si nécessaire. Il est également prévu une courte séance à la fin de la Conférence Générale, le vendredi 16 octobre dans l'après-midi. La prochaine session ne comportera pas de présentation des travaux du Bureau. L'exposé des travaux couvrira une période de deux ans lors de la réunion du CIPM de 1988.

Le président informe les membres du Comité que, le 6 octobre 1987, la PTB célébrera le centenaire de sa fondation, et que tous les membres ici présents sont invités à participer à cette manifestation.

Mr Blevin souligne la nécessité de fixer dès maintenant une date pour la session du CIPM en 1988, année très chargée en réunions diverses (Conférence Générale de l'OIML du 24 au 28 octobre 1988, ILAC du 17 au 21 octobre 1988, CSIRO du 31 octobre au 2 novembre 1988, IMEKO du 16 au 21 octobre 1988).

Le président propose les dates du 3 au 7 octobre 1988 pour la 77<sup>e</sup> session du CIPM ce qui est approuvé.

Il clôt la 75<sup>e</sup> session du CIPM et remercie Mr Giacomo pour la préparation de cette session du Comité.

### **Recommandations adoptées par le CIPM à sa 75<sup>e</sup> session**

Expression des incertitudes dans les travaux effectués sous les auspices du CIPM

#### RECOMMANDATION 1 (CI-1986)

Le Comité International des Poids et Mesures,

*considérant* la Recommandation INC-1 (1980) adoptée par le Groupe de travail sur l'expression des incertitudes en 1980 et la Recommandation 1 (CI-1981) adoptée par le CIPM en 1981 sur le même sujet,

*considérant* que certains membres des comités consultatifs peuvent souhaiter des éclaircissements sur ces Recommandations pour les besoins des travaux qui leur incombent, en particulier pour les comparaisons internationales,

*prend acte* de l'existence d'un groupe de travail de l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), groupe commun à l'ISO, à l'Organisation Internationale de Métrologie Légale et à la Commission Électrotechnique Internationale, auquel collabore le CIPM et qui traite des applications particulières visées par le paragraphe 5 de la Recommandation INC-1 (1980), et entre autres des applications qui ont une portée commerciale,

*demande* à tous les participants aux comparaisons internationales et aux autres travaux effectués sous les auspices du CIPM et de ses Comités Consultatifs de suivre les directives données au paragraphe 4 de la Recommandation INC-1 (1980) et de donner avec leurs résultats l'incertitude composée résultant des composantes de type A et de type B sous la forme *d'un écart-type*.

Analyse des résultats des comparaisons internationales

RECOMMANDATION 2 (CI-1986)

Le Comité International des Poids et Mesures,

*considérant* l'importance croissante de l'uniformité des étalons et des mesures physiques pour le commerce international,

*considérant* que les comparaisons internationales, en mettant en jeu une grande variété de mesures effectuées à l'initiative de ses Comités Consultatifs sous la responsabilité du CIPM, constituent le moyen le plus direct pour mettre en évidence la concordance entre les étalons de mesure des différents laboratoires dans le monde entier,

*considérant* que les résultats des comparaisons internationales organisées par les Comités Consultatifs sont souvent présentés sans commentaires,

*recommande* que les Comités Consultatifs et leurs Groupes de travail attirent à l'avenir explicitement l'attention sur toute conclusion objective que l'on peut tirer de ces comparaisons.

---

RAPPORT DU DIRECTEUR  
SUR L'ACTIVITÉ ET LA GESTION  
DU BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES  
(octobre 1985 — septembre 1986)

---

I. — PERSONNEL

*Nominations*

R. FELDER, technicien principal, a été nommé métrologue.

M. THOMAS, technicienne, a été nommée technicienne principale.

G. BOUTIN, mécanicien principal, a été classé technicien principal par assimilation.

D. ROTROU, mécanicien, a été nommé mécanicien principal.

Ces nominations ont pris effet le 1<sup>er</sup> janvier 1986. D'autre part, au 1<sup>er</sup> juillet 1986, G. BOUTIN a été nommé chef d'atelier, en remplacement de B. BODSON qui a repris ses fonctions de mécanicien principal.

*Titularisations*

C.C. SPEAKE, chercheur associé depuis le 1<sup>er</sup> février 1984, a été titularisé le 1<sup>er</sup> février 1986 en tant que physicien.

G. RATEL, chercheur associé depuis le 1<sup>er</sup> août 1984, a été titularisé le 1<sup>er</sup> août 1986 en tant que physicien.

*Engagement*

François DELAHAYE, né le 28 mai 1946 au Plessis-Robinson (Hauts-de-Seine), précédemment chef du service « Métrologie électrique fondamentale » au Laboratoire central des industries électriques (France), a été engagé comme physicien, à compter du 1<sup>er</sup> août 1986.

*Chercheur associé*

Alexandre F. SATRAPINSKY, né le 12 juin 1949 à Leningrad (U.R.S.S.), précédemment ingénieur-physicien à l'Institut de métrologie D.I. Mendéléev a été engagé, pour deux ans à compter du 11 juin 1986, en tant que chercheur associé à la section d'électricité et assimilé à physicien.

### *Départs*

G. LECLERC, adjoint, a pris sa retraite le 31 décembre 1985, après plus de 47 ans d'activités exercées avec dévouement et compétence, principalement à la section des longueurs et à celle d'électricité ; il était responsable de cette dernière depuis 1958.

A. RYTZ, adjoint, a pris sa retraite le 31 juillet 1986, après 24 ans de services hautement appréciés comme responsable des mesures de radionucléides.

## II. — BÂTIMENTS

### *Petit Pavillon*

Réfection des peintures (couloir et cuisine) du logement des stagiaires.  
Réfection de l'étanchéité du dôme de l'atelier.

### *Grand Pavillon*

Réfection d'un bureau du 2<sup>e</sup> étage : peinture du plafond et des huisseries, pose de moquette sur les murs et le plancher.

### *Observatoire*

Ravalement des façades ; réfection des deux bureaux du rez-de-chaussée et d'un bureau du 1<sup>er</sup> étage.

### *Bâtiment des rayonnements ionisants*

Réfection des vernis des portes et fenêtres du bâtiment principal.

### *Dépendances*

Curage annuel des canalisations souterraines des eaux usées ; abattage de certains arbres devant les garages.

## III. — INSTRUMENTS ET TRAVAUX

### **Remarques générales**

L'aboutissement le plus remarquable de l'année au BIPM a été l'obtention des premiers résultats de mesure de l'effet Hall quantique. Plusieurs laboratoires nous ont aidés efficacement à mettre sur pied l'installation complexe qui nous permet maintenant de disposer de cette méthode de conservation de l'ohm : l'Electrotechnical Laboratory de Tsukuba, qui a autorisé T. Endo à passer deux ans au BIPM comme chercheur associé et K. Yoshihiro à y passer trois mois pour mettre au

point le réfrigérateur à hélium 3, le laboratoire du professeur S. Kawaji, de l'Université Gakushuin, à Tokyo, qui nous a fourni les échantillons de semiconducteurs appropriés, le Laboratoire central des industries électriques, de Fontenay-aux-Roses, qui a accueilli en stage D. Reymann pendant plus d'un an pour la mise au point du comparateur cryogénique de courants.

Nous devons remercier chaleureusement ces laboratoires dont l'aide a largement contribué à notre succès, obtenu en moins de deux ans.

Le transfert du service du Temps atomique international (TAI) au BIPM a été approuvé en novembre 1985 par l'Assemblée générale de l'Union astronomique internationale (UAI). Il reste encore à recueillir l'approbation de l'Union géodésique et géophysique internationale (UGGI) et de la CGPM, en 1987. En attendant, l'établissement du TAI a été régulièrement assuré par le BIPM depuis le mois d'avril 1985.

L'utilisation du système de navigation GPS (Global Positioning System) pour assurer les liaisons horaires devrait permettre de porter l'exactitude des comparaisons d'horloges distantes à environ dix nanosecondes.

Une dizaine de laboratoires utilisent déjà ce mode de liaison et leur nombre ira croissant. Le service du TAI doit adapter à cette situation nouvelle ses programmes de vérification et de traitement des données. Il doit aussi prendre en charge la coordination des comparaisons entre horloges, l'observation simultanée d'un même satellite du GPS étant l'une des conditions premières pour l'obtention de la meilleure exactitude. Il doit encore s'assurer de l'exactitude des données. La vérification de la « fermeture » des mesures de trois laboratoires répartis autour du globe terrestre montre que certaines causes d'erreur restent encore à identifier. Un programme de comparaison par transport d'un récepteur GPS est en cours d'étude. Il devrait permettre d'identifier et de corriger les effets instrumentaux dans les différents laboratoires.

Enfin, nous connaissons maintenant les résultats de la comparaison de gravimètres absolus effectuée en juin-juillet 1985. Ces résultats sont très intéressants. 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 faible de tous et il s'écarte de la moyenne des six autres d'environ  $260 \text{ nm/s}^2$  soit  $2,6 \times 10^{-8}$  en valeur relative. Une étude méthodique sera nécessaire pour identifier l'origine de cet écart systématique. Nous envisageons, par exemple, de transporter notre propre gravimètre aux différents points de mesure pour vérifier quelques écarts qui nous semblent anormaux.

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. Informatique (P. Carré)

L'installation décrite sommairement dans le précédent Rapport (p. 41), constituée de deux « Ordinateurs Personnels » IBM, modèle XT, équipés notamment d'un coprocesseur mathématique et d'un disque fixe, et dont l'un est connecté à un lecteur-enregistreur de cassettes, a continué à donner entière satisfaction. Pour la création des programmes d'utilisation courante, nous utilisons essentiellement le Fortran V. Néanmoins, nous nous sommes familiarisés avec l'assembleur et certains sous-programmes ont été écrits dans ce langage : nous citerons notamment un ensemble de sous-programmes permettant d'effectuer des calculs avec des nombres entiers comportant un nombre arbitrairement grand de chiffres significatifs et avec des fractions dont les termes sont de tels entiers. Cet ensemble est utilisable lorsqu'il est souhaitable d'éviter toute imprécision des calculs.

Après nous être dessaisi (15 avril 1986) de notre ordinateur IBM 1130, en service depuis 1968, et dont le contrat d'entretien avait cessé le 30 septembre 1985, nous avons pu installer à sa place les deux ordinateurs personnels.

Depuis le 11 juillet 1986, nous disposons dans la même salle d'un troisième ordinateur personnel IBM ; celui-ci est du modèle AT3. Une imprimante du même type que celles précédemment installées a été acquise. Cet ordinateur comporte notamment un coprocesseur mathématique, un disque fixe de 30 millions d'octets et deux lecteurs-enregistreurs de disquettes, l'un au format « grande capacité » ( $1,2 \times 10^6$  octets) et l'autre au même format ( $360 \times 10^3$  octets) que les deux ordinateurs précédents, ce qui assure la compatibilité de l'ensemble de l'installation. Par l'intermédiaire d'un modem, il est connecté à une ligne téléphonique directe du réseau commuté. Il est destiné à une utilisation essentiellement documentaire.

En premier lieu, il nous permet de nous relier à des serveurs extérieurs. Dans ce cadre, nous avons pris un abonnement au serveur de l'Agence spatiale européenne. Grâce à un logiciel de communication, nous pouvons entrer en relation avec ce serveur et, par son intermédiaire, interroger les principales banques de données scientifiques et techniques. Il est naturellement possible d'enregistrer sur disquette et d'imprimer les résultats des recherches.

En second lieu, il sera utilisé pour la gestion de la bibliothèque (ouvrages, abonnements aux périodiques, publications du BIPM). Pour cette application, un logiciel de gestion de fichiers a été choisi pour sa souplesse et sa facilité d'emploi.

Cet ordinateur est aussi utilisé pour les calculs scientifiques, lorsqu'il est libre et lorsqu'un gain en rapidité est utile : il est en effet plus rapide que les précédents, de 1,4 à 4 fois selon la nature des calculs.

Le coût de l'extension de l'installation, logiciel compris, est d'environ 41 000 francs-or (75 000 francs français).

## 2. Longueurs (P. Carré, J. Hamon)

### 2.1. — Règles divisées

Règle N° 4795 de 1 m en acier au nickel (Pologne): longueur de l'intervalle principal. C'est la quatrième fois que cet étalon est mesuré au BIPM; les résultats suivants montrent l'évolution de sa longueur :

septembre 1973	1 m - 3,53 $\mu$ m	$s = 0,03 \mu$ m
novembre 1976	- 3,78	0,015
mai 1981	- 3,97	0,017
oct.-nov. 1985	- 4,085	0,023

Réglette N° 789 de 0,2 m en acier (Pologne): longueur de l'intervalle principal, étalonnage des traits centimétriques et des traits millimétriques des intervalles 0-10, 90-100, 100-110 et 190-200 mm; mesure du coefficient de dilatation.

Règle N° 15168 de 1 m en invar (Pakistan): longueur de l'intervalle principal, étalonnage des traits décimétriques, des traits centimétriques du premier et du dernier décimètre et des traits millimétriques du premier et du dernier centimètre; mesure du coefficient de dilatation.

### 2.2. — Étalons à bouts plans (J. Hamon)

Mesure, dans l'interféromètre Tsugami, de quatre calibres pour le Service de la métrologie, Belgique.

### 2.3. — Base géodésique (G. Girard)

#### *Fils géodésiques*

Treize fils de 8 et 24 m ont été étudiés pour la Yougoslavie.

#### *Invar géodésique*

Cette année, le reste de la coulée FP 950, soit 33 kg de fil constituant la livraison 32 R, a été soumis au traitement thermique d'étuvage. En relation avec ce traitement, nous avons déterminé le coefficient de dilatation de quatorze échantillons de fil de 24 m de longueur.

Nous avons fait subir un traitement mécanique (battage) à 40 fils d'invar géodésique de 24 m de longueur destinés à une entreprise française.

En application de la décision du CIPM (*BIPM Proc.-Verb. Com. Int. Poids et Mesures*, 53, 1985, p. 34), nous avons averti la Société Imphy, qui fabrique l'invar, de l'arrêt de notre activité dans le domaine des mesures de fils et rubans géodésiques et du traitement du fil d'invar.

### 3. Lasers (J.-M. Chartier)

#### 3.1. — Travaux réalisés au Joint Institute Laboratory for Astrophysics (JILA) (J.-M. Chartier)

Les travaux décrits ici ont été effectués par J.-M. Chartier du 1<sup>er</sup> août 1985 au 20 juillet 1986, au cours de son stage au JILA (Boulder, États-Unis d'Amérique), dans la section de J.L. Hall.

1) *Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée de l'iode en cuve interne à  $\lambda = 633$  nm*

Il est apparu nécessaire de réaliser un laser de ce type au JILA, d'une part pour déterminer la stabilité de la cavité Perot-Fabry ultra-stable à suspension pendulaire en cours d'étude (voir ci-dessous) et faciliter l'amélioration de cette stabilité, d'autre part pour disposer d'une référence pour les mesures de longueurs d'onde.

Ce laser comportant une cuve d'absorption à  $^{127}\text{I}_2$  remplie et mesurée au BIPM, il était intéressant de comparer sa fréquence à celle de deux des lasers de référence du JILA. En effet, les décalages de fréquence observés entre des lasers de ce type sont souvent attribués à des impuretés contenues dans la cuve d'absorption.

a) *Caractéristiques.* — Toutes les parties de la cavité optique sont protégées contre les perturbations thermiques et acoustiques extérieures.

Le nombre des éléments ajustables a été réduit le plus possible pour assurer une excellente rigidité mécanique de la cavité. Nous avons pu ainsi choisir une fréquence élevée (5 kHz) pour l'excursion de la cavité, ce qui a permis d'obtenir un écart-type relatif d'Allan de  $3,4 \times 10^{-13}$  sur 500 s. Ce résultat a été obtenu en mesurant la fréquence de battement entre ce laser et un autre laser de référence du JILA dont la longueur de la cavité était aussi modulée à 5 kHz.

Les coefficients de la variation de fréquence en fonction des variations d'amplitude de modulation et de pression d'iode sont très voisins de ceux qui ont été déterminés sur les lasers du BIPM.

b) *Comparaisons.* — Les lasers du JILA utilisés comme référence pour les mesures de longueurs d'onde par J.L. Hall et M. Winters (laser JILA avec cuve à  $^{129}\text{I}_2$ ) et pour la mesure de  $g$  par J. Faller et T. Niebauer (laser JILA/NBS avec cuve à  $^{127}\text{I}_2$ ) ont été comparés par battements à celui qui est décrit ci-dessus (laser JILA/JM avec cuve à  $^{127}\text{I}_2$ ). Bien qu'indirectes, ces comparaisons peuvent être assimilées à des comparaisons entre le JILA et le BIPM. En effet, les principaux éléments du laser JILA/JM (miroirs, tube à décharge, cuve à iode) sont semblables à ceux que nous utilisons au BIPM.

Chaque mesure est constituée de dix observations consécutives de durée 10 s chacune ; la grandeur donnée ci-dessous est l'écart-type d'une telle mesure déterminé d'après la dispersion des mesures successives.

*Comparaison des lasers JILA et JILA/JM.* — Ces lasers ont été respectivement asservis sur les composantes A, B, C de la raie P(33) 6-3 de l'iode 129 et d, e, f, g de la raie R(127) 11-5 de l'iode 127.

De l'ensemble des mesures, on déduit les résultats suivants :

$$\begin{aligned} f(\text{B}) - f(\text{d}) &= + 823,24 \text{ MHz}, & s &= 0,01 \text{ MHz} \\ f(\text{B}) - f(\text{e}) &= + 836,09 \text{ MHz}, & s &= 0,01 \text{ MHz} \\ f(\text{B}) - f(\text{f}) &= + 849,45 \text{ MHz}, & s &= 0,01 \text{ MHz} \\ f(\text{B}) - f(\text{g}) &= + 862,66 \text{ MHz}, & s &= 0,01 \text{ MHz}. \end{aligned}$$

Ces différences sont, en moyenne, de 0,035 MHz supérieures à celles qui ont été publiées<sup>(1)</sup>. Cet écart systématique de fréquence pourrait être dû à la présence d'isotope 127 dans la cuve à iode 129.

La répétabilité de ces résultats a été de 5 kHz (environ  $1 \times 10^{-11}$  en valeur relative) sur une durée d'une semaine.

*Comparaison des lasers JILA/NBS et JILA/JM.* — Les deux lasers ont été successivement asservis sur les composantes d, e, f, g de la raie R(127) 11-5 de l'iode 127. De la mesure des différents intervalles de fréquence, on déduit :

$$f(\text{JILA/NBS}) - f(\text{JILA/JM}) = - 3,7 \text{ kHz}, \quad s = 6,4 \text{ kHz}.$$

Ce résultat est excellent étant donné le peu de ressemblance entre les deux lasers.

Le laser JILA/NBS a été construit au NBS, Gaithersburg, par H. Layer<sup>(2)</sup>.

## 2) Lasers à He-Ne à $\lambda = 543 \text{ nm}$

L'intérêt d'augmenter le nombre de sources lasers comme références de fréquence est évident. Les récents progrès réalisés sur la qualité du poli des miroirs et sur celle des couches minces réfléchissantes ont permis d'obtenir l'oscillation des lasers à He-Ne à  $\lambda = 543 \text{ nm}$  (raie verte correspondant à la transition  $3s_2 - 2p_{10}$  du néon). Il semble qu'à l'heure actuelle une seule firme (PMS, Boulder, Colorado) construisse des lasers de ce type ; cette firme a bien voulu mettre gracieusement l'un de ces appareils à notre disposition.

Étant donné le faible gain de la transition, le fonctionnement de ce laser ne peut être obtenu qu'avec un tube à décharge comportant deux miroirs scellés, sans fenêtres à l'incidence de Brewster. On obtient une puissance d'environ 0,5 mW pour un tube à décharge de 40 cm de longueur.

---

(1) Documents concerning the new definition of the metre. *Metrologia*, **19**, 1984, pp. 163-178.

(2) LAYER, H.P. A portable iodine stabilized helium-neon laser. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, **IM-29**, No. 4, 1980, pp. 358-361.

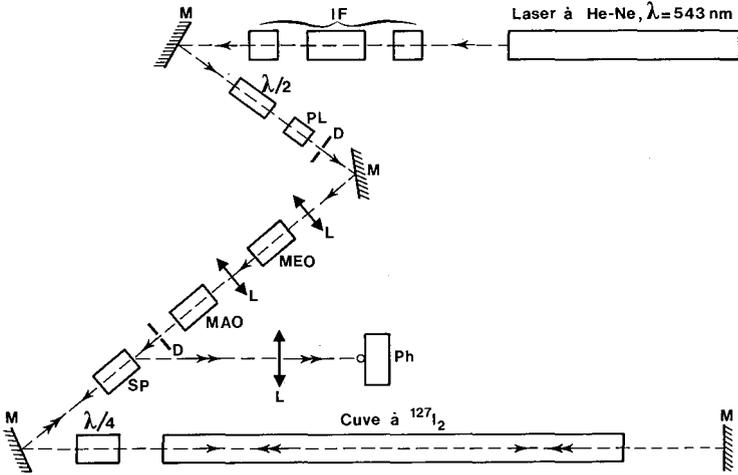


Fig. 1. — Schéma du laser à He-Ne à  $\lambda = 543$  nm utilisé pour observer l'absorption saturée de l'iode en cuve externe.

IF, isolateur de Faraday; PL, polariseur linéaire; L, lentilles; M, miroirs; MEO, modulateur électro-optique; MAO, modulateur acousto-optique; SP, séparateur polarisant; D, diaphragmes; Ph, photodétecteur;  $\lambda/2$ ,  $\lambda/4$ , lames demi-onde et quart d'onde.

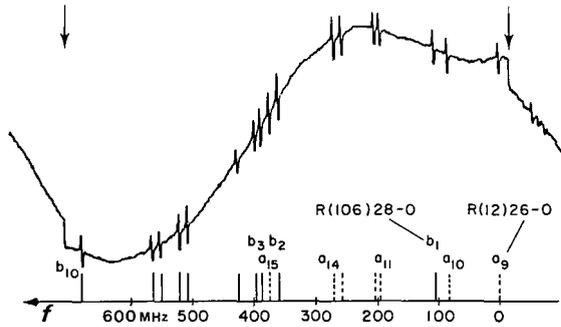


Fig. 2. — Absorption saturée de l'iode  $^{127}$  à  $\lambda = 543$  nm : spectres des raies R(12) 26-0 et R(106) 28-0.

Le domaine de fonctionnement monomode du laser à He-Ne est délimité par les deux flèches.

La courbe représente, en fonction de la longueur moyenne de la cavité, l'amplitude de la composante fondamentale d'un signal proportionnel à l'intensité lumineuse émise par le laser, lorsque la longueur de la cavité est modulée sinusoidalement. En abscisses, l'origine de la graduation en fréquences a été choisie arbitrairement.

La très forte fluorescence observée en faisant passer le faisceau de ce laser dans une cuve à iode nous a conduits à essayer la méthode de spectroscopie hétérodyne par modulation de phase utilisée par J.L. Hall<sup>(3)</sup> (fig. 1).

Pour la première fois, on a observé le spectre des raies R(106) 28-0 et R(12) 26-0 de l'iode 127 en utilisant un laser à He-Ne<sup>(4)</sup> (fig. 2). La qualité des signaux obtenus permet de penser que la radiation émise pour un laser de ce type pourrait dans l'avenir être recommandée pour la mise en pratique de la définition du mètre.

La simplicité et le faible prix de ce laser en font un concurrent sérieux du laser à argon à  $\lambda = 515$  nm.

### 3) Participation à l'expérience d'asservissement de lasers sur une cavité ultra-stable

Cette expérience d'asservissement de lasers à He-Ne à  $\lambda = 633$  nm sur une cavité Perot-Fabry ultra-stable est conduite au JILA par D. Hils et J.L. Hall.

Un projet, en cours d'étude au JILA, consisterait à placer dans l'espace un interféromètre de Michelson à bras très longs (environ  $10^6$  km) pour détecter des ondes de gravitation. Les sources lasers devraient avoir des stabilités de l'ordre de  $10^{-17}$ . Actuellement, des stabilités relatives de quelques  $10^{-16}$  ont été obtenues entre deux lasers asservis sur une même cavité Perot-Fabry. Pour protéger l'ensemble du montage contre les perturbations acoustiques extérieures, une enceinte spéciale avait été construite. Elle procure une atténuation de ces perturbations de 40 dB.

Durant cette année, les travaux suivants ont été effectués :

- construction d'une nouvelle cavité en zerodur : la qualité des miroirs utilisés a permis d'obtenir une finesse de l'ordre de 5000 ;
- construction d'une chambre à vide pour la cavité (pression résiduelle limite :  $2 \times 10^{-5}$  Pa) ;
- régulation de la température de la chambre de la cavité à  $\pm 10$   $\mu$ K ;
- régulation de la température à l'intérieur de l'enceinte spéciale à  $\pm 0,01$  K.

Ces différents efforts métrologiques, ainsi que le contrôle de la fréquence de battement entre un laser asservi sur cette cavité et le laser JILA/JM asservi sur l'iode, ont permis de gagner un facteur 200 sur la stabilité de la cavité. Actuellement, la longueur de cette cavité a encore une dérive relative très régulière de  $5 \times 10^{-15}$  par seconde. Cette dérive semble due au vieillissement du zerodur.

---

(3) HALL, J.L., HOLLBERG, L., BAER, T. and ROBINSON, H.G. Optical heterodyne saturation spectroscopy. *Appl. Phys. Lett.*, **39**, 1981, pp. 680-682.

(4) CHARTIER, J.-M., HALL, J.L. and GLÄSER, M. Identification of the  $I_2$  saturated absorption lines excited at 543 nm with the external beam of the green He-Ne laser. *CPEM 86 Digest*, pp. 323-324.

#### 4) *Participation à l'amélioration de l'expérience de Kennedy-Thorndike*

Cette étude est conduite, au JILA, par D. Hils et J.L. Hall.

Les mesures de fréquences de battement dont on parle dans le paragraphe précédent ont été utilisées pour une version moderne de l'expérience de Kennedy-Thorndike<sup>(5)</sup>. Cette expérience montrait que la vitesse de propagation de la lumière est indépendante de la vitesse du référentiel.

La qualité de nos lasers nous a permis d'enregistrer de façon continue pendant près de trois mois des résultats de mesure du battement entre deux lasers.

Le traitement de ces données consistait à déterminer l'amplitude de la composante de Fourier de période 24 h. Nous avons ainsi pu montrer que les variations diurnes de la vitesse de la lumière sont inférieures à 5 mm/s. Ce résultat est environ 500 fois plus précis que celui qui avait été obtenu lors de l'expérience originale.

#### 3.2. — Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée de l'iode en cuve externe à $\lambda = 612$ nm (M. Gläser)

On a construit un deuxième laser à He-Ne asservi sur l'absorption saturée de l'iode 127 en cuve externe. Celui-ci est équipé d'un modulateur acousto-optique extérieur, qui permet de déplacer la fréquence de la radiation laser de + 250 MHz ou de - 250 MHz. La figure 3 montre les trois spectres d'absorption saturée obtenus par enregistrement du troisième harmonique : deux avec le modulateur et un sans modulateur. Les composantes hyperfines  $a_1$  à  $a_{15}$  de la transition R(47) 9-2 et les composantes  $b_{11}$  à  $b_{15}$  de la transition P(48) 11-3 ont été observées. Le tableau I donne les différences de leurs fréquences mesurées par battement entre les radiations des deux lasers. Les différences entre ces valeurs et celles publiées par ailleurs<sup>(1)</sup> sont données également. On a aussi étudié la largeur de la raie et l'asymétrie en fonction de la pression de l'iode pour diverses valeurs de l'amplitude de la modulation (fig. 4). Puisque la différence de fréquence entre les composantes hyperfines  $b_{11}$  et  $b_{12}$  est proche de la largeur de raie (environ 1 MHz), on a étudié l'effet d'écartement (« pushing effect ») et de rapprochement dû à la superposition des flancs des pics. La figure 5 donne les fréquences du laser asservi sur le troisième harmonique de l'un et de l'autre des deux pics d'absorption saturée en fonction de l'amplitude de la modulation. On constate qu'à partir d'une certaine amplitude de modulation (environ 2,5 MHz) les deux fréquences se rapprochent subitement pour prendre

---

(5) KENNEDY, R.J. and THORNDIKE, E.M. Experimental establishment of the relativity of time. *Phys. Rev.*, **42**, 1932, pp. 400-418.

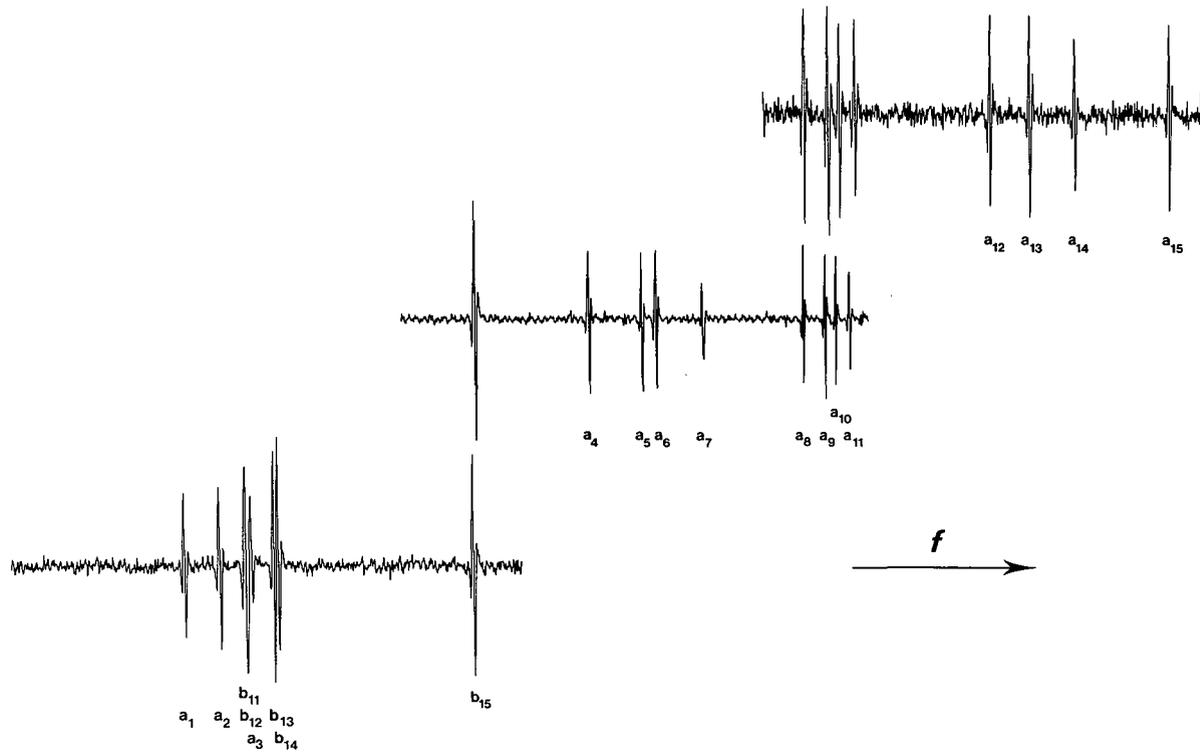


Fig. 3. — Spectres d'absorption saturée (3<sup>e</sup> harmonique) avec un modulateur acousto-optique qui déplace la fréquence  $f$  de la radiation laser de  $-250$  MHz (en bas) ou de  $+250$  MHz (en haut) et sans modulateur (au milieu).

Les composantes  $b_{11}$  et  $b_{12}$  ne sont pas résolues.

TABLEAU I

*Différences de fréquence  $\Delta f$  entre certaines composantes hyperfines des transitions R(47) 9-2 ( $a_1$  à  $a_{15}$ ) et P(48) 11-3 ( $b_{11}$  à  $b_{15}$ ) de  $^{127}\text{I}_2$  et la composante  $a_7$  (o) avec leurs incertitudes et leurs écarts par rapport aux valeurs déjà publiées  $\Delta f^*$*

Unité : MHz

Composante	$\Delta f$	$s$	$\Delta f - \Delta f^*$
$a_1$	- 357,161	0,01	- 0,01
$a_2$	- 333,968	0,01	+ 0,02
$b_{11}$	- 316,829	0,1	
$b_{12}$	- 315,641	0,1	
$a_3$	- 312,460	0,03	+ 0,04
$b_{13}$	- 297,404	0,04	
$b_{14}$	- 294,739	0,04	
$b_{15}$	- 160,318	0,005	
$a_4$	- 86,166	0,005	+ 0,01
$a_5$	- 47,277	0,005	+ 0,02
$a_6$	- 36,774	0,005	+ 0,07
$a_7$	0	0	0
$a_8$	+ 81,450	0,005	- 0,01
$a_9$	+ 99,103	0,008	- 0,03
$a_{10}$	+ 107,466	0,005	- 0,05
$a_{11}$	+ 119,048	0,008	- 0,07
$a_{12}$	+ 219,601	0,01	- 0,04
$a_{13}$	+ 249,604	0,01	- 0,03
$a_{14}$	+ 284,308	0,01	- 0,05
$a_{15}$	+ 358,386	0,01	+ 0,04

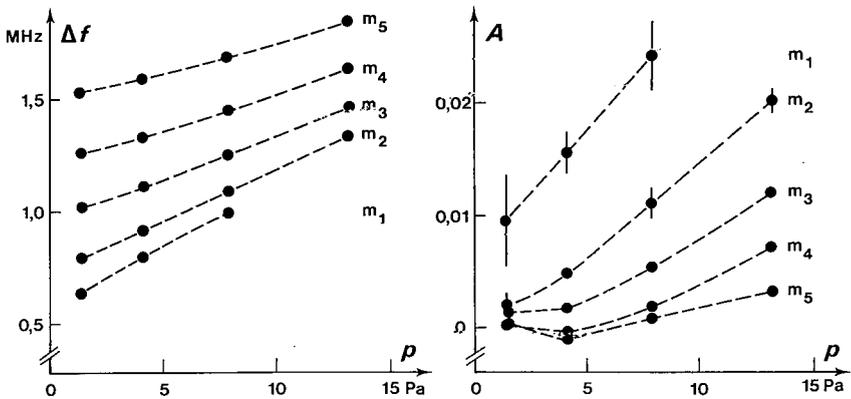


Fig. 4. — Demi-largeur  $\Delta f$  et asymétrie  $A$  d'une raie d'absorption saturée ( $b_{15}$ ) en fonction de la pression de l'iode  $p$ .

Le paramètre est l'amplitude de crête à creux de la modulation :

$$m_1 = 0,66 \text{ MHz}, \quad m_2 = 1,52 \text{ MHz}, \quad m_3 = 2,28 \text{ MHz}, \\ m_4 = 2,93 \text{ MHz} \quad \text{et} \quad m_5 = 3,52 \text{ MHz}.$$

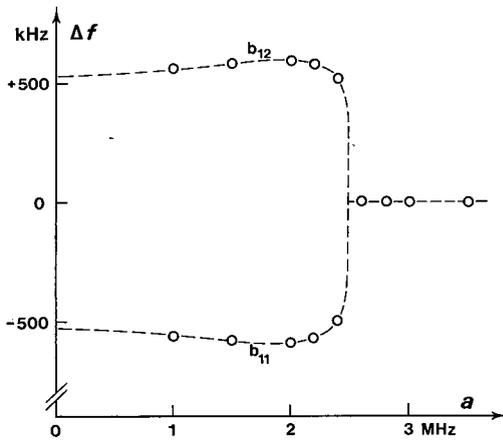


Fig. 5. — Écart de fréquence apparents  $\Delta f$  des composantes  $b_{11}$  et  $b_{12}$  repérées par la méthode du troisième harmonique et rapportées à leur position moyenne, en fonction de l'amplitude de crête à creux  $a$  de la modulation.

la même valeur pour les deux pics. Pour comprendre ce comportement, on a calculé cet effet en admettant pour les deux pics des formes lorentziennes<sup>(6)</sup> identiques. Les résultats de ce calcul sont représentés par les lignes interrompues de la figure 5. À la figure 6, on a représenté l'amplitude de la somme des troisièmes harmoniques des deux fonctions, séparées par une largeur de raie et disposées symétriquement par rapport à une origine des fréquences arbitraire, pour différentes amplitudes de

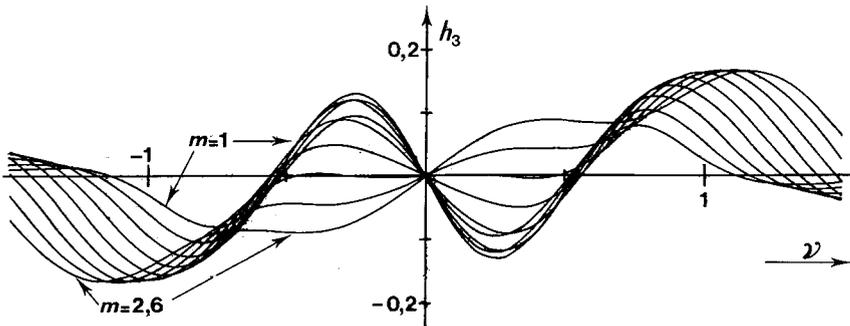


Fig. 6. — Amplitude  $h_3$  de la somme des troisièmes harmoniques de deux fonctions de Lorentz écartées de leur largeur à mi-hauteur.

En abscisses, on a pris comme unité pour la fréquence  $\nu$  cette largeur à mi-hauteur. Le paramètre  $m$  est l'amplitude de crête à creux de la modulation exprimée avec la même unité ; il varie de 1 à 2,6 par pas de 0,2.

<sup>(6)</sup> BAYER-HELMS, F. and HELMCKE, J. Modulation broadening of spectral profiles. *PTB-Bericht, PTB-Me-17*, 1977, pp. 85-109.

modulation. L'asservissement du laser utilise le passage par zéro avec une pente positive. Aux petites amplitudes de modulation il y en a deux, dont l'écart par rapport à l'origine est d'environ une demi-largeur de raie. L'écart s'accroît lentement puis se réduit rapidement si l'amplitude de la modulation augmente, jusqu'à ce que les deux passages par zéro se confondent à l'origine où la pente, initialement négative, change de signe. L'extrapolation à amplitude de modulation nulle (fig. 5) donne une estimation de l'écart des deux composantes hyperfines en question : on trouve environ 1,05 MHz.

La longueur d'onde de la radiation de ce laser a été comparée à celle du laser à He-Ne à  $\lambda = 633$  nm et à celle du laser à argon à  $\lambda = 515$  nm au moyen de l'interféromètre de Michelson de la PTB. Le laser à  $\lambda = 612$  nm a été asservi sur la composante  $b_{15}$  de la transition P(48) 11-3 de  $^{127}\text{I}_2$ , le laser à 633 nm sur la composante  $i(a_{13})$  de la transition R(127) 11-5 de  $^{127}\text{I}_2$  et le laser à 515 nm sur la composante  $a_3$  de la transition P(13) 43-0 de  $^{127}\text{I}_2$ . Les résultats qui suivent ne tiennent pas encore compte de la correction pour l'effet de diffraction : un nouveau calcul de cette correction, qui tient compte de la diffraction à l'entrée et à la sortie de l'interféromètre est en cours.

On a obtenu les rapports de longueurs d'onde suivants :

$$\begin{aligned}\lambda(b_{15})/\lambda(i) &= 0,966\ 791\ 921\ 42 \\ \lambda(b_{15})/\lambda(a_3) &= 1,189\ 047\ 056\ 30 \\ \lambda(a_3)/\lambda(i) &= 0,813\ 081\ 295\ 90\end{aligned}$$

L'incertitude relative a été estimée à  $5 \times 10^{-11}$ . La correction de diffraction pourrait modifier ces valeurs de  $4 \times 10^{-11}$  au maximum.

### 3.3. — Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée du méthane en cuve interne à $\lambda \approx 3,39$ $\mu\text{m}$ (R. Felder)

Chaque mesure effectuée au BIPM est constituée de dix observations consécutives de durée 10 s chacune ; chaque mesure effectuée au LPTF est constituée de dix groupes de dix observations de durée 1 s chacune, séparées par un intervalle de 2 s. Comme précédemment en 3.1, la grandeur  $s$  donnée ci-dessous est l'écart-type d'une telle mesure, déterminé d'après la dispersion de  $n$  mesures successives.

#### 1) Comparaison avec l'IMPR (Moscou)

Un rapport détaillé sera publié ultérieurement sur cette comparaison qui a eu lieu en 1985 au BIPM (Rapport 1985, p. 63). Nous ne donnons donc ici que les principaux résultats obtenus.

a) les différences moyennes entre les lasers étudiés, sur une première période de trois jours, sont les suivantes :

$$\begin{aligned} f(\text{IMPR}) - f(\text{BICH4.3}) &= + 4,173 \text{ kHz}, & s &= 0,044 \text{ kHz} \\ f(\text{IMPR}) - f(\text{BICH4.6}) &= + 7,116 \text{ kHz}, & s &= 0,061 \text{ kHz} \\ f(\text{BICH4.3}) - f(\text{BICH4.6}) &= + 2,944 \text{ kHz}, & s &= 0,052 \text{ kHz} \end{aligned}$$

(pour  $n = 10$  mesures).

b) sur l'ensemble de la comparaison (période de neuf jours) on a obtenu :

$$\begin{aligned} f(\text{IMPR}) - f(\text{BICH4.3}) &= + 4,073 \text{ kHz}, & s &= 0,151 \text{ kHz} \\ f(\text{IMPR}) - f(\text{BICH4.6}) &= + 6,772 \text{ kHz}, & s &= 0,533 \text{ kHz} \\ f(\text{BICH4.3}) - f(\text{BICH4.6}) &= + 2,699 \text{ kHz}, & s &= 0,400 \text{ kHz} \end{aligned}$$

(pour  $n = 15$  mesures).

Ces résultats indiquent que la répétabilité de fréquence, excellente pendant les premiers jours ( $\Delta f/f \approx 2 \times 10^{-12}$ ) s'est quelque peu dégradée à moyen terme comme en témoignent les graphiques de la figure 7. Cela est probablement lié, d'une part, à l'évolution du mélange gazeux du tube à décharge du laser BICH4.6 et, d'autre part, à la dérive de fréquence du laser de l'IMPR. En effet, deux déterminations absolues de la fréquence de ce dernier, l'une avant sa venue au BIPM, l'autre après son retour à Moscou, ont donné les résultats suivants, qui nous ont été communiqués par le Gosstandart le 22 juillet 1985 :

$$\begin{aligned} 12 \text{ mai } 1985 : f_1 &= 88\,376\,181\,606,77 \text{ kHz}, & s &= 0,13 \text{ kHz}, & n &= 52 \\ 25 \text{ juin } 1985 : f_2 &= 88\,376\,181\,606,44 \text{ kHz}, & s &= 0,12 \text{ kHz}, & n &= 74 \end{aligned}$$

soit une dérive de  $-0,33 \text{ kHz}$ .

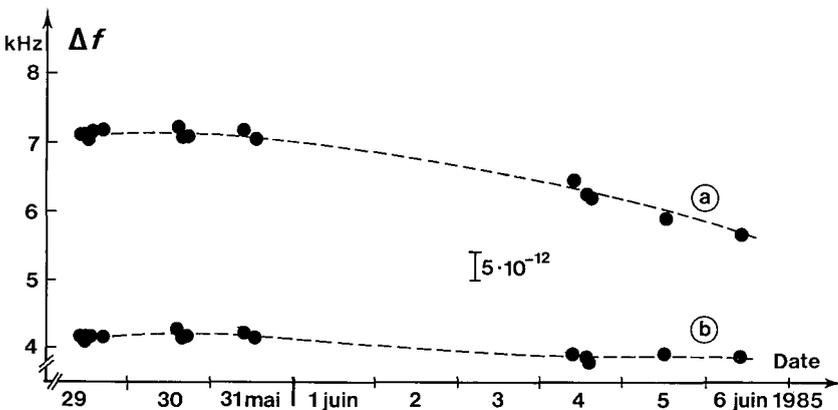


Fig. 7. — Répétabilité de fréquence des lasers.

En abscisses, date des mesures ; en ordonnées, différences de fréquence observées :

- a)  $f(\text{IMPR}) - f(\text{BICH4.6})$
- b)  $f(\text{IMPR}) - f(\text{BICH4.3})$ .

2) Collaboration avec les laboratoires nationaux

Dans le but de comparer les chaînes de multiplication de fréquence des deux laboratoires, il avait été convenu entre le Laboratoire primaire du temps et des fréquences (LPTF), Paris et l'Institut des mesures physico-techniques et radiotechniques (IMPR), Moscou, de mesurer, au LPTF, la fréquence de l'étalon voyageur de l'IMPR.

Ces deux laboratoires ayant demandé au BIPM de participer à cette comparaison, nous avons apporté au LPTF notre laser de référence BICH4.3. Cette expérience, d'un grand intérêt tant pour les deux laboratoires nationaux en présence que pour le BIPM, nous a permis d'effectuer du 8 au 19 septembre 1986 une nouvelle détermination absolue de la fréquence du méthane à l'aide de ce laser (Rapport 1984, p. 47), donc d'obtenir des indications précieuses sur l'évolution de la fréquence de BICH4.3 après les modifications importantes que l'on a apportées

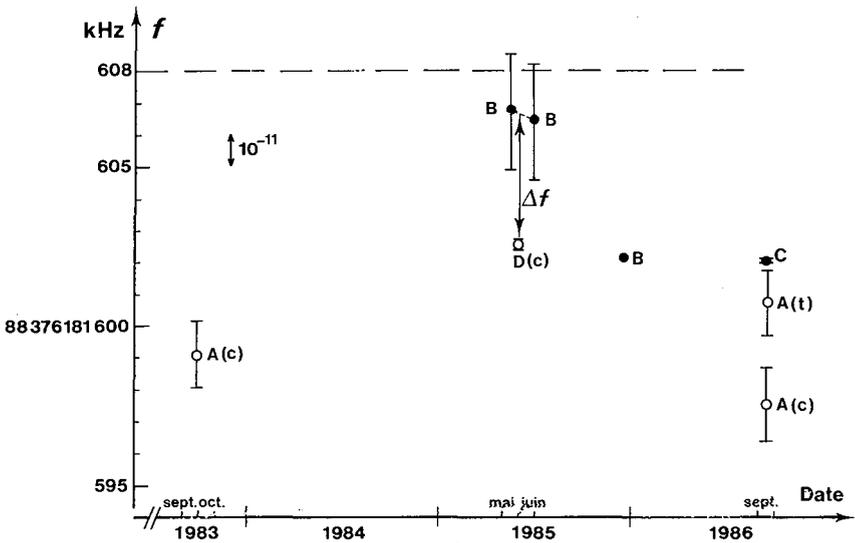


Fig. 8. — Répétabilité de fréquence à long terme des lasers He-Ne/CH<sub>4</sub> ( $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$ ).

En abscisses, date des mesures ; en ordonnées, fréquences mesurées.

Les cercles blancs correspondent au laser BICH4.3, les cercles noirs au laser IMPR.

A, fréquence du laser BICH4.3, mesurée au LPTF avec le photodétecteur d'asservissement placé devant les sorties du résonateur côté cuve (c) ou côté tube (t) ; B, fréquence du laser de l'IMPR mesurée à l'IMPR ; C, fréquence du laser de l'IMPR mesurée au LPTF ; D, fréquence du laser BICH4.3 avec le photodétecteur d'asservissement côté cuve (c) déterminée à partir des mesures absolues de fréquence faites à l'IMPR en mai et juin 1985 et de la moyenne ( $\Delta f$ ) des différences de fréquence IMPR-BIPM déterminées au BIPM en mai-juin 1985.

La ligne en tireté représente la valeur recommandée par le CIPM en 1983 ( $f_{\text{CH}_4} = 88\,376\,181\,608 \text{ kHz}$ ) ;

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

au tube à décharge en octobre 1984 (Rapport 1985, p. 56). Il était en effet souhaitable de pouvoir rattacher les résultats des comparaisons, récentes ou à venir, faites avec ce laser, aux résultats antérieurs aux modifications apportées au tube à décharge.

Cette expérience nous a aussi permis de comparer à nouveau BICH4.3 au laser transportable de l'IMPR, un an après les mesures faites au BIPM. Nous avons reporté sur la figure 8 les résultats provisoires obtenus ainsi que les résultats antérieurs utiles à leur exploitation. En conclusion on peut dire que :

1) Compte tenu des incertitudes du type B qui proviennent de la détermination de la fréquence des raies du  $\text{CO}_2$  ( $u = 100$  Hz, selon A. Clairon, du LPTF) et du défaut de reproductibilité de fréquence de BICH4.3 ( $u = 1$  kHz), la fréquence de BICH4.3 ne semble pas avoir évolué de manière significative depuis trois ans, malgré les modifications importantes apportées au tube à décharge. En effet, en septembre-octobre 1983, on avait obtenu :

$$f_c(\text{BICH4.3}) = 88\,376\,181\,599,1 \text{ kHz}, \quad s = 0,2 \text{ kHz}, \quad n = 19 \text{ (')}^1$$

en septembre 1986, on a obtenu :

$$\begin{aligned} f_c(\text{BICH4.3}) &= 88\,376\,181\,597,52 \text{ kHz}, & s &= 0,60 \text{ kHz}, & n &= 72 \\ f_i(\text{BICH4.3}) &= 600,75 \text{ kHz}, & s &= 0,11 \text{ kHz}, & n &= 14. \end{aligned}$$

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 ( $f_i$ ) ; s et n représentent respectivement l'écart-type statistique et le nombre de mesures effectuées. L'écart-type statistique obtenu en 1986 pour  $f_c$  (BICH4.3) tient compte des effets de positionnement du photodétecteur d'asservissement, de l'emploi d'un photodétecteur refroidi à large surface sensible, en lieu et place du photodétecteur à faible surface sensible et de la lentille de focalisation habituellement utilisés, et des effets dus au changement du mélange d'hélium et de néon du tube à décharge.

Il est d'autre part important de noter que l'on a confirmé, lors de ces mesures, l'existence de l'effet de sortie récemment observé (Rapport 1985, pp. 56-61). Ce résultat semble donc confirmer les hypothèses selon lesquelles cet effet de sortie n'est lié ni aux couplages résiduels cavité-photodétecteur, ni au type de photodétecteur utilisé.

---

(') CLAIRON, A., DAHMANI, B., FILIMON, A. and RUTMAN, J. Precise frequency measurements of  $\text{CO}_2/\text{OsO}_4$  and He-Ne/ $\text{CH}_4$ -stabilized lasers. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 34, 1985, pp. 265-268.

2) La détermination de la fréquence du laser transportable de l'IMPR a donné, en septembre 1986 :

$$f(\text{IMPR}) = 88\,376\,181\,602,035 \text{ kHz}, \quad s = 0,052 \text{ kHz}, \quad n = 126.$$

À l'IMPR, on avait obtenu, en décembre 1985 :

$$f(\text{IMPR}) = 88\,376\,181\,602,15 \text{ kHz}, \quad s = 0,06 \text{ kHz}^{(8)}.$$

Si l'on admet que la fréquence du laser transportable de l'IMPR n'a pas évolué de manière significative entre ces deux dates, ces résultats remarquables montrent que les chaînes de multiplication de fréquence du LPTF et de l'IMPR ne présentent pas de défaut de reproductibilité supérieur à quelques  $10^{-12}$  en valeur relative.

3) Les différences de fréquence obtenues entre le laser transportable de l'IMPR et BICH4.3 sont compatibles avec celles qui avaient été mesurées au BIPM en mai-juin 1985, malgré le changement du tube à décharge du laser de l'IMPR et les remplissages du tube à décharge de BICH4.3.

Au BIPM on avait obtenu en mai-juin 1985 :

$$f(\text{IMPR}) - f_c(\text{BICH4.3}) = + 4,073 \text{ kHz}, \quad s = 0,151 \text{ kHz}, \quad n = 15.$$

Au LPTF, on a obtenu, en septembre 1986 :

$$f(\text{IMPR}) - f_c(\text{BICH4.3}) = + 4,516 \text{ kHz}, \quad s = 0,603 \text{ kHz}, \quad n = 72.$$

### 3) *Étude des tubes à décharge et des cuves d'absorption*

Nous avons fait souffler trois verreries de tubes à décharge courts (Rapport 1983, p. 40). Les opérations de dégazage sont en cours. Ces tubes devraient servir à la réalisation de lasers à cavité optimale après les résultats prometteurs que nous avons obtenus précédemment (Rapport 1985, p. 61).

Nous avons pris contact avec des sociétés industrielles en vue de la réalisation de cuves d'absorption dont les fenêtres soient totalement transparentes à la longueur d'onde  $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$ .

Nous avons quelques espoirs bien que les problèmes techniques soient difficiles à résoudre.

## 3.4. — Mesures de longueurs d'onde (J. Hamon)

F. Bertinotto et G.B. Picotto, de l'IMGC, ont apporté deux lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée de l'iode 127 ( $\lambda = 640 \text{ nm}$  et  $\lambda = 612 \text{ nm}$ ), en vue de la mesure de la longueur d'onde de la composante  $a_9$  de la raie P(10) 8-5 et de celle de la composante  $e_{15}$  de la raie R(34) 17-6.

---

<sup>(8)</sup> DOMNIN Yu.S., MALIMOM, A.N., TATARENKOV, V.M., SHCHUMYATSKIĬ, P.S. Constancy of the fundamental constants. *Pis'ma Zh. Eksp. Teor. Fiz.*, **43**, 1986, pp. 167-169.

Les mesures ont été faites dans l'interféromètre de Michelson sous vide, sept aux différences de marche de + 375 et — 375 mm et deux aux différences de marche de + 500 et — 500 mm.

La référence était la longueur d'onde de la composante e de la raie R(127) 11-5 du laser BIPM 3 dont la cuve d'absorption à iode 127 était maintenue à 20 °C. Sa valeur, dans ces conditions, était

$$\lambda_r = 632\,991\,194,7 \text{ fm.}$$

On a obtenu les rapports des longueurs d'onde suivants avec leur incertitude relative (écart-type de la moyenne de neuf mesures) :

$$\begin{aligned} \lambda_{a_9} / \lambda_r &= 1,011\,520\,341\,04, & s &= 4,6 \times 10^{-10} \\ \lambda_{a_{15}} / \lambda_r &= 0,966\,789\,849\,04, & s &= 4,8 \times 10^{-10} \\ \lambda_{a_9} / \lambda_{e_{15}} &= 1,046\,267\,026\,96, & s &= 3,1 \times 10^{-10} \end{aligned}$$

À partir de ces valeurs, on obtient, en tenant compte de l'incertitude relative de  $3,4 \times 10^{-10}$  sur la référence,

$$\begin{aligned} \lambda_{a_9} &= 640\,283\,469,1 \text{ fm,} & \text{avec } s &= 5,7 \times 10^{-10} & \text{soit } &0,37 \text{ fm} \\ \text{et } \lambda_{e_{15}} &= 611\,969\,461,6 \text{ fm,} & \text{avec } s &= 5,9 \times 10^{-10} & \text{soit } &0,36 \text{ fm.} \end{aligned}$$

#### 4. Masses (G. Girard, T.J. Quinn)

##### 4.1. — Étalons prototypes en platine iridié

Les prototypes suivants ont été vérifiés par comparaison à nos deux étalons d'usage courant N° 9 et N° 31 : N° 45 (Argentine), N° 50 (Canada), N° 52 (Rép. Féd. d'Allemagne), N° 56 (Afrique du Sud) et N° 57 (Inde).

Leur masse a été déterminée avant nettoyage (au benzène puis à l'alcool) puis lavage (à la vapeur d'eau) et après chacun des deux ou trois nettoyages-lavages qu'ils ont subis et qui ont eu pour effet les variations apparentes de masse suivantes :

	Variation apparente de masse observée après chacun des nettoyages-lavages successifs		Variation totale		
N° 45	— 54 µg	— 2 µg	— 56 µg après	46 ans	
50	— 7	— 4	— 11	12	
52	— 35	— 3	— 38	11	
56	— 4	— 2	— 6	4	
57	— 185	— 1	0 µg	— 186	30

La masse de ces prototypes, après nettoyages-lavages, est donnée ci-dessous ainsi que les valeurs précédemment admises (excès, en microgrammes, sur la valeur nominale).

	1939	1951	1955	1961	1973	1974	1982	1985	1986	$\Delta$
N° 45 - 256								- 197		
50		- 130		- 152	- 134			- 107		+ 23
52		+ 162				+ 187		+ 207		+ 45
56			+ 195				+ 235		+ 237	+ 42
57			- 54					- 22		+ 32

La colonne  $\Delta$  donne la variation de masse par rapport à la valeur admise après la 2<sup>e</sup> vérification périodique des prototypes nationaux (1948-1955).

Ces variations, qui sont importantes et de même sens, confirment celle qui a été observée sur le prototype N° 55 : + 41  $\mu\text{g}$  entre 1953 et 1985 (Rapport 1985, p. 66). Tous ces étalons ont été fabriqués depuis 1949.

Pour ce qui concerne le prototype N° 45, la valeur de 1939 est difficilement comparable à celle de 1985 car, à cette époque, les prototypes n'étaient soumis à aucun nettoyage-lavage contrairement à ce qui est fait depuis ; cela entraînait aussi une incertitude sur la valeur de la masse de nos prototypes d'usage courant.

#### *Évolution de la masse d'un prototype en platine iridié après des nettoyages-lavages*

Dans le rapport de 1985, p. 67, nous avons mentionné le début d'une étude destinée à mettre en évidence l'évolution de la masse d'un étalon en platine iridié après un ou plusieurs nettoyages-lavages. Le prototype N° 18, qui est utilisé pour cette étude, a été placé dans la balance NBS-2 en mars 1985 avec nos deux étalons d'usage courant N° 9 et N° 31 qui servent de références et l'étalon en platine iridié N° 42' utilisé comme témoin.

Ces quatre étalons n'ont pas été manipulés pendant la durée de cette étude et ont été conservés dans l'enceinte de la balance ; cette enceinte a été maintenue fermée sauf pour la préparation de comparaisons faisant intervenir d'autres étalons que nous avons mis sur les deux emplacements disponibles du transporteur. Ils ont donc été conservés dans les mêmes conditions et on peut admettre que les variations de masse observées sont propres aux étalons N° 18 et N° 42'.

Les étalons N° 9 et N° 31 ont été nettoyés et lavés pour la dernière fois en avril 1978 et l'étalon N° 18 en mars 1985. L'étalon N° 42' a été seulement nettoyé en mai 1976.

Ces quatre étalons ont été comparés entre eux à plusieurs reprises au cours de pesées doubles ; on rappelle qu'une pesée double est l'ensemble d'une pesée « directe » et d'une pesée « opposée » (Rapport 1983, p. 42). On obtient ainsi les masses des étalons N° 18 et N° 42' en fonction des masses des étalons N° 9 et N° 31, prises comme références.

La figure 9 rend compte des résultats obtenus de mars 1985 à mai 1986. Ils font apparaître, en un peu plus d'un an, une variation de masse d'environ  $6 \mu\text{g}$  pour l'étalon N° 18 et de  $1,5 \mu\text{g}$  pour l'étalon N° 42'. Pour le premier, en outre, la vitesse de variation initiale est plus rapide, de l'ordre de  $1 \mu\text{g}$  par mois.

À titre de contrôle, les mêmes pesées permettent de vérifier la différence des masses des étalons de référence N° 9 et N° 31. Pour cette différence, la légère variation que l'on peut déduire des mesures n'est pas significative : elle n'est que de  $0,8 \mu\text{g}$  avec un écart-type de  $0,8 \mu\text{g}$ . Cela est cohérent avec l'hypothèse faite, selon laquelle les masses des étalons N° 9 et N° 31 sont stables dans le temps. La différence entre les masses admises pour ces deux étalons est de  $177,0 \mu\text{g}$ , valeur tout à fait concordante avec celle qui résulte de cette étude et qui est de  $177,17 \mu\text{g}$ , avec un écart-type de  $0,25 \mu\text{g}$ .

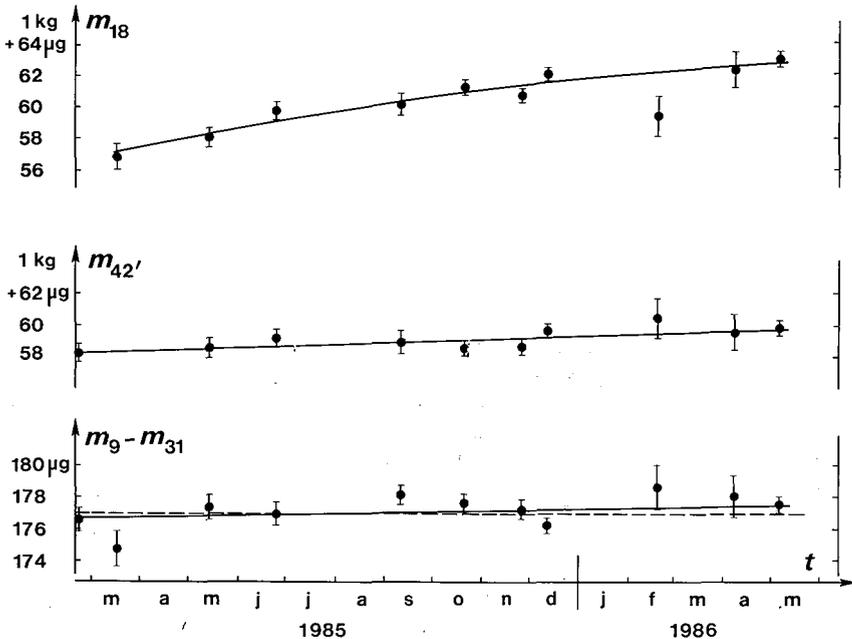


Fig. 9. — Évolution de la masse  $m_{18}$  du prototype N° 18 après nettoyages-lavages, de la masse  $m_{42'}$  de l'étalon en platine iridié N° 42' et de la différence entre les masses  $m_9$  et  $m_{31}$  des prototypes du BIPM N° 9 et N° 31, pris comme références.

La droite en pointillé représente la différence (constante) entre les masses admises pour les prototypes N° 9 et N° 31.

Les barres d'incertitude correspondent à l'écart-type.

On remarquera que les pesées effectuées en février et avril 1986 donnent des écarts-types plus importants. À cette époque, les conditions météorologiques n'étaient pas bonnes et leur influence s'est fait sentir bien que la balance soit placée dans une enceinte étanche.

En conclusion, on peut avancer que, dans les conditions particulières de l'étude, l'étalon N° 18 a vu sa masse augmenter d'environ  $5 \mu\text{g}$  dans l'année qui a suivi le nettoyage-lavage, en admettant naturellement que la masse des étalons de référence soit restée stable. On ne peut préjuger de l'évolution ultérieure de cette masse mais il semble probable que la vitesse de variation continuera à décroître ; on retrouverait alors une variation du même ordre de grandeur que celle de  $19 \mu\text{g}$  trouvée sur une période de 7 ans pour ce même étalon (Rapport 1985, p. 66).

L'évolution de la masse de l'étalon N° 42' est faible, environ  $1,3 \mu\text{g}$ , dix ans après son dernier nettoyage.

#### 4.2. — Étude d'autres étalons de masse

1. — Détermination de la masse volumique et de la masse de l'étalon N° 7 de 1 kg en acier Contraperm (Office fédéral de métrologie, Suisse).

2. — Détermination de la masse des étalons :

— I et sans numéro, de 1 kg, en baros (Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Argentine) ;

— M, de 1 kg, en acier inoxydable (Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Rép. Féd. d'Allemagne).

#### 4.3. — Comparaison d'étalons de masse volumique

Le Groupe de travail « Masse volumique de solides et liquides » du CCM a entrepris une comparaison d'étalons de masse volumique entre ses membres, dont le BIPM. Deux groupes travaillent en parallèle avec, chacun, les étalons suivants : un étalon en acier inoxydable « Nimonic » de masse voisine de 1 kg et un cristal de silicium de masse voisine de 800 g. Nous avons fait des mesures sur l'étalon en acier inoxydable mais nous n'avons pas pu en faire sur le cristal de silicium dont le volume est trop grand pour notre installation. En revanche, nous avons utilisé deux cristaux de silicium de 200 g environ qui nous avaient été donnés par le NBS vers 1975 et qui participent aussi (partiellement) à la comparaison.

Après nos mesures, l'étalon en acier inoxydable a été expédié au NPL (Royaume-Uni) et les cristaux de silicium au NRLM (Japon), pour la suite des comparaisons.

#### 4.4. — Balance prototype à suspensions flexibles

Le travail sur la balance à suspensions flexibles a porté principalement sur l'amélioration du système électronique de détection des déplacements, la construction d'un échangeur de masses et d'une enceinte étanche. Par ailleurs, une étude théorique a été entreprise pour mettre en évidence et comprendre les facteurs qui limitent le fonctionnement des balances à fléau. Nous savons maintenant que la principale source de bruit à court terme dans la balance à suspensions flexibles est d'origine sismique. La construction d'une table anti-vibratoire destinée à éliminer, en particulier, les vibrations provenant des déplacements horizontaux et de l'inclinaison est en cours. En outre, le rôle d'une balance à fléau dans une vérification possible du principe d'équivalence a été étudié pour mettre en évidence la « cinquième force » évoquée récemment, si elle existe.

Dans le système de détection optique des déplacements du fléau de la balance, on a remplacé la lampe à filament de tungstène par une diode à émission infrarouge modulée qui permet d'utiliser un détecteur synchrone pour éliminer le bruit en  $1/f$  du préamplificateur. Toutefois, il faut noter que le défaut d'isotropie de ces sources lumineuses n'est pas suffisamment stable aux basses fréquences et que le rapport signal/bruit en est sérieusement diminué. L'utilisation de la lumière transmise par un guide d'ondes à fibres optiques monomode est en cours d'expérimentation pour résoudre ce problème.

L'étude sur l'utilisation d'un détecteur d'inclinaison pour l'asservissement du montage anti-vibratoire progresse. Nous avons constaté que tous les appareils commerciaux vendus comme détecteurs d'inclinaison sont également détecteurs d'accélération horizontale. Nous avons construit

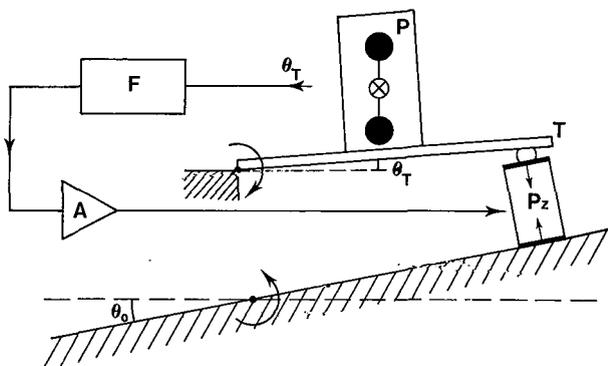


Fig. 10. — Schéma du système anti-vibratoire.

L'inclinaison  $\theta_0$  du sol entraîne une rotation  $\theta_T$  de la table T par rapport au pendule P. Le déplacement relatif est mesuré avec un détecteur optique. Le signal, filtré en F et amplifié en A est appliqué à l'empilement piézo-électrique Pz pour compenser l'inclinaison du sol.

et essayé un détecteur d'inclinaison qui n'est pas sensible aux mouvements horizontaux et peut en conséquence être utilisé comme capteur dans un asservissement pour éliminer les perturbations dues aux inclinaisons. La figure 10 donne le schéma d'un système que nous avons déjà réalisé. Le pendule P, suspendu en son centre de gravité par des lames flexibles, repose sur une table T qui peut être inclinée à l'aide d'un empilement de céramiques piézo-électriques. Le signal de sortie provenant du pendule est filtré, amplifié puis appliqué aux céramiques piézo-électriques. La figure 11 est une représentation graphique expérimentale de la fonction

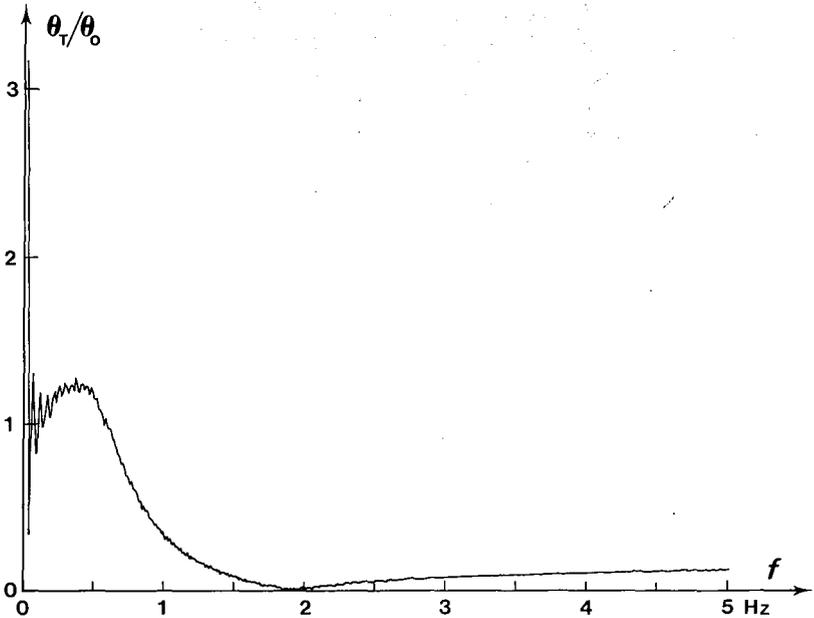


Fig. 11. — Système anti-vibratoire : courbe expérimentale du rapport  $\theta_T/\theta_0$  entre les amplitudes d'inclinaison de la table et du sol en fonction de la fréquence  $f$ .

de transfert du système donnant le rapport  $\theta_T/\theta_0$  entre les amplitudes des inclinaisons de la table et du sol en fonction de la fréquence. La fréquence propre du pendule est de 1,9 Hz, ce qui le rend relativement insensible aux inclinaisons à des fréquences plus basses. Une fréquence propre plus basse est nécessaire pour réaliser un montage anti-vibratoire efficace destiné à éliminer les bruits dus aux inclinaisons du sol. La construction d'un pendule ayant une période d'oscillation naturelle de 10 s est en cours.

Dans l'étude théorique du comportement de la balance à fléau, les limites imposées par la mécanique quantique, le bruit thermique (brownien) associé aux forces dissipatives et aux vibrations sismiques ont été examinées.

#### 4.5. — Nouvelle salle des balances ; balance Rueprecht de portée 1 kg

Après la libération de la salle 104 par la section des lasers, nous avons affecté cette salle à la section des masses pour y installer dans de bonnes conditions la balance Rueprecht N° 1, de portée 1 kg, et par la suite la balance à suspensions flexibles. Une cabine à flux laminaire vertical dépoussiéré a été installée pour y loger ces deux balances.

Aucune entreprise extérieure ne voulant s'engager dans l'installation d'un conditionnement d'air avec les conditions de stabilité de température imposées, nous l'avons fait nous-mêmes avec succès. L'installation est raccordée sur celle qui dessert les salles voisines, y compris pour la fourniture d'air frais à humidité régulée.

La balance Rueprecht N° 1, installée à la salle 104, a été équipée d'un système de lecture qui utilise une barrette de photodiodes. Des essais sont en cours.

### 5. Gravimétrie (A. Sakuma)

#### Deuxième comparaison internationale de gravimètres

Nous avons déjà signalé (Rapport 1985, p. 78) que la deuxième comparaison internationale de gravimètres a eu lieu au BIPM en juin et juillet 1985. Pour cette comparaison, six gravimètres absolus et quatorze gravimètres relatifs La Coste-Romberg ont été réunis. Cet événement, important pour le BIPM, s'est achevé avec succès et sans aucun incident notable grâce à la bonne volonté et au dévouement des membres du personnel du BIPM et à la compréhension des participants. Les résultats ont été publiés en mai 1986 par les soins de l'Association internationale de géodésie (Yu. Boulanger, J. Faller, E. Groten) ; un résumé est donné dans le tableau II.

Nous avons constaté avec surprise que les cinq autres gravimètres fournissent tous des valeurs supérieures à celle que fournit le gravimètre du BIPM ; les écarts, compris entre 2,8 et 5,4 fois la somme quadratique des deux écarts-types, semblent significatifs.

Les résultats de l'IMGC (Turin) semblaient jusqu'ici concorder avec les nôtres d'après les nombreuses mesures, bien reproductibles, effectuées depuis plus de dix ans au point A3 (salle 6). Le résultat obtenu maintenant par l'IMGC, au même point A3, s'écarte du nôtre de + 187 nm/s<sup>2</sup>. On a aussi observé au point A3 un changement inattendu de la composante verticale du gradient de la pesanteur au point de mesure. Entre 1981 et 1985, cette composante est en effet passée de 2 740 à 2 950 nm/s<sup>2</sup> par mètre, valeur confirmée par de nombreuses mesures effectuées avec des gravimètres relatifs pendant la comparaison. Nous ignorons actuellement les causes de ce changement mais nous soupçonnons qu'il pourrait être dû à la variation du niveau des eaux souterraines.

TABLEAU II

*Deuxième comparaison internationale de gravimètres  
(juin-juillet 1985)*

Les incertitudes indiquées sont des écarts-types

Station (BIPM)	Gravimètre utilisé	$g$ mesuré ( $\text{nm}/\text{s}^2$ )	$g$ ramené à la station A ( $\text{nm}/\text{s}^2$ )
A (salle 1)	BIPM (Sakuma)	9 809 259 767 $\pm$ 19	59 767 $\pm$ 19
A <sub>3</sub> (salle 6)	IMGC (Cannizzo)	59 249 $\pm$ 53	59 954 $\pm$ 53
A <sub>5</sub> (base géodésique)	JILA (Faller)	65 780 $\pm$ 76	59 995 $\pm$ 76
A <sub>3</sub> (salle 6)	URSS (Boulanger)	59 321 $\pm$ 56	60 026 $\pm$ 56
A <sub>6</sub> (base géodésique)	URSS (Boulanger)	66 112 $\pm$ 60	60 018 $\pm$ 61
A <sub>7</sub> (ancien cabinet photo)	Univ. de Calif. (Zumberge)	66 734 $\pm$ 67	60 136 $\pm$ 66
A <sub>4</sub> (base géodésique)	NIM (Guo Yuguang)	65 992 $\pm$ 138	60 154 $\pm$ 138

Les résultats obtenus avec les appareils du JILA et de l'U.R.S.S. sont supérieurs de 230 et 260 nm/s<sup>2</sup> à nos valeurs. Le groupe de l'Université de Californie et celui du NIM (Chine) trouvent des résultats supérieurs aux nôtres de 380 nm/s<sup>2</sup>. Jusqu'ici, nous n'avons pas pu identifier, dans aucun de ces gravimètres, un effet qui expliquerait de façon indiscutable des divergences de cet ordre de grandeur.

Cependant, considérer la moyenne des six déterminations comme la valeur la plus vraisemblable ne nous semble pas satisfaisant. En effet, cette moyenne est très voisine de celle qui a été mesurée à Sèvres point A au cours de la première comparaison internationale, en 1981. Or, depuis 1981, le nouveau bâtiment des lasers a été construit à proximité du point de mesure. Des mesures périodiques effectuées avec le gravimètre du BIPM ont permis de déceler clairement depuis le début des travaux (fin 1982) une diminution progressive de l'accélération due à la pesanteur de l'ordre de 300 nm/s<sup>2</sup>, valeur qui s'est finalement stabilisée à 200 nm/s<sup>2</sup>. Ainsi, même la valeur moyenne donnée par l'ensemble des gravimètres pose un problème car elle n'a pas permis de déceler cette évolution de la pesanteur.

Il faut bien entendu nous garder de toute conclusion hâtive. La seule qui nous paraisse indiscutable est qu'il existe encore dans ces instruments des causes non identifiées d'erreurs systématiques pouvant entraîner des écarts importants (de l'ordre de 200 à 400 nm/s<sup>2</sup>, soit 2 à  $4 \times 10^{-8}$  en valeur relative).

Dans un sens, cette comparaison s'est achevée avec des résultats médiocres. Mais le but de telles comparaisons est principalement de mettre en évidence les erreurs ou défauts des appareils qui y participent, pour pouvoir y remédier. Dans ce sens, nous avons été satisfaits des efforts des nombreuses organisations qui ont apporté leur concours.

## 6. Manométrie (J. Bonhoure)

### 6.1. — Instrument de transfert de pression

On rappelle qu'il s'agit d'une cellule à point triple de l'argon dont le palier est utilisé comme référence de pression (68 890 Pa environ) lors de la comparaison de manobaromètres.

En s'appuyant sur ce qui a été fait à l'INM (France) pour des cellules utilisées comme référence de température, on a remplacé la mousse isolante autour de la cellule par un grillage à maille fine. Ce grillage, en contact avec l'azote liquide utilisé comme fluide de refroidissement, joue le rôle de caloduc et doit assurer une meilleure uniformité de température de la cellule ; ce procédé doit aussi retarder le réchauffement de la cellule. On espère donc obtenir un palier de pression plus stable et plus long. Les essais de mise au point sont en cours.

## 6.2. — Études courantes

On a continué à effectuer, chaque mois, le contrôle des jauges de pression (Ruska et Garrett) nécessaires à la section des masses.

## 7. Échelles de temps (B. Guinot)

En avril 1985, le BIPM a pris à sa charge la section du Bureau international de l'heure (BIH) qui établit le Temps atomique international (TAI) et le Temps universel coordonné (UTC). Cette situation prépare la prise de responsabilité totale du TAI par le BIPM. En novembre 1985, ce transfert de responsabilité a été approuvé par l'Assemblée générale de l'Union astronomique internationale, union scientifique parente principale du BIH.

### 7.1. — Établissement du TAI et de l'UTC

Le TAI et l'UTC ont été régulièrement établis, sans changements autres que les améliorations des liaisons horaires, décrites ci-après. Comme on l'avait expliqué dans le rapport de 1985, p. 72, on établit d'abord une échelle atomique libre, l'EAL, très stable, mais sans souci d'exactitude. Puis, le TAI est obtenu après une correction de « pilotage » destinée à assurer la conformité de l'intervalle unitaire du TAI aux meilleures réalisations de la seconde par des étalons primaires. Aucune correction de pilotage n'a été nécessaire depuis le 29 février 1984. Par rapport aux étalons du NBS, du NRC, de la PTB et du RRL, on estime que l'écart de fréquence normée a été en 1985, en moyenne,

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

l'écart-type étant de l'ordre de  $4 \times 10^{-14}$ .

L'étendue de la coopération pour le TAI est illustrée par les nombres suivants qui se rapportent à mars et avril 1986 :

nombre d'horloges participantes .....	189
nombre de laboratoires ou de centres nationaux où sont situées ces horloges .....	35
nombre de pays participants .....	22
nombre de laboratoires ou de centres nationaux pour lesquels on donne les écarts entre le TAI (ou l'UTC) et les horloges maîtresses .....	37

L'incertitude sur ces écarts, pour les laboratoires équipés de récepteurs du Global Positioning System, est, en général, inférieure à 50 ns (écart-type).

Grâce à des améliorations dans les liaisons horaires, les masers à hydrogène de l'U.R.S.S. ont commencé à participer à l'élaboration du TAI en juillet 1986. Les données des étalons primaires à césium de l'U.R.S.S. nous ont été communiquées ; elles sont en cours d'étude.

Les codes du BIH pour désigner les horloges et les échelles de temps ont été modifiés et de nouvelles instructions ont été envoyées à tous les participants au TAI. Toutefois, pour éviter d'imposer des contraintes excessives aux laboratoires, les données transmises au BIH avec les anciens codes restent admises.

## 7.2. — Amélioration des liaisons horaires

### *Global Positioning System (GPS)*

En juin 1986, douze des laboratoires qui participent à nos travaux sont reliés entre eux par le GPS. Ils poursuivent les satellites suivant des programmes d'observations simultanées qui assurent la meilleure exactitude. Jusqu'à présent, le programme des poursuites était coordonné par le NBS. Nous nous sommes exercés en vue de prendre en mains cette coordination, comme cela avait été envisagé lors de la 10<sup>e</sup> session du CCDS, en construisant des programmes fictifs grâce au récepteur prêté par le NBS au BIH et exploité par le Laboratoire primaire du temps et des fréquences (LPTF), à l'Observatoire de Paris. Le programme de poursuite à employer à partir de juillet 1986 a été établi conjointement par le NBS et le BIPM, lors d'une visite au NBS, en mai 1986, d'un membre du personnel du BIPM.

Pour la plupart des laboratoires, les données de mesure sont traitées au BIPM. Outre les liaisons horaires strictement nécessaires pour le TAI (sans redondance), on en calcule quelques autres pour la comparaison avec les résultats obtenus dans divers organismes et pour la recherche. Comme exemple des questions qui se posent, nous montrons la fermeture pour une boucle de comparaisons horaires autour de la Terre, chaque paire de laboratoires étant reliée par des observations simultanées (fig. 12). L'erreur de fermeture ne peut pas être expliquée par des retards instrumentaux, car ceux-ci s'éliminent dans la combinaison des mesures ; elle est, durant certaines périodes, incompatible avec l'exactitude de 10 ns, dans les comparaisons deux à deux, qui a été souvent annoncée ; elle est peut-être due à des imperfections des modèles orbitaux, conjuguées avec des observations à faible hauteur au-dessus de l'horizon.

Une stagiaire de Madagascar, qui nous a été détachée par l'Institut géographique national (France), Mme Ramamison, a participé aux essais de plusieurs récepteurs du GPS prêtés soit au BIH, soit au LPTF. Ces instruments ont des qualités voisines, mais il est apparu des écarts de résultats dus aux logiciels, aux retards instrumentaux et au niveau des signaux de l'horloge locale. Des différences notables (plusieurs dizaines

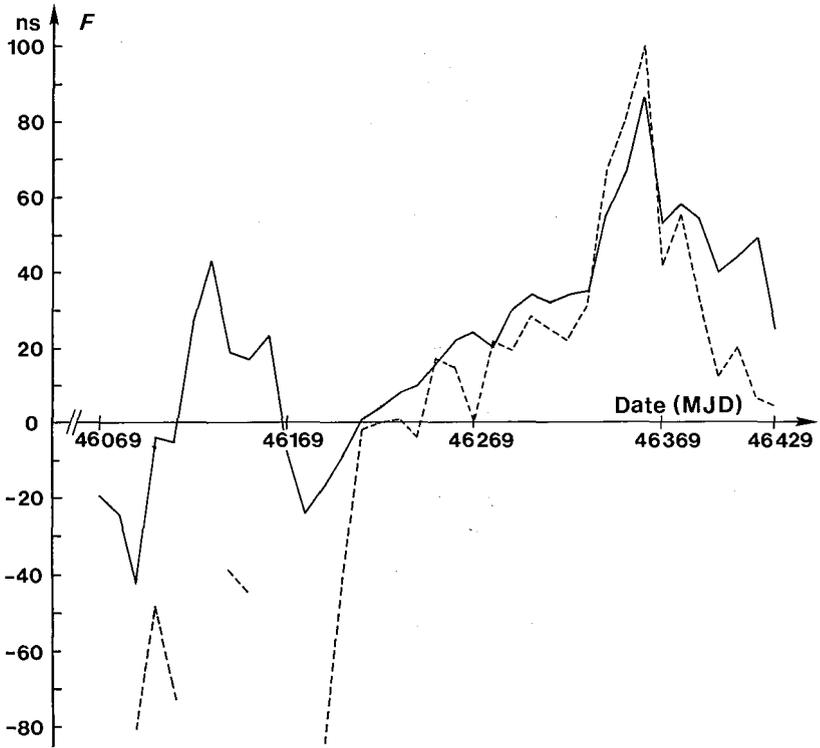


Fig. 12. — Erreur de fermeture  $F$  pour des comparaisons de temps faites autour de la Terre en utilisant le Global Positioning System (année 1985).

$$F = [\text{UTC}(\text{USNO}) - \text{UTC}(\text{TAO})] + [\text{UTC}(\text{TAO}) - \text{UTC}(\text{OP})] + [\text{UTC}(\text{OP}) - \text{UTC}(\text{USNO})]$$

Le tracé en tireté représente les valeurs de  $F$  obtenues avec le satellite SV6 qui est visible simultanément par chacune des paires de laboratoires (mais à des moments différents pour chaque paire).

Le tracé en trait plein représente une moyenne, avec des satellites différents suivant les paires de laboratoires.

de nanosecondes) apparaissent, d'une manière persistante, entre les résultats fournis par des satellites différents. S'il est très vraisemblable que cette anomalie provient des paramètres orbitaux transmis, nous n'en connaissons cependant pas la cause profonde.

Une campagne d'étalonnage des retards différentiels des récepteurs horaires du GPS en Europe, à l'USNO et au NBS a été préparée et elle devra s'accomplir du 30 septembre au 20 octobre 1986. Cette campagne est une entreprise commune du BIPM et du NBS. Un récepteur étalonné, prêté par le NBS, sera transporté de site en site par deux personnes, l'une du NBS, l'autre du BIPM, et comparé aux récepteurs locaux. On espère ainsi réduire les écarts de quelques dizaines de nanosecondes que l'on observe lors des transports d'horloges.

## LORAN-C

Le système de navigation LORAN-C reste encore utilisé pour des liaisons horaires régionales, à partir de stations possédant à la fois des récepteurs du GPS et du LORAN-C. Dans certains cas, sa qualité s'approche de celle du GPS. Par exemple, dans la liaison horaire entre la PTB et l'Observatoire de Paris, les différences des résultats obtenus par le GPS et le LORAN-C ont un écart-type de 38 ns (sur des moyennes de 10 jours, de juillet 1983 à octobre 1985).

Mais, dans d'autres cas, on observe des fluctuations saisonnières notables entre le LORAN-C et le GPS. Cela se produit notamment quand les signaux du LORAN-C passent par des régions montagneuses. Un exemple typique est la liaison entre la PTB et la TUG (Autriche) où l'effet saisonnier a une amplitude (crête à creux) d'environ 200 ns.

On a conduit plusieurs actions pour améliorer les liaisons horaires par le LORAN-C :

- organisation de mesures simultanées ;
- amélioration des transmissions de données de mesure au BIPM (valeurs journalières sous un format unifié) ;
- amélioration du traitement de ces données ;
- choix des liaisons avec les stations pourvues de récepteurs du GPS.

Cette réorganisation est presque achevée pour l'Europe ; elle a été entreprise pour l'Extrême-Orient.

## LASSO

Cette expérience de comparaison d'horloges par tirs de lasers sur un satellite géostationnaire avait été proposée par le BIH à l'Agence spatiale européenne. Les équipements du segment spatial avaient d'abord été montés sur le satellite SIRIO-2, perdu par échec du lanceur en 1983. L'expérience sera reprise à l'aide du satellite METEOSAT-P2 qui devait être lancé vers la fin de 1987, mais elle est retardée à la suite d'une modification du troisième étage du lanceur ARIANE. Nous avons participé à des réunions préparatoires et défini notre rôle dans l'évaluation des résultats de l'expérience.

### 7.3. — Travaux sur les algorithmes

L'algorithme ALGOS qui établit le TAI traite des échantillons de marche des horloges, par rapport à l'EAL, calculés par moyennes sur deux mois. Cette durée est trop longue pour avoir un nombre d'échantillons suffisant qui permettrait d'appliquer des méthodes statistiques élaborées ; mais elle avait été imposée par les incertitudes des comparaisons d'horloges distantes.

Grâce aux progrès apportés par le GPS, on peut envisager d'employer des échantillons d'un mois. Nous avons constitué un fichier contenant ces échantillons, pour toutes les horloges ayant fonctionné à partir du 1<sup>er</sup> janvier 1983. Tous les sauts intentionnels de fréquence et de phase ont été pris en considération, de sorte que nous disposons d'un ensemble de données homogènes aisément utilisables. Ce fichier est régulièrement entretenu.

Dans un premier temps, on l'a essayé avec un algorithme ALGOS modifié dans sa forme, mais conservant la prédiction « linéaire » qui consiste à prédire que pendant un intervalle de durée  $q$  la marche d'une horloge restera identique à celle qui a été observée pendant l'intervalle immédiatement antérieur, de durée  $p$ . Dans l'ALGOS normal,  $p = q = 2$  mois. Des expériences faites avec d'autres valeurs de  $p$  et  $q$  ont montré des divergences entre les échelles de temps produites qui s'expliquent par une réponse différente aux fluctuations saisonnières des marches des horloges. Cet effet est suffisamment net pour qu'on puisse tenter de l'utiliser pour évaluer les fluctuations saisonnières de l'EAL. Nous avons entrepris d'explorer cette possibilité sur quelques années passées.

Un essai de modélisation des fluctuations saisonnières des marches des horloges, après comparaison aux horloges primaires de la PTB et du NRC supposées exemptes de cette erreur, n'a pas été satisfaisant. La prédiction est le plus souvent légèrement dégradée, sans doute parce que la perturbation n'est pas strictement périodique. Comme, en outre, il faut un an au moins, au lieu de deux mois actuellement, avant de pouvoir utiliser effectivement une horloge, la perte d'informations devient excessive. Mais, à l'occasion de cette recherche, nous avons obtenu deux résultats instructifs.

1° La meilleure prédiction linéaire s'obtient avec un passé  $p = 2$  mois (fig. 13), alors que le bruit des horloges demanderait un intervalle plus

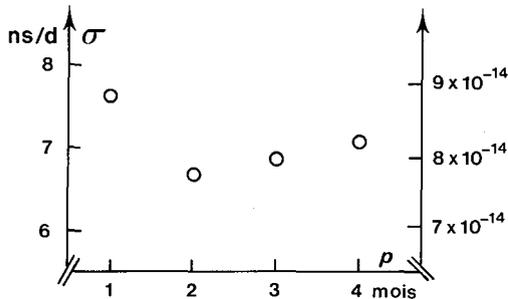


Fig. 13. — Effet de la durée  $p$  du passé considéré sur la qualité de la prédiction.

En ordonnées, on a porté l'écart-type de la différence entre la marche prédite et la marche observée : à gauche, l'échelle est en nanosecondes par jour, à droite, elle est en fréquence normée.

court. Cela montre que, dans l'intervalle étudié, le bruit des comparaisons de temps était encore prédominant sur des échantillons de marche de moins de deux mois (le GPS était encore peu utilisé).

2° Pendant les trois années étudiées (1982 à 1984), la prédiction de la fréquence normée du TAI par rapport à l'horloge primaire PTB CS1, sur deux mois, est réalisée à  $2 \times 10^{-14}$  près (écart-type), après modélisation de l'onde annuelle. Pour les meilleures horloges à césium industrielles rencontrées dans notre étude, l'incertitude correspondante est de l'ordre de  $5 \times 10^{-14}$ .

#### 7.4. — Recherches diverses

##### *Temps universel*

La définition du « temps universel » exige une description exacte de la rotation terrestre. Conjointement avec des astronomes de l'Observatoire de Paris (N. Capitaine, J. Souchay), nous avons achevé l'étude de ce problème, entreprise depuis plusieurs années. On a montré que le concept d'une « origine non tournante » dans l'équateur mobile conduisait à une définition conceptuelle simple du temps universel et que cette origine pouvait être réalisée sans erreurs excédant  $0,000\ 05''$  (soit 1,5 mm à la surface de la Terre). Un article sur ce sujet a été soumis à *Celestial Mechanics*.

##### *Pulsars*

Le chronométrage des pulsars rapides, dont la stabilité au-delà d'une année surpasse celle des horloges atomiques, devrait apporter une contribution très importante à la métrologie du temps. Nous nous sommes associés aux recherches entreprises sur ce thème par le Bureau des longitudes et le Groupe de recherches de géodésie spatiale (France).

#### 8. Thermométrie (J. Bonhoure)

On a encore effectué quelques observations sur les thermomètres à résistance de platine pour la mesure des hautes températures, mais on a consacré la plus grande partie du temps disponible à la mesure des températures thermodynamiques par pyrométrie infrarouge. Des résultats ont été obtenus et on a maintenant bon espoir de terminer cette étude en 1987.

### 8.1. — Échelle internationale pratique de température

*Thermomètres à résistance de platine pour la mesure des températures moyennes.* — Dans le rapport de 1983 (p. 53) et dans celui de 1984 (p. 61), on signalait les nombreuses difficultés rencontrées lors de l'utilisation des thermomètres (Rosemount et Tinsley), en position verticale tête en bas, dans les corps noirs pyrométriques. Dans la nouvelle installation, les thermomètres (Tinsley) sont horizontaux et, tout au moins dans le domaine de température exploré jusqu'à maintenant (560 à 630 °C), il est intéressant de noter que les difficultés ont complètement disparu.

Les deux thermomètres utilisés pour les mesures (T 236007 et T 236009) et les deux thermomètres auxiliaires (T 238670 et T 246139) ont été étalonnés en octobre-novembre 1985, puis en mai-juin 1986, en position verticale tête en haut. Dans l'intervalle, les quatre thermomètres ont été placés 58 fois dans les fours horizontaux, 19 h environ chaque fois, le  $R_0$  étant contrôlé après chaque période de 19 heures.

Au cours du temps, on a observé une diminution régulière de  $R_0$  (avec toutefois une exception : un changement brusque équivalent à 10 mK pour T 246139) et une augmentation de  $W(\text{Sn})$  et de  $W(\text{Zn})$ . Ces résultats confirment ceux précédemment obtenus avec un thermomètre utilisé pour l'étalonnage des thermocouples à 630 °C. L'évolution des quatre thermomètres est résumée ci-dessous : on donne, en millikelvins, la variation de température équivalente aux variations  $\Delta W$  de  $W$  à 560 °C et à 630 °C, d'octobre-novembre 1985 à mai-juin 1986, et à la variation  $\Delta R_0$  de  $R_0$  par période de 19 h à 560-630 °C.

	$\Delta W(560)$	$\Delta W(630)$	$\Delta R_0$
T 236007	+ 0,2	+ 1,0	- 0,06
T 236009	- 1,8	- 1,5	- 0,13
T 238670	- 10,6	- 12,6	- 0,11
T 246139	- 23,2	- 27,0	- 0,24

On remarquera, en particulier, le comportement satisfaisant des thermomètres utilisés pour les mesures (T 236007 et T 236009) : leur  $W$  à 560 ou 630 °C a peu varié et leur  $R_0$  a diminué lentement et régulièrement.

On a vérifié aussi que le  $R_0$  d'un thermomètre était indifférent à la position d'étalonnage, verticale ou horizontale. Un ensemble constitué d'une cellule à point triple de l'eau et d'un thermomètre Tinsley a été successivement placé dans les deux positions : on n'a pas observé de variation significative de la valeur mesurée de la résistance du thermomètre.

## 8.2. — Températures thermodynamiques : étude par pyrométrie infra-rouge

Dans le rapport de 1985 (p. 81), on relatait les difficultés rencontrées pour obtenir une bonne uniformité radiale de température dans les deux nouveaux fours horizontaux à cavité corps noir. Comme on le suggérait, on a enroulé de la feuille d'aluminium polie autour du cylindre épais en acier inoxydable qui contient le bloc central du four (dans lequel la cavité corps noir est forée) et l'élément de chauffage correspondant.

On a ainsi ramené la différence de température entre les deux puits thermométriques placés de part et d'autre de la cavité, de 30 à 10 mK ; cette différence s'est maintenue à peu près constante au cours des nombreuses séries de mesure effectuées par la suite, ce qui la rend tout à fait tolérable.

L'émissivité des cavités est un facteur important ; or, après divers essais de recuit des blocs en acier inoxydable à 850 °C, puis 1 000 °C, les contrôles ont montré qu'elle n'était pas satisfaisante. On a finalement obtenu de bons résultats en portant les blocs à 850 °C pendant 300 heures, avec une injection permanente d'air dans les cavités.

L'installation était ainsi prête à fonctionner. On rappelle qu'il s'agit de comparer les luminances spectrales (à une longueur d'onde voisine de 1  $\mu\text{m}$ ) de deux cavités corps noir dont les températures sont déterminées dans l'EIPT par des thermomètres à résistance de platine étalons. Si la différence  $T - T_{68}$  est connue à la température de référence (420 °C, par exemple), on en déduit  $T - T_{68}$  aux autres températures par application de la loi de Planck.

L'installation étant prévue pour déterminer des rapports de luminance voisins de deux ou de quatre et les mesures ayant commencé à 630 °C, on a successivement étudié les intervalles de température 630-593 °C et 593-557 °C ; un troisième intervalle est en cours d'examen : 557-525 °C. Les résultats semblent confirmer ceux déjà acquis (Rapport 1984, p. 61) avec des fours verticaux ; toutefois, la pente de la droite obtenue précédemment pour  $T - T_{68}$  en fonction de  $t$  est peut-être un peu plus faible. Des valeurs numériques de  $T - T_{68}$  ne seront communiquées qu'après la vérification de l'étalonnage du monochromateur qui sert à isoler la bande spectrale.

## 8.3. — Études courantes

On a contrôlé quatre thermomètres à résistance de platine récemment acquis par le BIPM et un thermomètre appartenant au Service de la métrologie belge. On a aussi vérifié des instruments utilisés dans différentes sections du BIPM.

## 9. Électricité (T. Witt)

### 9.1. — Travaux relatifs à l'amélioration des mesures de résistance

À titre de présentation schématique des activités de la section d'électricité, nous montrons à la figure 14 les étalons de résistance et les appareils de mesure permettant de rattacher la résistance obtenue par l'effet Hall quantique à la grandeur  $\Omega_{69-BI}$ , qui est définie par la moyenne de six résistances de  $1 \Omega$ . Depuis deux ans, nous travaillons sur l'amélioration du passage de  $10 \text{ k}\Omega$  à  $1 \Omega$ .

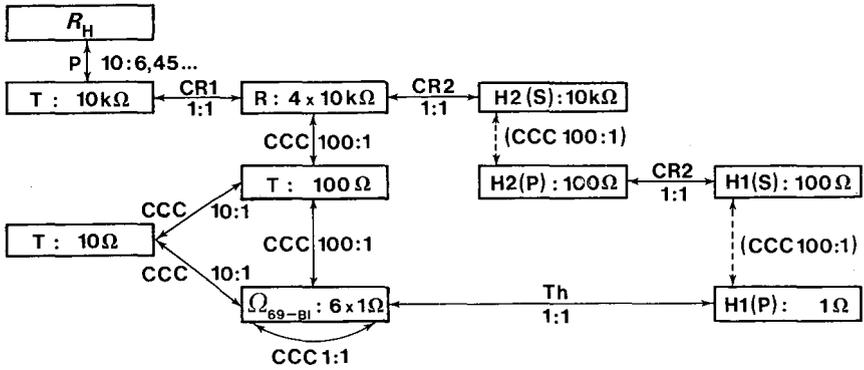


Fig. 14. — Représentation schématique des étalons de résistance (cadres) et des instruments de mesure (flèches) pour le rattachement de la résistance de Hall à  $\Omega_{69-BI}$ .

$R_H$ , résistance de Hall ; P, potentiomètre ; T, étalon de transfert ; CR1, CR2, comparateurs de résistances ; R, groupe de référence ; H1, H2, dispositifs de Hamon [(S), montage série ; (P), montage parallèle] ; CCC, comparateur cryogénique de courants ; Th, pont double de Thomson.

Les instruments de mesure symbolisés par des flèches en tireté sont utilisés à titre de contrôle.

Comme nous l'avons déjà expliqué (Rapport 1985, pp. 86-88), nous effectuons de façon régulière des comparaisons entre elles des quatre résistances de  $10 \text{ k}\Omega$ , maintenues dans deux enceintes thermostabilisées, à l'aide d'un comparateur de résistances (CR1) de  $10 \text{ k}\Omega$ . Les graphiques de la figure 15 montrent le comportement relatif, en fonction du temps, de ces quatre étalons de  $10 \text{ k}\Omega$ . En admettant une variation linéaire des résistances en fonction du temps, nous avons calculé, par la méthode des moindres carrés, les droites représentées sur les graphiques. Exprimé en valeur relative, l'écart-type de la valeur ajustée à la date moyenne est de  $5 \times 10^{-9}$  pour trois des quatre résistances et de  $7 \times 10^{-9}$  pour la quatrième. La stabilité des températures des enceintes et les faibles coefficients de température des résistances sont tels qu'aucune correction pour les variations de température n'est nécessaire. La moyenne de ce groupe de résistances est bien connue par rapport à  $\Omega_{69-BI}$ , ce qui nous a permis de connaître les résultats des mesures de la résistance de Hall sans être toujours obligés de passer par la chaîne complète d'étalonnage.

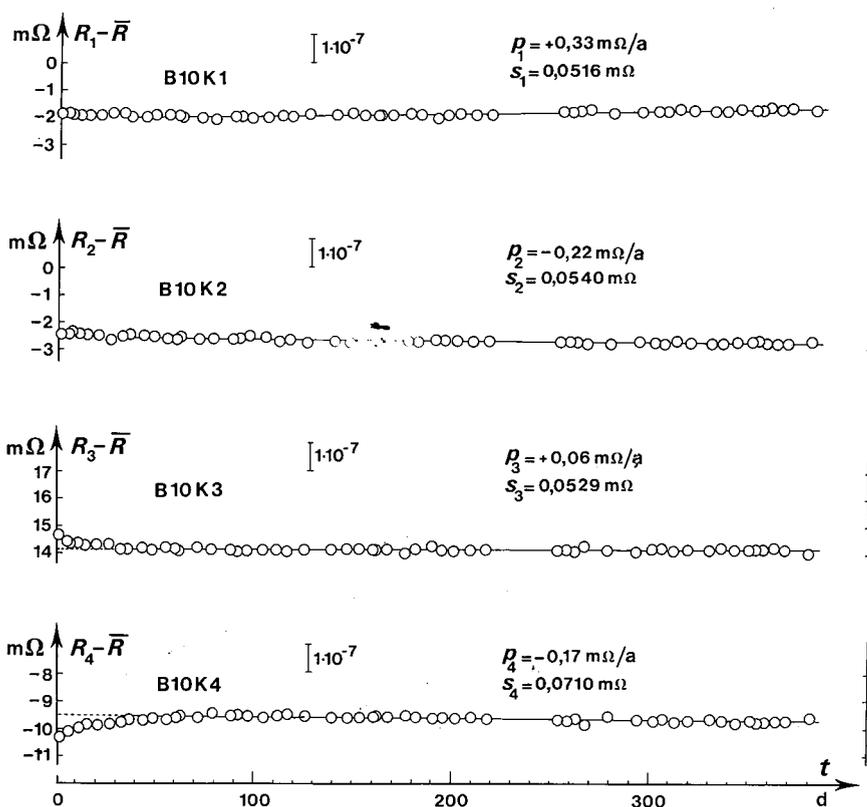


Fig. 15. — Comportement relatif, en fonction du temps, de chacune des quatre résistances de  $10\text{ k}\Omega$  du groupe de référence du BIPM.

Les résistances B10K1, B10K2, B10K3 et B10K4 sont maintenues dans deux enceintes thermostabilisées. Les droites ont été déterminées par la méthode des moindres carrés au moyen des résultats obtenus à partir de la neuvième série ; elles se caractérisent par leur pente  $p$  et l'écart-type  $s$  de la valeur ajustée à la date moyenne.

Cette année, nous avons construit deux circuits de passage du type Hamon de conception nouvelle. Nous nous sommes engagés dans cette construction afin de pouvoir contrôler les erreurs dues aux ajustements des résistances des prises de courant et de tension, ce qui n'est pas possible sur les circuits de Hamon commerciaux en raison de leur construction. Les deux nouveaux circuits de Hamon sont autonomes car chacun est placé dans une enceinte thermostabilisée. À présent, la stabilité des résistances est compromise, au niveau de  $1 \times 10^{-7}$  en valeur relative, par les variations de la température ambiante qui, à cause d'un couplage thermique important avec l'ambiance, modifient les valeurs des résistances. Nous pensons pouvoir améliorer cette situation. En ce qui concerne les rapports fournis par ces deux circuits de Hamon, ils semblent exacts à  $1 \times 10^{-8}$  près en valeur relative.

Afin de comparer des résistances de  $100\ \Omega$  et d'améliorer les comparaisons de résistances de  $10\ \text{k}\Omega$ , nous avons construit une enceinte thermorégulée contenant deux comparateurs de résistances (CR2) de ces valeurs.

Enfin, le circuit probablement le plus important que nous ayons mis en œuvre est le comparateur cryogénique de courants (CCC) déjà décrit (Rapport 1984, p. 67). Il sert à établir, avec des écarts-types de l'ordre de  $1 \times 10^{-8}$  en valeur relative, des rapports de résistances de 1:1, 1:10 et 1:100. Il sert non seulement à passer de  $10\ \text{k}\Omega$  à  $1\ \Omega$  mais aussi à comparer entre elles des résistances de  $1\ \Omega$  avec un écart-type inférieur à  $1 \times 10^{-8}\ \Omega$ . Nous pensons nous servir de ce comparateur cryogénique de courants dans les prochaines comparaisons internationales de résistances.

*Réfection de la salle 15.* — Profitant d'un ralentissement du nombre d'études de résistances, nous avons fait faire les travaux suivants dans cette salle qui sert aux mesures de résistances :

- remplacement du parquet endommagé par l'humidité ;
- pose de lignes électriques à 220 V sous canalisation en acier afin de réduire les perturbations électriques sur les circuits de mesure ;
- réfection du conditionnement d'air ;
- changement des lampes d'éclairage ;
- pose d'une cloison métallique qui divise la salle en deux et qui doit permettre à deux personnes de travailler simultanément dans la salle sans se gêner.

À la suite de ces travaux et afin de contrôler que les valeurs des six résistances du groupe qui constitue  $\Omega_{69-B1}$  n'ont pas varié, nous avons comparé, sur notre demande, des résistances de  $1\ \Omega$  avec celles du LCIE ; aucun changement significatif n'a été constaté.

## 9.2. — Activités relatives à la mise en œuvre de l'effet Hall quantique

En octobre 1985, nous avons reçu l'aimant supraconducteur et nous l'avons monté dans le cryostat. À la même époque, les canalisations du vide pour le pompage sur le bain d'hélium 4 et les canalisations du système de manipulation de l'hélium 3 ont été posées. D'octobre 1985 à janvier 1986, nous avons profité de l'aide efficace de K. Yoshihiro, physicien de l'Electrotechnical Laboratory, Ibaraki, Japon, qui a contrôlé et mis en route le réfrigérateur à  $^3\text{He}$  et qui nous a aidés dans les essais de l'aimant. Nous le remercions vivement.

En décembre 1985, nous avons vérifié l'aimant aux inductions magnétiques de  $13,5\ \text{T}$  à  $4,2\ \text{K}$  et de  $14,3\ \text{T}$  à  $1,5\ \text{K}$ . Ensuite, nous avons câblé les circuits électriques d'alimentation de la tension de porte et du courant de mesure, aussi bien que les circuits de mesures électriques. Les premiers essais ont démontré le bon fonctionnement du réfrigérateur à  $^3\text{He}$  qui a permis d'atteindre  $0,5\ \text{K}$  environ.

La figure 16 montre schématiquement le système électrique. L'échantillon, un transistor métal-oxyde-semiconducteur à effet de champ, donné au BIPM par le professeur S. Kawaji de Gakushuin University, Tokyo, est soumis à une induction magnétique de 13 T environ et à une température de 0,5 K. Un courant passe à travers une résistance étalon de transfert de 10 kΩ et à travers l'échantillon. Avec un potentiomètre, nous mesurons la différence de potentiel aux bornes de la résistance, puis aux bornes de l'échantillon, et une seconde fois aux bornes de la résistance. La même séquence est répétée avec la polarité inverse du courant et répétée à nouveau avec la polarité originale. L'analyse des données s'effectue de manière à éliminer l'effet des forces thermoélectromotrices et de leurs dérivés linéaires aussi bien que la dérive linéaire de l'alimentation en courant. Une série de mesures comporte cinq ou six déterminations, chacune consistant en neuf mesures de tension. La résistance de Hall du plateau correspondant au nombre quantique  $i$  est donnée par

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

où  $h$  est la constante de Planck et  $e$  la charge élémentaire, seulement si le mouvement des électrons est complètement quantifié. Cette condition

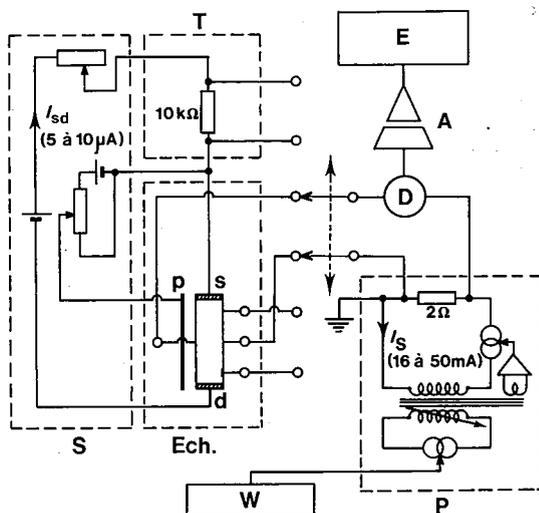


Fig. 16. — Schéma de principe des mesures de la résistance de Hall par rapport à une résistance de transfert de 10 kΩ.

S, sources de courant et de tension ; T, résistance de transfert ; Ech., échantillon [s, source ; p, porte ; d, drain] ; W, pile étalon ; P, potentiomètre ; D, détecteur de zéro ; A, amplificateur à isolation optique ; E, enregistreur.

Les différences de potentiel dues au courant  $I_{sd}$  aux bornes de la résistance de transfert et aux bornes de l'échantillon sont mesurées successivement avec le potentiomètre ; on peut aussi contrôler la valeur de la résistivité de l'échantillon dans le sens du courant. Un amplificateur à isolation optique permet d'enregistrer et d'intégrer les indications du détecteur.

est atteinte si la résistivité dans le sens du courant est nulle. Dans les mesures que nous avons effectuées, la « résistance par carré » mesurée est inférieure à 0,25 mΩ, ce qui conduit à une erreur négligeable sur  $R_H(4)$ .

Sur la figure 17, nous indiquons les résultats de onze séries de mesures de la résistance du plateau  $i = 4$ , effectuées du 12 avril au 2 mai 1986, dans différentes conditions d'induction magnétique, de courant, de tension appliquée à la porte et de température. Ces conditions sont indiquées au tableau III.

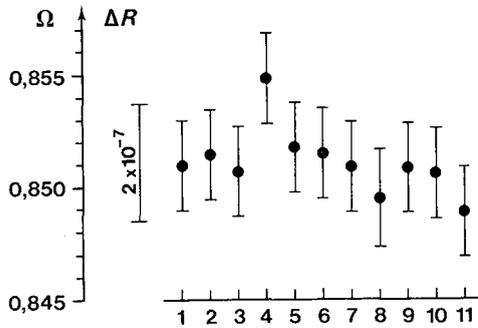


Fig. 17. — Résultats de onze séries de mesures de la résistance de Hall en fonction de  $\Omega_{69-B_1}$ .

Les mesures ont été effectuées entre le 12 avril et le 2 mai 1986. Chacune correspond à cinq ou six déterminations de  $4 \times R_H(4)$ .

En abscisses: numéro de la série; en ordonnées: valeur de  $\Delta R = 4 \times R_H(4) - 25812 \Omega_{69-B_1}$ , ramenée à la date du 1<sup>er</sup> juin 1986.

TABLEAU III

Conditions expérimentales pour les onze séries de mesures de la résistance de Hall en fonction de  $\Omega_{69-B_1}$  effectuées entre le 12 avril et le 2 mai 1986

Numéro de série	$B$ (T)	$I_{sd}$ ( $\mu A$ )	$U_p$ (V)	$T$ (K)	Date (1986)
1	12,50	10	13,10	0,5	12 avril
2	12,50	10	13,00	0,5	18 avril
3	12,50	10	12,90	0,5	
4	13,24	10	14,00	0,5	
5	13,24	10	13,90	0,5	20 avril
6	13,27	10	13,91	0,5	
7	13,27	7	13,91	0,5	1 <sup>er</sup> mai
8	13,27	5	13,91	0,5	
9	13,25	7	13,95	1,2	
10	13,25	7	13,85	0,5	2 mai
11	13,25	7	13,93	0,5	

$B$ , induction magnétique;  $I_{sd}$ , intensité du courant de mesure;  $U_p$ , tension appliquée à la porte;  $T$ , température.

Le rattachement à  $\Omega_{69-BI}$  a été effectué avec l'équipement indiqué sur la figure 14. En prenant le 1<sup>er</sup> juin 1986 comme date de référence (il est nécessaire de préciser une date car  $\Omega_{69-BI}$  dérive dans le temps), nous avons trouvé :

$$4 \times R_H(4) = (25\,812,851\,1 \pm 0,002\,0) \Omega_{69-BI} \text{ au } 1^{\text{er}} \text{ juin } 1986.$$

L'incertitude indiquée est l'écart-type ; elle comprend les incertitudes du type A et du type B. Nous pouvons exprimer nos résultats en ohms en extrapolant les résultats des rattachements entre  $\Omega_{69-BI}$  et l'ohm réalisé au CSIRO, Lindfield, Australie, (compte tenu des révisions récentes des valeurs et incertitudes données par ce laboratoire) <sup>(9, 10)</sup>. Cela nous donne, au 1<sup>er</sup> juin 1986,

$$\Omega_{69-BI} = 1 \Omega - (1,64 \pm 0,07) \mu\Omega.$$

L'incertitude est composée de 0,06  $\mu\Omega$  pour l'incertitude du type B dans la réalisation de l'ohm au CSIRO <sup>(10)</sup> et de 0,04  $\mu\Omega$  pour l'incertitude du type A dans les six comparaisons de résistances faites avec ce laboratoire depuis 1964.

Finalement, nous trouvons :

$$4 \times R_H(4) = (25\,812,808\,7 \pm 0,002\,7) \Omega.$$

Cette valeur est en accord avec les résultats obtenus dans plusieurs laboratoires nationaux.

Ainsi, à présent, le BIPM est capable de rattacher  $\Omega_{69-BI}$  à la résistance de Hall quantifiée avec un écart-type relatif de  $8 \times 10^{-8}$ .

### 9.3. — Travaux relatifs à la conservation et au transfert de $V_{76-BI}$

#### *Maintenance de $V_{76-BI}$*

Étant donné le nombre limité des membres de notre personnel, et afin de consacrer nos efforts à l'amélioration d'étalons et de mesures de résistance, nous n'avons fait cette année que deux séries de mesures de l'effet Josephson. Le bon comportement des piles de référence nous a permis d'assurer, sans augmentation significative de l'incertitude, les besoins des laboratoires nationaux.

---

<sup>(9)</sup> LECLERC, G. Rapport sur la 14<sup>e</sup> comparaison des étalons de résistance électrique (novembre 1983, février 1984 et mars 1985), *BIPM Rapport BIPM-85/9*, septembre 1985, révisé en mars 1986.

<sup>(10)</sup> SMALL, G.W. Revised value and estimate of uncertainties in NML's realization of the SI ohm. *BIPM Com. Cons. Électricité*, 17, 1986, document 86-13.

### *Comparaisons de piles*

Bien entendu, nous avons continué les comparaisons bimensuelles de nos six groupes de piles de référence. Ces comparaisons sont effectuées avec un potentiomètre manuel par un physicien.

Les comparaisons des piles envoyées par les laboratoires nationaux sont effectuées par un technicien avec le comparateur automatique. Depuis le début de la période couverte par ce rapport, aucune diminution de l'exactitude de ces mesures n'a été constatée.

#### *Étude d'étalons de tension à diode de Zener*

Une troisième comparaison, effectuée à titre d'essai, cette fois-ci avec le NPL, a fait apparaître une variation de l'étalon précédemment décrit (Rapport 1985, p. 90) de  $(0,05 \pm 0,05) \mu\text{V}$ ; nous avons alors envoyé cet étalon, accompagné, dans un autre laboratoire. À la suite de ce dernier transport, et sans raison apparente, la tension de cet étalon s'est mise à dériver rapidement dans le temps. Ces variations ont continué pendant un mois environ après le retour de l'étalon au BIPM. Nous avons donc abandonné l'utilisation de cet étalon.

En revanche, nous avons acheté un autre étalon à diode de Zener, Fluke modèle 732 A, avec sorties à 1 V, 1,018 6 V et 10 V. Notre intention est de faire éventuellement des rattachements entre  $V_{76\text{-BI}}$  et 10 V, mais, à présent, nous l'étudions à 1,018 6 V.

#### **9.4. — Études courantes**

Au cours de l'année écoulée, la section d'électricité a étudié onze étalons de résistance de  $1 \Omega$  pour la Pologne, Israël, la France (à notre demande) et la Suisse. Afin de disposer du temps nécessaire pour construire les nouveaux systèmes de mesure et de rattachement aux résistances de  $10 \text{ k}\Omega$ , nous avons pris du retard dans ces comparaisons.

En ce qui concerne les étalons de tension, nous avons étudié 21 piles étalons pour la Suède, la Norvège, l'U.R.S.S. et la Yougoslavie. L'étude de huit autres piles est en cours. Nous avons effectué une étude d'un étalon de 1,018 6 V à diode de Zener.

### **10. Photométrie (J. Bonhouri)**

#### **10.1. — Comparaison internationale**

On rappelle qu'il s'agit d'une comparaison d'étalons d'intensité et de flux lumineux représentés par des lampes à incandescence. Quinze laboratoires nationaux y participent. Cette comparaison est la suite naturelle du changement de définition de la candela intervenu en 1979, mais il ne faut pas non plus oublier que la précédente comparaison remonte à 1969.

Le programme de travail établi en octobre 1984 a été presque respecté. Les mesures au BIPM ont pu commencer en avril 1985 et se sont terminées en novembre. Le retour des lampes dans les laboratoires nationaux s'est effectué normalement et, un mois après la date limite, deux laboratoires seulement n'avaient pas encore fait parvenir au BIPM les résultats de leurs mesures de contrôle. Le rapport provisoire établi par le BIPM a pu cependant être distribué à la date prévue ; il sera examiné lors de la réunion du CCPR (30 septembre au 2 octobre 1986).

## 10.2. — Étalons de flux lumineux : absorption dans la sphère

Les lampes à incandescence utilisées pour la comparaison internationale étant toutes du même type, il n'a pas paru nécessaire, lors des mesures de comparaison, de contrôler l'absorption due à la présence d'une lampe dans la sphère.

Or, ultérieurement, on s'est aperçu que des lampes de même géométrie présentaient des différences d'absorption pouvant atteindre 0,2 % ; le noircissement inégal des ampoules en est la cause principale.

Pour des mesures de précision, il apparaît donc indispensable de déterminer systématiquement la correction d'absorption de chaque lampe.

## 11. Rayons X et $\gamma$ , électrons (A. Allisy)

### 11.1. — Rayons X (M. Boutillon\*, A.-M. Perroche\*)

#### *Étalonnage de chambres d'ionisation*

On a étalonné quatre chambres d'ionisation de type NEL (Nuclear Enterprises Ltd.), deux pour le Säteilyturvakeskus (STUK), Finlande, et deux pour le National Institute of Radiation Hygiene (NIRH), Danemark. Les deux chambres de chacun de ces laboratoires concernaient l'une le domaine des rayons X de faible énergie, l'autre celui des rayons X de moyenne énergie. Ces chambres servent d'étalon national d'exposition pour ces pays ; celle du NIRH pour les rayons X de moyenne énergie avait déjà été étalonnée en 1982.

### 11.2. — Rayonnement $\gamma$ du $^{60}\text{Co}$ (M.-T. Niatel\*, M. Boutillon\*, A.-M. Perroche\*)

Il convient d'abord de souligner que, conformément aux recommandations de la Section I du CCEMRI <sup>(1)</sup>, le BIPM utilise, depuis le 1<sup>er</sup> janvier 1986, de nouvelles valeurs pour plusieurs constantes physiques : pouvoirs de ralentissement des électrons, énergie moyenne nécessaire

---

<sup>(1)</sup> BIPM Com. Cons. Étalons Mes. Ray. Ionisants, 11, 1985, p. R 52.

pour créer une paire d'ions, énergie des électrons perdue par rayonnement de freinage. Il en résulte que les références BIPM ont varié de la manière suivante :

exposition	— 0,75 %
kerma dans l'air	— 0,50 %
dose absorbée dans le graphite	— 0,01 %.

Cette dernière référence a été peu affectée car elle est fondée essentiellement sur les mesures calorimétriques effectuées au BIPM par quatre laboratoires nationaux, mesures qui sont indépendantes des constantes ci-dessus.

Les facteurs d'étalonnage des chambres d'ionisation, déterminés précédemment au BIPM, se trouvent modifiés de la même manière que les références correspondantes.

#### *Comparaisons et étalonnages*

Une nouvelle comparaison d'étalons de dose absorbée dans le graphite a été effectuée entre l'étalon ionométrique du BIPM et l'étalon calorimétrique du Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne (RIVM), Pays-Bas. Il est apparu, pour les différentes « profondeurs » de 1 à 12 g.cm<sup>-2</sup>, un écart moyen de 1,2 % entre les valeurs du RIVM et celles du BIPM. L'origine de ces écarts est, pour l'instant, inexplicquée.

En application de la Recommandation R(I)-3 (1985) de la Section I du CCEMRI, des ampoules de solution de sulfate ferreux ont été irradiées dans le fantôme d'eau du BIPM. Il s'agissait d'une comparaison organisée par le NPL. En considérant la moyenne des résultats obtenus par ce laboratoire par deux méthodes différentes, on constate un bon accord entre le NPL et le BIPM, comme c'était déjà le cas lors de la comparaison internationale de 1980-81.

Deux chambres d'ionisation de type NEL, utilisées comme étalons secondaires d'exposition par le STUK et le NIRH, ont été l'une étalonnée, l'autre réétalonnée.

Deux chambres de fabrication autrichienne (Österreichisches Forschungszentrum, Seibersdorf) appartenant à l'Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD), Brésil, ont fait et continuent de faire, en collaboration avec C.E. de Almeida (*voir* « Visites et stages »), l'objet d'études approfondies. Ces chambres peuvent être utilisées comme étalons secondaires mais, leurs volumes étant connus, elles peuvent constituer des étalons primaires d'exposition à condition de déterminer les facteurs correctifs nécessaires (en particulier les corrections de parois et de recombinaison des ions). On a effectué ce travail dans le faisceau du BIPM et il en résulte un accord à 0,1 % près entre l'étalon du BIPM et chacun des étalons brésiliens. Actuellement, tout en contrôlant la

reproductibilité à long terme des mesures dans l'air de l'une des chambres, on étudie l'autre dans le fantôme d'eau pour l'étalonner en termes de dose absorbée dans l'eau à différentes profondeurs.

En outre, dans le cadre de la comparaison internationale de dosimétrie des neutrons organisée par le BIPM, trois chambres Exradin utilisées comme chambres de transfert dans cette comparaison ont été réétalonnées en novembre 1985, janvier, avril et juillet 1986, après mesures dans les différents laboratoires participants (*voir* « Mesures neutroniques »).

### *Dose absorbée dans l'eau*

Le volume de la chambre destinée à devenir l'étalon BIPM de dose absorbée dans l'eau, ainsi que celui de deux autres chambres analogues, a été déterminé par des mesures comparatives de courants d'ionisation, comme indiqué précédemment (Rapport 1985, p. 96).

La correction pour la présence du support de plexiglas a été déterminée par extrapolation en ajoutant des épaisseurs additionnelles de plexiglas. Elle s'élève à 0,09 % à la « profondeur » de  $5 \text{ g.cm}^{-2}$ .

Une autre correction a été déterminée en utilisant une extrapolation : c'est la correction qui tient compte de ce que le faisceau traverse, à l'avant du fantôme,  $0,476 \text{ g.cm}^{-2}$  de plexiglas au lieu de  $0,476 \text{ g.cm}^{-2}$  d'eau. On a trouvé que la réponse de la chambre doit être diminuée de 0,06 %.

La correction la plus difficile à établir est la correction pour la perturbation introduite par la présence de la chambre d'ionisation au sein du fantôme d'eau. Le principe du calcul a été indiqué dans le rapport de 1985 (p. 96). Le facteur correctif obtenu est 1,0011 pour une « profondeur » de  $5 \text{ g.cm}^{-2}$ .

On a comparé la dose absorbée mesurée dans l'eau à cette profondeur avec la valeur déterminée théoriquement à partir de la dose absorbée dans le graphite<sup>(12)</sup> comme indiqué dans le rapport de 1981 (pp. 62-63). La valeur mesurée est supérieure à la valeur calculée de 0,69 % pour l'étalon de dose absorbée dans l'eau. L'écart n'est plus que 0,48 % si l'on utilise l'étalon de dose absorbée dans le graphite pour la mesure dans l'eau. Bien que ces écarts soient compatibles avec l'incertitude du calcul (écart-type de 0,4 %), la valeur de la dose absorbée dans le fantôme d'eau du BIPM n'est pas encore établie de manière satisfaisante. En particulier, on ne s'explique pas pourquoi les réponses des deux chambres étalons ci-dessus, qui sont en accord pour la mesure de l'exposition et pour la mesure de la dose absorbée dans le graphite, différent de 0,21 % quand les mesures sont effectuées dans

---

<sup>(12)</sup> BOUTILLON, M. Determination of absorbed dose in a water phantom from the measurement of absorbed dose in a graphite phantom. *BIPM Rapport BIPM-81/2*, 6 pages.

l'eau. Il est donc nécessaire de poursuivre les travaux concernant la détermination de la dose absorbée dans l'eau.

### *Équivalent de dose*

Lors de sa 8<sup>e</sup> réunion, la Section I du CCEMRI<sup>(1)</sup> a recommandé que le BIPM détermine les facteurs nécessaires pour relier les nouvelles grandeurs définies par l'ICRU<sup>(13)</sup> dans le domaine de la protection (équivalent de dose ambiant, équivalent de dose directionnel) à l'exposition (ou au kerma), pour les différentes qualités de rayonnement du système actuel.

L'équivalent de dose ambiant est relié, par l'intermédiaire du facteur de qualité, à la dose absorbée à une « profondeur » de  $1 \text{ g.cm}^{-2}$ , dans une sphère de référence en « tissu-équivalent » (diamètre 30 cm, masse volumique  $1 \text{ g.cm}^{-3}$ ) complètement irradiée par un faisceau parallèle. Le facteur de qualité est égal à 1 pour les énergies des rayons X et du  $^{60}\text{Co}$ .

On a commencé l'étude de ces problèmes pour le rayonnement  $\gamma$  du  $^{60}\text{Co}$ . Pour réaliser les conditions ci-dessus, définies par l'ICRU, on a utilisé deux demi-sphères de plexiglas, de 30 cm de diamètre, ayant une paroi de 3 mm d'épaisseur, que l'on a réunies pour former une sphère. Elle sera remplie d'un liquide adéquat pour constituer une sphère « tissu-équivalent » de masse volumique  $1 \text{ g.cm}^{-3}$ .

La sphère est montée sur un support, également en plexiglas, et on peut effectuer une rotation de l'ensemble de  $360^\circ$ . Le support a été construit de façon à ce qu'il introduise le moins possible de rayonnement diffusé. Cette contribution a été mesurée expérimentalement et est de 0,25 %. La figure 18 montre une vue de cet ensemble.

La source utilisée est celle de 6 TBq ; pour obtenir un faisceau quasi parallèle, on se place à une grande distance de la source (3,50 m). Pour cela, on a ôté le hublot situé à l'arrière du château de plomb (Rapport 1965, p. 55) et on a ménagé à sa place une ouverture cylindrique de 120 mm de diamètre. Le faisceau ainsi défini a un diamètre de 74 cm à 3,50 m de la source.

On a étudié l'homogénéité du faisceau à cette distance avec une chambre sphérique de 2 cm de diamètre que l'on a déplacée perpendiculairement à l'axe du faisceau : les mesures sont en accord avec l'évaluation faite en tenant compte de la géométrie du faisceau, ce qui montre qu'il n'y a pas de rayonnement parasite diffusé par les objets environnants. On a également étudié avec cette chambre la variation du courant d'ionisation  $I$  en fonction de la distance  $D$  de la chambre à la source. Cette variation fait apparaître la présence de rayonnement diffusé par le collimateur : les valeurs sont en accord avec les résultats

---

<sup>(13)</sup> ICRU Report 39, 1985.

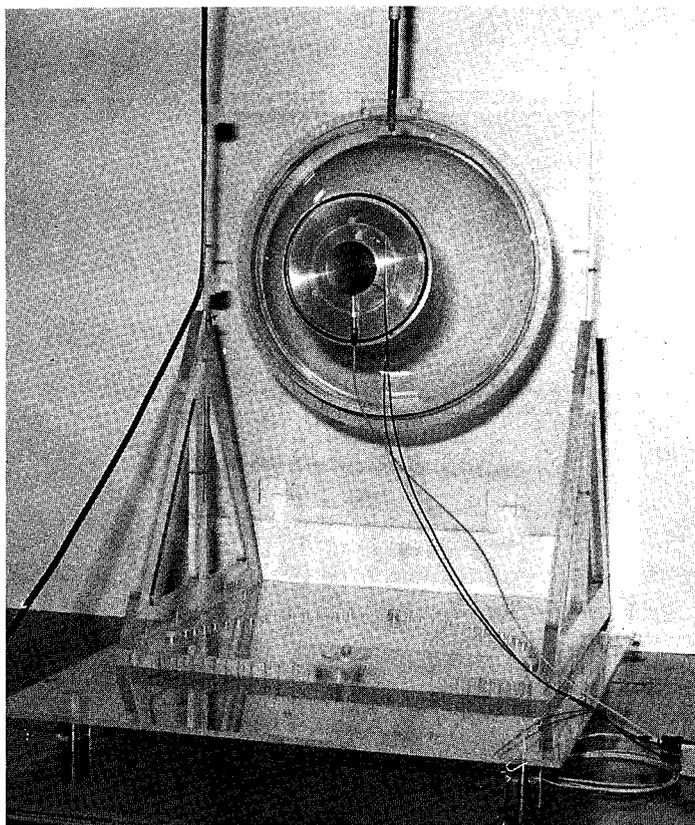


Fig. 18. — Vue d'ensemble de la sphère « tissu-équivalent », de son support et du détecteur (chambre d'ionisation) pour la mesure de l'équivalent de dose.

d'un calcul fait pour estimer ce rayonnement diffusé. Celui-ci est de 4,5 % à 1,12 m de la source et de 2,3 % à 3,50 m. À cette distance, son énergie est comprise entre 1,0 et 1,22 MeV, ce qui modifie peu le spectre de fluence énergétique arrivant sur la sphère. On choisit de placer le plan de référence à cette distance.

Le détecteur est une chambre à cavité en graphite, l'une de celles qui ont été construites en 1985 sur le modèle des étalons d'exposition et de dose absorbée, et gardées jusqu'à présent comme étalons de réserve.

On a mesuré avec cette chambre l'exposition dans le plan de référence choisi pour la mesure de l'équivalent de dose (fig. 19a). Le débit d'exposition est de  $0,3754 \mu\text{A}/\text{kg}$  ( $87,30 \text{ mR}/\text{min}$ ) à la date de référence du 1<sup>er</sup> janvier 1986.

Pour la mesure de l'équivalent de dose, on placera la chambre dans la sphère de façon à ce que le plan de référence soit à une « profondeur »

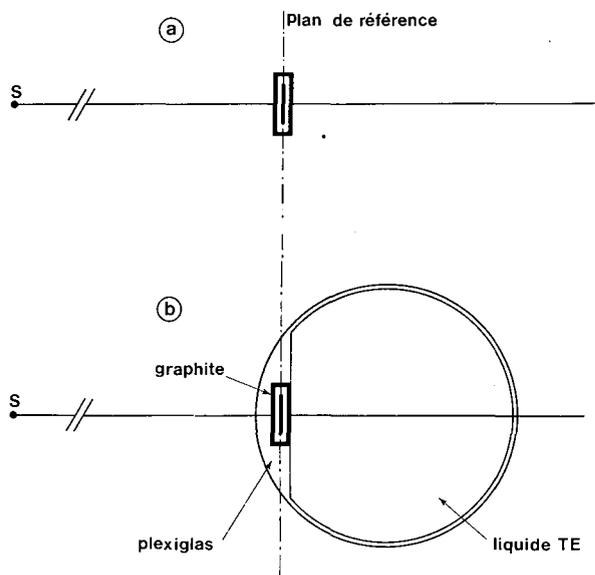


Fig. 19. — Positions de la chambre à cavité en graphite :

- a) pour la mesure de l'exposition,
- b) pour la mesure de l'équivalent de dose à une « profondeur » de  $1 \text{ g.cm}^{-2}$  dans la sphère « tissu-équivalent » construite au BIPM.

de  $1 \text{ g.cm}^{-2}$ . Pour cela, on a découpé dans l'une des demi-sphères une calotte qui a été remplacée par une pièce identique en plexiglas renfermant la chambre (fig. 19b). On mesurera par ionométrie l'énergie libérée dans la cavité. On en déduira par le calcul la dose absorbée qui existerait, en l'absence de chambre, à une « profondeur » de  $1 \text{ g.cm}^{-2}$ , dans un matériau « tissu-équivalent » de masse volumique  $1 \text{ g.cm}^{-3}$ .

Ce calcul, qui est en cours, tient compte de la présence de la cavité, de celle du graphite de la chambre, et du fait que le plexiglas situé à l'avant de la chambre a une masse volumique supérieure à  $1 \text{ g.cm}^{-3}$ .

## 12. Radionucléides

### 12.1. — Mesures d'activité (A. Rytz, J.W. Müller)

Les mesures de radionucléides sont pratiquées au BIPM depuis un quart de siècle. Jusqu'à présent, dix-sept comparaisons internationales à grande échelle, organisées par le BIPM ou sous son égide, ont eu lieu, dont la plupart avec sa participation.

Le succès modeste des premières comparaisons avait mis en évidence, entre autres, qu'il fallait d'abord perfectionner les techniques de base, ce qui a pu être fait par la suite en choisissant des radionucléides faciles à étalonner ( $^{60}\text{Co}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ). Plus tard, après avoir obtenu des résultats plus cohérents, on s'est attaqué à des exemples plus exigeants ( $^{139}\text{Ce}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ) pour s'avancer ensuite vers des cas présentant des problèmes sérieux ( $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{109}\text{Cd}$ ). La pratique qui consiste à faire précéder chaque grande comparaison d'une comparaison à participation restreinte s'est avérée d'une grande utilité ; elle a permis d'identifier des erreurs de conception et d'éviter des surprises néfastes.

#### *Comparaisons internationales de mesures d'activité*

$^{133}\text{Ba}$ . — Le rapport détaillé de la comparaison de mars 1984 a été publié sous la forme du Rapport BIPM-85/11. On y a tenu compte des remarques et suggestions reçues des dix-neuf participants à la suite de la distribution d'un projet de rapport.

$^{109}\text{Cd}$ . — Un projet de compte rendu sur la comparaison préliminaire de décembre 1984, préparé par A. Szörényi (OMH, Hongrie), a été édité et publié comme Rapport BIPM-85/10. La dispersion totale des huit résultats obtenus par des méthodes de mesure très différentes s'élève à 1,7 %, alors que l'écart-type relatif pour une mesure individuelle est de 0,5 %.

Compte tenu de ces résultats encourageants, la Section II du CCEMRI a demandé au BIPM d'organiser une comparaison de  $^{109}\text{Cd}$  à grande échelle. Comme pour la comparaison préliminaire, le NAC (Afrique du Sud) a bien voulu fournir la solution mère. L'IER (Suisse) et le LMRI (France) ont effectué des contrôles de pureté radionucléidique et l'OMH, après dilution et adjonction d'une quantité adéquate d'entraîneur, a procédé à la mise en ampoules et à la pesée des échantillons. La distribution des ampoules aux 22 participants, dont le BIPM, a été assurée par le LMRI en mars 1986.

#### *Construction d'un compteur proportionnel à pression (G. Ratel)*

Les travaux de construction et de mise au point du compteur proportionnel à pression se sont échelonnés sur toute l'année écoulée, l'objectif immédiat de cette réalisation étant de pouvoir participer à la comparaison internationale de  $^{109}\text{Cd}$ .

Le compteur, construit selon le modèle de la PTB, se présente sous la forme d'un cylindre d'aluminium de 45 mm de diamètre et de 96 mm de longueur. À l'intérieur de ce cylindre, parallèlement au porte-source, sont tendues des électrodes de diamètre 0,1 mm chacune, isolées de la haute tension négative qui est appliquée directement à la cathode cylindrique. Les électrodes en acier inoxydable sont reliées par leurs extrémités libres à deux préamplificateurs miniaturisés situés directement

sur le compteur. Ainsi, les deux moitiés du compteur sont indépendantes, ce qui permet, en cas de fonctionnement imparfait, d'analyser les signaux séparément et de mieux localiser le défaut. En outre, les deux moitiés du compteur n'étant pas rigoureusement symétriques géométriquement et en regard de l'écoulement du gaz, on peut ajuster le gain sur chacune des deux voies avant de procéder à la sommation de leurs signaux à l'aide d'un amplificateur, de manière à obtenir la meilleure résolution possible pour le spectre résultant.

La pression dans le compteur équipé d'une réserve de gaz est réglée par un système qui la compare à une pression de référence choisie auparavant et actionne une contre-réaction pour rétablir l'équilibre chaque fois que ce dernier est rompu. Le compteur travaillant sous circulation de gaz permanente, un déclenchement du dispositif a lieu toutes les 5 à 10 s environ en régime d'équilibre, assurant une régulation de la pression à mieux que  $10^{-3}$ . Cela semble suffisant pour toutes les mesures effectuées jusqu'à présent puisqu'aucun effet décelable sur la résolution ou la position des raies du spectre n'a pu être observé.

#### *Application du nouveau compteur à la mesure d'activité du $^{109}\text{Cd}$*

Ce radionucléide se transforme en  $^{109}\text{Ag}^m$  par capture électronique. Tous les noyaux ainsi produits se trouvent d'abord à un niveau d'énergie métastable de 88 keV au-dessus du niveau fondamental qu'ils regagnent, avec une période de 40 s, en émettant des photons  $\gamma$  ou, avec une probabilité 26 fois plus grande, des électrons de conversion. L'émission

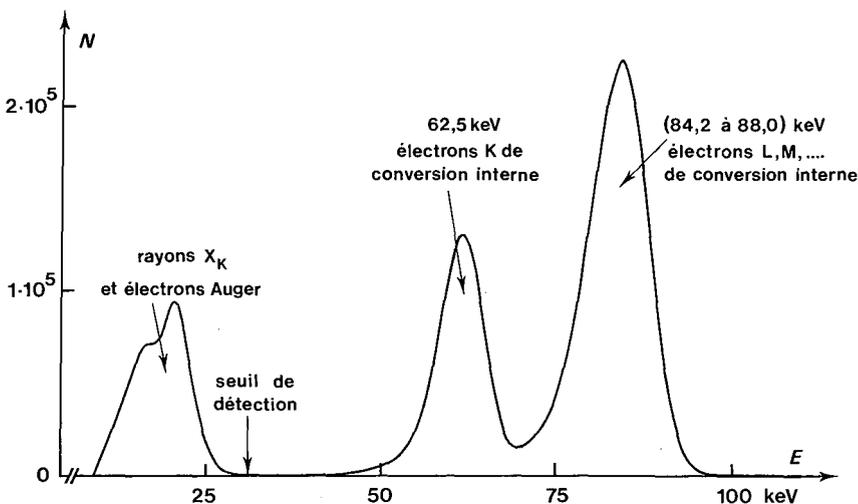


Fig. 20. — Spectre obtenu avec la source de  $^{109}\text{Cd}$  N° 86050711 de masse 45,8 mg et un facteur de dilution de 34,17, à l'aide du compteur proportionnel à pression.

$N$  est le nombre d'impulsions enregistrées par canal et  $E$  l'énergie des particules détectées.

de ces électrons est suivie de l'émission de photons X ou d'électrons Auger provenant du réarrangement des couches électroniques des atomes d'argent.

La mesure par coïncidences de l'activité du  $^{109}\text{Ag}^m$  ne serait pas possible avec l'équipement du BIPM. En revanche, l'énergie des électrons de conversion est suffisamment élevée pour nous permettre de mesurer leur taux d'émission à l'aide du compteur proportionnel récemment construit. La pression du gaz (mélange d'argon et de méthane dans la proportion de 9 à 1) a été choisie de sorte que tous les électrons soient arrêtés dans le gaz. Les spectres ainsi obtenus permettent de compter les électrons de conversion qui sont séparés complètement des électrons Auger (fig. 20).

#### *Participation à la comparaison internationale du $^{109}\text{Cd}$*

Fort du fonctionnement satisfaisant du compteur lors de tous les contrôles préliminaires, on a procédé à la mesure de l'activité massique de la solution distribuée pour la comparaison internationale en cours. Deux séries de sources ont été préparées en déposant des gouttes dont la masse était comprise entre 15 et 79 mg, sur des supports de VYNS dorés. Quatre de ces sources furent prélevées directement dans la solution reçue et 28 autres après dilution (facteur d'environ 34). Elles ont toutes été mesurées sous une pression  $p = 1,1 \text{ MPa}$  et une haute tension  $U = 6\,680 \text{ V}$ . Un temps mort de  $15 \mu\text{s}$  a été introduit dans le système de mesure pour réduire la correction de pertes dues aux empilements. Le seuil de détection a été fixé à  $31 \text{ keV}$  et la résolution était de l'ordre de  $9 \text{ keV}$ . Un exemple de spectre obtenu est présenté

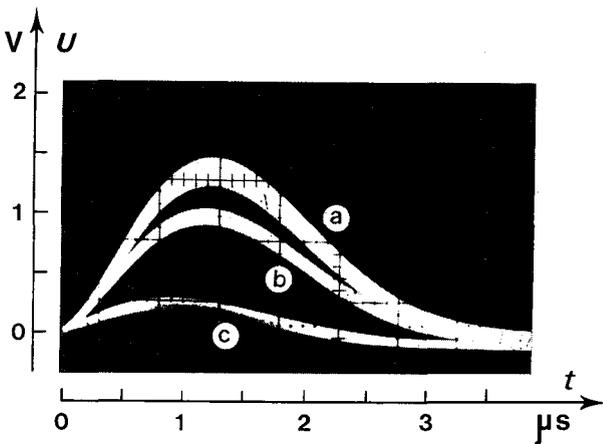


Fig. 21. — Exemple de signaux obtenus en sortie de l'amplificateur lors de la mesure du  $^{109}\text{Cd}$ .

Le signal a) provient des électrons de conversion interne L, M, ... ; le signal b) provient des électrons de conversion interne K. Quant à c), il est délivré par les rayons  $X_K$ .

sur la figure 20. La figure 21 montre les signaux à la sortie de l'amplificateur. Les sources ont été mesurées de sorte que l'incertitude aléatoire relative  $1/\sqrt{N}$  sur les résultats soit de l'ordre de  $10^{-4}$  pour des séries de comptage de 500 s. Les données expérimentales sont à l'heure actuelle en cours de traitement.

Pour obtenir l'activité du  $^{109}\text{Cd}$  à partir du taux d'émission des électrons de conversion, il faut lui ajouter celui des photons  $\gamma$  non convertis qui représentent environ 3,5 % de toutes les désintégrations. Cela pourrait se faire en multipliant le taux d'émission des électrons par  $\left(1 + \frac{1}{\alpha_i}\right)$ , où  $\alpha_i$  est le coefficient total de conversion interne. Afin de vérifier la valeur de ce paramètre, le taux d'émission des rayons  $\gamma$  a été mesuré à l'aide d'un spectromètre à germanium compensé au lithium dont l'efficacité en fonction de l'énergie était déterminée au moyen d'échantillons prélevés sur plusieurs solutions étalonnées ( $^{57}\text{Co}$ ,  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{203}\text{Hg}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ).

#### *Système international de référence pour la mesure d'activité d'émetteurs de rayons $\gamma$ (SIR)*

Ce système, fondé sur une chambre d'ionisation et une source de référence stables, relie entre elles les mesures d'activité d'émetteurs de photons effectuées dans les laboratoires nationaux. Il représente un moyen hautement apprécié de contrôle de qualité permanent. Pour qu'il puisse remplir cette fonction, il est important de surveiller étroitement la stabilité de l'équipement et de l'ensemble des sources de radium qui servent de références. Ces contrôles sont effectués tous les mois.

La participation varie d'une année à l'autre ; cette fois-ci, deux laboratoires nationaux se sont inscrits pour la première fois. La liste des radionucléides mesurés se rallongera de trois, si les promesses peuvent être tenues :  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{228}\text{Th}$ .

Pendant les neuf premiers mois de l'année en cours, neuf laboratoires ont envoyé vingt ampoules contenant des solutions de douze radionucléides différents, ce qui représente une croissance normale et confirme la confiance exprimée par les laboratoires nationaux dans l'utilité du système.

#### *Guide pour l'équipement et la mise en opération d'un laboratoire de mesure de la radioactivité*

Le manuscrit du manuel intitulé « Measurement of radioactivity : principles and methods », préparé par W.B. Mann, A. Spornol et A. Rytz (Rapport 1985, p. 102) est terminé et a été soumis à la Section de dosimétrie de l'AIEA qui le transmettra au département des publications. Les sept chapitres comportent une centaine de figures et 23 tableaux. La bibliographie comprend 400 références avec titres et l'ouvrage imprimé comptera environ 300 pages.

## 12.2. — Statistiques de comptage (J.W. Müller)

Un des développements sans doute les plus prometteurs de ces dernières années, dans notre domaine, concerne le réveil d'une idée qui a somnolé pendant trois décennies, celle d'un temps mort généralisé. Pendant trop longtemps, ce dernier fut pris pour une simple curiosité permettant d'établir un lien théorique entre les deux types traditionnels de temps mort, mais rien de plus ; de récentes études ont mieux révélé le potentiel pratique du concept. Sa mise en évidence expérimentale a nécessité la construction d'un appareil électronique susceptible d'imposer à une série d'impulsions ce nouveau type de temps mort.

Dans la première partie, on étudie un aspect particulier, mais critique, de la réalisation faite au BIPM, tandis que la deuxième partie décrit brièvement une application pratique de ce nouveau temps mort généralisé.

### *Indépendance de choix consécutifs du type de temps mort*

Le modèle théorique suppose que l'on associe à toute impulsion soit un temps mort de type étendu (E), avec probabilité  $P(E) = \theta$ , soit un temps mort de type non étendu (N), avec probabilité  $P(N) = 1 - \theta$ , les choix étant strictement indépendants les uns des autres. Dans notre réalisation, cependant, le choix n'est pas vraiment aléatoire, mais déterminé par l'état d'un signal périodique binaire (de fréquence  $\nu = 1/T$ ), comme le montre la figure 22. Considérons le cas spécifique où le type N a été précédé du type E. Pour une première impulsion (à l'endroit  $z_0$ ) dans la zone E, et des impulsions à taux de comptage  $\rho$  suivant la loi de Poisson, la probabilité pour la prochaine impulsion de produire un temps mort de type N s'évalue par (avec  $r = \rho T$ )

$$P(N|E) = \frac{(e^{-r\theta} - e^{-r}) (e^{r\theta} - 1)}{r\theta(1 - e^{-r})}$$

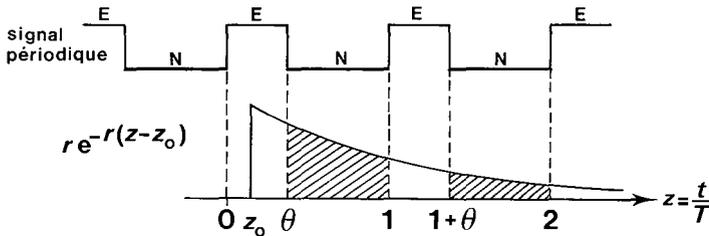


Fig. 22. — Relation temporelle entre les deux états (E et N) d'un signal périodique et l'arrivée de deux impulsions successives où la première (à  $z_0$ ) « tombe » dans une zone E et la seconde dans une des zones N (hachurées).

Par un développement en série on peut aussi arriver à la relation

$$P(N|E) = (1 - \theta) [1 - \Delta(\theta)],$$

où

$$\Delta(\theta) \approx \frac{1}{12} (\rho T)^2 \theta(1 - \theta).$$

Des expressions analogues pour  $P(N|N)$ , etc., s'obtiennent aisément en tirant profit de quelques propriétés de symétrie.

La quantité  $\Delta(\theta)$ , qui atteint son maximum pour  $\theta = \frac{1}{2}$ , désigne donc l'écart relatif par rapport au cas idéal  $P(N) = 1 - \theta$  que notre réalisation simpliste permet d'obtenir pour la situation où N est précédé par E.

Ainsi, pour  $\rho T = 0,2$ , valeur qui correspond aux applications pratiques, on a donc toujours  $\Delta(\theta) < 10^{-3}$ , ce qui est suffisamment petit.

Une description plus détaillée est donnée dans le Rapport BIPM-86/7.

### *Temps morts équivalents*

Dans les applications, on a probablement plus souvent affaire à deux temps morts, arrangés en série, qu'à un seul. Si ces arrangements sont bien connus sur le plan théorique, ils restent néanmoins difficiles à traiter. Pour le cas où il serait possible de remplacer un tel arrangement par un seul temps mort, bien que de type généralisé, on pourrait sans doute s'attendre à une simplification notable.

Dans ce but, considérons un dispositif comme celui qui est représenté schématiquement à la figure 23, avec  $0 < \alpha < 1$  et un processus de Poisson (à taux  $\rho$ ) à l'entrée.

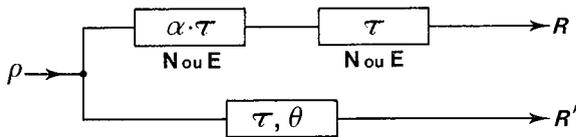


Fig. 23. — Comparaison d'un temps mort généralisé avec un arrangement de deux temps morts (de types conventionnels).

Le dispositif  $(\tau, \theta)$  est dit équivalent à l'arrangement en série si les taux de comptage  $R$  et  $R'$  à la sortie sont identiques.

Il est possible de montrer que, pour tout arrangement  $(\alpha\tau, \tau)$  de deux temps morts, il existe une valeur du paramètre  $\theta$  pour laquelle les taux  $R$  et  $R'$  à la sortie sont les mêmes.

Pour le moment, une étude exhaustive n'a été faite que pour les deux arrangements « E-N » et « N-E » des types impliqués (Rapport BIPM-86/2). Le paramètre recherché peut être exprimé par une série de puissances de  $x = \rho\tau$ . Si l'on se contente du troisième ordre en  $x$ , le résultat est

— pour un arrangement de types « E-N » :

$$\theta = \alpha^2 + \frac{1}{3} \alpha^3 (1 - \alpha) x + \frac{1}{36} \alpha^4 (1 - \alpha) (3 - 5\alpha) x^2 + \frac{1}{540} \alpha^5 (1 - \alpha) (9 - 41\alpha + 34\alpha^2) x^3,$$

— pour un arrangement de types « N-E » :

$$\theta = 1 - \alpha^2 - \frac{1}{3} \alpha^2 (1 - \alpha)^2 x - \frac{1}{36} \alpha^2 (1 - \alpha)^3 (1 - 5\alpha) x^2 + \frac{1}{540} \alpha^2 (1 - \alpha)^4 (1 + 14\alpha - 34\alpha^2) x^3.$$

Par des mesures faites avec l'aide de C.E. de Almeida (de l'Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Rio de Janeiro), le cas du premier arrangement « E-N » a été étudié soigneusement. Les résultats obtenus sont en très bon accord avec les prévisions. Ils ont montré non seulement que la simple approximation  $\theta = \alpha^2$  serait insuffisante, mais aussi qu'une perturbation du processus de Poisson (par un temps mort  $\tau_0$ ), même si elle semble mineure, peut avoir une influence notable sur la mesure de  $\theta$ . On évite cet effet en utilisant, pour le premier élément de la chaîne, seulement des valeurs  $\alpha\tau$  qui dépassent nettement  $\tau_0$ . Pour une valeur donnée de  $x$ , le taux de comptage de la source doit donc rester suffisamment bas. L'ensemble de ces premières mesures d'un temps mort équivalent est décrit dans le Rapport BIPM-86/6.

#### *Autres travaux*

Une nouvelle version, appelée « aveugle », de la méthode d'échantillonnage sélectif a été réalisée ; tout en offrant les mêmes avantages que l'approche originelle, elle est beaucoup plus simple à utiliser car elle ne fait plus appel à un convertisseur de vitesse. On envisage de déposer un brevet pour l'appareil correspondant.

Un nouveau regard sur les problèmes concernant l'arrangement de deux temps morts en série a permis de proposer une méthode simplifiée pour déterminer le taux de comptage originel (BIPM WPN-229).

Enfin, il est à noter que l'on est arrivé à une bien meilleure compréhension du problème général qui consiste à attribuer des poids statistiques à des résultats de mesure qui sont corrélés. Une description de cette approche est prévue.

### 12.3. — Spectrométrie alpha (A. Rytz)

Les mesures d'énergie de particules  $\alpha$  permettent de calculer des différences de masses atomiques entre les nucléides concernés. L'intérêt pour la systématique est illustré par le fait que près de 60 % des valeurs de masses atomiques pour des nombres de masse supérieurs à 200 reposent plus ou moins directement sur des mesures d'énergies de particules  $\alpha$  de haute exactitude. Il est donc souhaitable d'étendre ces mesures à des émetteurs moins courants, même s'ils sont peu utiles comme références spectrométriques.

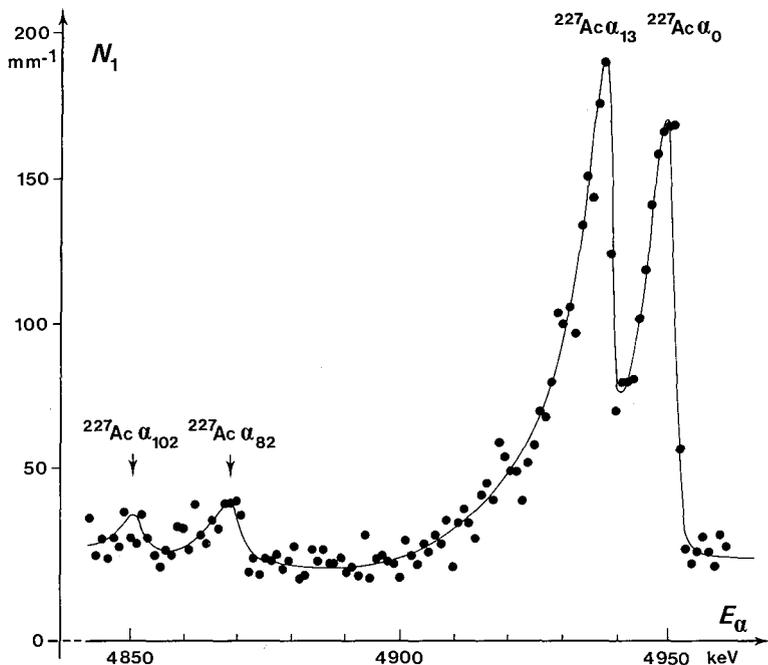


Fig. 24. — Spectre de l'actinium : nombre linéique  $N_1$  de particules  $\alpha$  en fonction de l'énergie  $E_\alpha$ .

Ici,  $\alpha_x$  désigne la raie des particules émises par des noyaux de  $^{227}\text{Ac}$  laissant les noyaux résultants à un niveau d'excitation de  $x$  keV.

*Mesure absolue de l'énergie de particules alpha émises par le  $^{227}\text{Ac}$*

Deux sources relativement fortes de  $^{227}\text{Ac}$ , préparées par R.A.P. Wiltshire (AERE, Harwell), ont permis de poursuivre les mesures d'énergie par spectrométrie magnétique. Ce n'est qu'avec une source fraîche et intense de  $^{227}\text{Ac}$  que l'on peut espérer obtenir de bons résultats, car la faible proportion de l'émission de particules  $\alpha$  par désintégration ainsi que l'évolution rapide et la diffusion du  $^{219}\text{Rn}$  rendent illusoire une utilisation prolongée des sources.

L'expérience a débuté dès l'arrivée des sources ; chacune a été utilisée deux fois, mais seules les deux premières poses ont donné des spectres exploitables (fig. 24). Les deux valeurs d'énergie obtenues sont en excellent accord avec les deux mesures antérieures qui paraissent être les seules publiées. Cependant, les incertitudes de nos résultats pour  $\alpha_0$  et  $\alpha_{13}$  sont respectivement 14 et 3 fois plus faibles.

Un projet d'article décrivant ces mesures ainsi que celles sur le  $^{252}\text{Cf}$  (Rapport 1985, p. 108) sera soumis pour publication à *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*.

**13. Mesures neutroniques (V.D. Huynh)**

**13.1. — Comparaison de mesures de débit de fluence de neutrons à 2,50 MeV**

Sur la demande de l'Institute of Atomic Energy, Beijing (IAEB), une comparaison bilatérale de mesures de débit de fluence de neutrons à 2,50 MeV a eu lieu au BIPM en octobre 1985.

L'IAEB a utilisé un télescope à protons de recul (fig. 25), tandis que le BIPM utilise la méthode de la particule associée. La figure 26 donne un schéma synoptique des dispositifs expérimentaux lors de la comparaison. Les résultats de cette comparaison montrent un écart de 0,6 % entre les deux laboratoires : l'accord est donc satisfaisant.

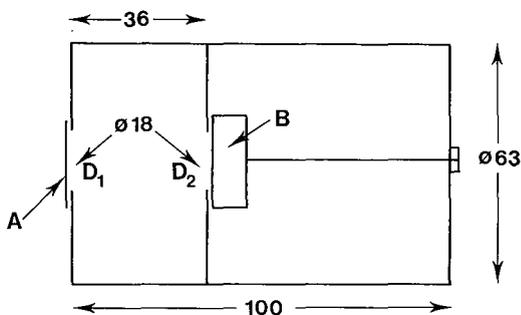


Fig. 25. — Télescope à protons de recul de l'IAEB.

A, radiateur  $\text{CH}_2$  ( $3,883 \text{ mg.cm}^{-2}$ ) avec diaphragme  $D_1$  ;

B, semi-conducteur à barrière de surface au silicium avec diaphragme  $D_2$ .

Toutes les dimensions sont en mm.

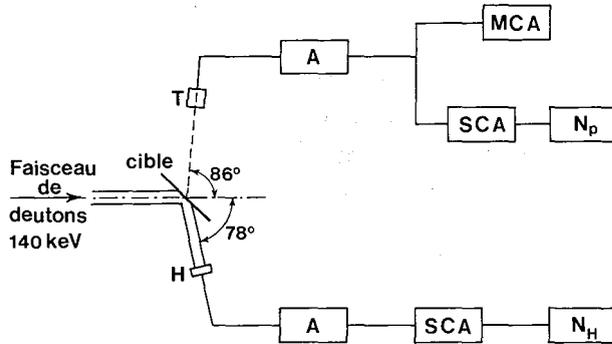


Fig. 26. — Schéma synoptique des dispositifs expérimentaux.

T, télescope à protons de recul ; H, semi-conducteur à barrière de surface au silicium ; A, amplificateur ; SCA, discriminateur d'amplitude ; MCA, sélecteur d'amplitude multicanal ;  $N_p$  et  $N_H$ , échelles de comptage.

### 13.2. — Comparaison internationale de mesures de débit de kerma

La comparaison internationale de mesures de débit de kerma, organisée par le BIPM avec circulation des instruments de transfert qu'il a étudiés et sélectionnés, a débuté en octobre 1985. Rappelons que ces instruments de transfert comprennent : deux chambres d'ionisation à paroi équivalente au tissu (Exradin, type T2), une chambre d'ionisation à paroi de magnésium (Exradin, type MG2) et un compteur Geiger-Müller (type ZP1311). Cinq laboratoires (BIPM, TNO, NPL, PTB et ETL) sur un total de dix ont déjà effectué les mesures de comparaison. La stabilité de ces instruments de transfert a été contrôlée au BIPM avant et après chaque mesure de comparaison, dans le faisceau de rayonnement  $\gamma$  du  $^{60}\text{Co}$ , par le groupe de mesures de rayons X et  $\gamma$ . Les variations observées sur les facteurs d'étalonnage de ces instruments sont résumées dans le tableau IV.

TABLEAU IV

*Stabilité à long terme des instruments de transfert utilisés dans la comparaison de mesures de kerma*

Le tableau donne le facteur d'étalonnage normalisé.

		Juillet 1985	Nov. 1985	Janv. 1986	Avril 1986
Chambre T2	N° 199	1	1,0010	1,0011	1,0026
	N° 266	1	1,0021	1,0016	1,0051
Chambre MG2	N° 139	1	1,0052	1,0007	1,0012
	N° 3	1	1,0033	1,0136	1,0147

### 13.3. — Étude des sphères de Bonner

Conformément à la recommandation de la Section III du CCEMRI lors de sa 7<sup>e</sup> réunion en mai 1985 et sous la coordination du NPL, une petite comparaison de mesures de débit de fluence de neutrons entre le BIPM, la PTB et le NPL est en cours, en utilisant comme instruments de transfert deux sphères de Bonner de diamètres différents (8,89 cm et 24,13 cm). Un même compteur sphérique à  $^3\text{He}$  (Centronic, type SP90, diamètre 3,62 cm) est placé au centre de ces sphères. L'étude de la fiabilité de ce type de détecteur comme instrument de transfert est le but principal de cette comparaison. Notons que les deux sphères en polyéthylène ont été fournies par le NPL et que le compteur à  $^3\text{He}$  est fourni par le BIPM.

Nous donnons ici quelques grandes lignes du principe de cette étude. Rappelons que le taux de comptage du détecteur (sphère de Bonner) à une distance  $D_0$  de la source de neutrons,  $C(D_0)$ , est donné par l'expression suivante :

$$C(D_0) = \Phi_\Omega \frac{1}{D_0^2} \varepsilon F_1(D_0) F_2(D_0),$$

où  $\Phi_\Omega$  est le nombre de neutrons émis par la source, par unité d'angle solide et par unité de temps,  
 $\varepsilon$  est l'efficacité du détecteur (quotient du taux de comptage par le débit de fluence),

$D_0$  est la distance entre le centre de la sphère (rayon  $R$ ) et la cible,  
 $F_1(D_0)$  et  $F_2(D_0)$  sont les facteurs de correction appliqués pour tenir compte de l'effet de géométrie dû aux dimensions importantes du détecteur et pour les neutrons diffusés.

Le but des mesures est de déterminer  $\varepsilon$ , mais les facteurs  $F_1(D_0)$  et  $F_2(D_0)$  sont également à déterminer.

On remarque que, pour de grandes distances ( $D_0 - R > 1$  m), la contribution de neutrons diffusés est importante, mais l'effet de géométrie est faible,  $F_1(D_0) \approx 1$ . Par contre, pour des distances courtes, ( $D_0 - R < 4 R$ ), la contribution de neutrons diffusés est très faible,  $F_2(D_0) \approx 1$  : c'est l'effet de géométrie qui est important. Ainsi, en combinant les mesures faites à de petites et de grandes distances, on peut déterminer  $F_1$ ,  $F_2$  et  $\varepsilon$ .

D'autre part, si l'expérience montre que la valeur de  $\varepsilon$  obtenue par les mesures faites à de petites distances est identique à celle qui est obtenue par les mesures faites à de grandes distances, il serait très intéressant d'utiliser ce type de détecteur dans une comparaison internationale de mesures de débit de fluence, car seules les mesures faites à de petites distances (avec faible contribution de neutrons diffusés) sont nécessaires et elles peuvent être faites dans un laps de temps très court (quelques heures).

Jusqu'à ce jour, seul le BIPM a effectué les mesures ; elles ont été faites avec des neutrons de 2,50 MeV et de 14,61 MeV. Pour les mesures faites à de grandes distances (1 à 3 m), nous avons en outre mesuré l'efficacité  $\varepsilon$  des deux sphères par la méthode utilisant un cône d'ombre pour déterminer la contribution des neutrons diffusés. Enfin, signalons que l'utilisation de deux sphères de diamètres différents permet d'avoir une idée de l'énergie moyenne des neutrons utilisée.

Trois programmes d'exploitation sur IBM-PC ont été écrits pour analyser les résultats de nos mesures (petites distances, grandes distances et cône d'ombre) et un quatrième programme, écrit par M. Boutillon, permet d'analyser l'ensemble des mesures faites pour toutes les distances. Afin de conserver l'aspect « aveugle » de la comparaison, nous ne donnons pas ici les résultats de nos mesures. Néanmoins, il semblerait que nous puissions conclure que ce type d'instrument de transfert ne serait pas très adéquat pour les conditions expérimentales de notre laboratoire, car la contribution de neutrons diffusés est déjà assez importante, même pour les distances courtes, et la loi qui permet de déterminer cette contribution en fonction de la distance (fonction  $F_2$ ) est très complexe.

#### 14. Publications

##### *Publications du BIPM*

Depuis octobre 1985 ont été publiés :

*Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde*, 10<sup>e</sup> session (1985), 72 pages.

*Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées*, 2<sup>e</sup> session (1985), 75 pages.

*Procès-verbaux des séances du Comité International des Poids et Mesures*, tome 53 (74<sup>e</sup> session, octobre 1985), 236 pages.

*Rapport annuel du Bureau International de l'Heure pour 1985* (60 pages environ pour la contribution du BIPM sur les échelles de temps).

##### *Metrologia* (R.P. Hudson)

Plusieurs problèmes de production apparaissent maintenant à cause d'une augmentation importante du nombre de manuscrits soumis dans la deuxième partie de l'année 1985, de l'affectation du N° 2 (1986) aux comptes rendus d'une conférence métrologique à la PTB en octobre 1985 et du nombre fixe des pages disponibles pour un volume de la revue. En faisant l'hypothèse que ladite augmentation était essentiellement anormale, on a décidé de publier un volume supplémentaire en 1986-1987, en doublant le prix de l'abonnement pour l'année 1987.

*Publications extérieures*

GIACOMO, P. Nouvelles du BIPM. *Bulletin BNM*, N° 65, juillet 1986, pp. 9-16.

GIACOMO, P. News from the BIPM. *Metrologia*, **22**, 1986, pp. 289-296.

GIACOMO, P. Les définitions successives du mètre, aperçu historique (à paraître dans *Bulletin BNM*).

QUINN, T.J. New techniques in the manufacture of platinum iridium mass standards. *Platinum Metals Review*, **30**, 1986, pp. 74-79

SPEAKE, C.C. and QUINN, T.J. Beam balance test of weak equivalence principle. *Nature*, **321**, 1986, pp. 567-568.

CARRÉ, P., METHERELL, A.J.F. and QUINN, T.J. Apropos of : « The gravitational field of a 111 tetrahedron ». *Metrologia*, **23**, 1986/1987, pp. 119-120.

QUINN, T.J. and MARTIN, J.E. A black-body cavity for total radiation thermometry. *Metrologia*, **23**, 1986/1987, pp. 111-114.

QUINN, T.J. The International Practical Temperature Scale of 1968, prospects for the future temperature measurement. In Proceedings of International Symposium on Temperature Measurement in Industry and Science, 1986, Beijing (China Academic Publishers), pp. 3-8.

RYTZ, A., WILTSHIRE, R.A.P. and KING, M. Absolute measurement of the energies of alpha-particles emitted by sources of  $^{252}\text{Cf}$  and  $^{227}\text{Ac}$  (soumis pour publication dans *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*).

CARRÉ, P. and DAVIS, R. Note on weighings carried out in the

WITT, T.J., ENDO, T. and REYMANN, D. The realization of the quantum-Hall standard of resistance at the BIPM. CPEM 86 Digest, pp. 60-63.

CHARTIER, J.-M., HALL, J.L. and GLÄSER, M. Identification of the  $\text{I}_2$  saturated absorption lines excited at 543 nm with the external beam of the green He-Ne laser. CPEM 86 Digest, pp. 323-324.

GLÄSER, M. An improved He-Ne laser at  $\lambda = 612$  nm, stabilized by means of an external absorption cell. *Metrologia*, **23**, 1986/1987, pp. 45-53.

GLÄSER, M. Properties of a He-Ne laser at  $\lambda = 612$  nm, stabilized by means of an external iodine absorption cell. CPEM 86 Digest, pp. 247-248.

FELDER, R. He-Ne laser stabilized by saturated absorption of methane : new effects leading to frequency shifts. *Metrologia*, **23**, 1986/1987, pp. 101-109.

FELDER, R. Experimental observations of new frequency shifts of a He-Ne laser stabilized by saturated absorption of methane in an internal cell ( $\lambda \approx 3,39 \mu\text{m}$ ). CPEM 86 Digest, pp. 338-339.

GRANVEAUD, M., RAMAMISON, N., AZOUBIB, J. et PARCELIER, P. Le Global Positioning System (GPS) à l'Observatoire de Paris et la Métrologie. *Annales Françaises de Microtechniques et de Chronométrie*, **38**, 1984.

GUINOT, B. La mesure du temps, du temps astronomique à l'horloge atomique. *Revue du Palais de la Découverte*, **14**, N° 134, 1986, pp. 23-32.

GUINOT, B. Les fondements de la mesure du temps et des fréquences. *Bulletin BNM*, N° 63-64, 1986, pp. 7-11.

GUINOT, B. Importance des mesures de temps et de fréquence pour l'astronomie. *Bulletin BNM*, N° 63-64, 1986, pp. 87-89.

CAPITAINE, N., GUINOT, B. et SOUCHAY, J. On the use of natural references. *In Highlights of Astronomy*, Reidel, 1986, pp. 97-100.

GUINOT, B. Concepts of reference systems. *In Astrometric techniques*, H.K. EICHHORN and R.J. LEACOCK eds., 1986, pp. 1-12.

GUINOT, B. Is the International Atomic Time TAI a coordinate time or a proper time? *Celestial Mechanics*, **38**, 1986, pp. 155-161.

YOSHIHIRO, K., KINOSHITA, J., INAGAKI, K., YAMANOUCHI, C., ENDO, T., MURAYAMA, Y., KOYANAGI, M., YAGI, A., WAKABAYASHI, J. and KAWAJI, S. Quantum Hall effect in silicon metal-oxide-semiconductor inversion layers : experimental conditions for the determination of  $h/e^2$ . *Phys. Rev. B*, **33**, 1986, pp. 6874-6896.

BOUTILLON, M. and PERROCHE-ROUX, A.-M. Re-evaluation of the  $W$  value for electrons in dry air (accepté pour publication dans *Physics in Medicine and Biology*).

### Rapports

SZÖRENYI, Á. Report on a trial comparison of activity measurements of a solution of  $^{109}\text{Cd}$ . Rapport BIPM-85/10, octobre 1985, 15 pages.

RYTZ, A. International comparison of activity measurements of a solution of  $^{133}\text{Ba}$  (March 1984). Rapport BIPM-85/11, novembre 1985, 35 pages.

GIRARD, G. Redetermination of water density. Rapport BIPM-85/12, août 1985, 16 pages.

MÜLLER, J.W. Statistiques de comptage. Rapport BIPM-85/13, octobre 1985, 5 pages.

MÜLLER, J.W. Blind selective sampling. Rapport BIPM-85/14, novembre 1985, 5 pages.

MÜLLER, J.W. À propos de deux temps morts en série. BIPM WPN-229, janvier 1986, 5 pages.

MÜLLER, J.W. Notion de temps mort équivalent. BIPM WPN-230, février 1986, 3 pages.

LEGRAS, J.C., KEPRT, A., LEWISCH, R., MOLINAR, G.F., RYDSTROM, L. et ULRICH, J.-G. Comparaison internationale dans le domaine de pression 20 à 100 MPa (2<sup>e</sup> phase) organisée par le Groupe de travail « Hautes pressions » du CCM. Rapport BIPM-86/1, 11 pages.

MÜLLER, J.W. Equivalent dead times (Some calculations, Part I). Rapport BIPM-86/2, mars 1986, 8 pages.

LEGRAS, J.C., BOROVKOV, V.M., KURASE, K., MOBIUS, MOLINAR, G.F. and YI-TANG, S. International comparison in the pressure range 20-100 MPa (third phase) organized by the High pressure working group of the CCM. Rapport BIPM-86/3, 10 pages.

GIACOMO, P. Sur les lasers à configuration optimale. Rapport BIPM-86/4, avril 1986, 8 pages.

CARRÉ, P. Note sur une méthode d'itération. Rapport BIPM-86/5, février 1985-avril 1986, 6 pages.

MÜLLER, J.W. Remarque sur la simulation d'un temps mort généralisé. BIPM WPN-231, mai 1986, 2 pages.

DE ALMEIDA, C.E. and MÜLLER, J.W. Some measurements of equivalent dead times. Rapport BIPM-86/6, avril 1986, 12 pages.

MÜLLER, J.W. How well can we realize a generalized dead time? Part I: For an unperturbed Poisson process. Rapport BIPM-86/7, mai 1986, 8 pages.

MÜLLER, J.W. Generalized normalizing transformation for a distorted Poisson distribution. Rapport BIPM-86/8, juillet 1986, 7 pages.

CARRÉ, P. Champ de gravitation d'un tétraèdre régulier en l'un de ses sommets. Rapport BIPM-86/9, septembre 1986, 4 pages.

GLÄSER, M. Proposal for a large scale laser spectrometer. Rapport BIPM-86/10, septembre 1986, 12 pages.

RYTZ, A. Complementary information concerning the International Reference System (SIR). Rapport BIPM-86/11, juillet 1986, 3 pages.

MÜLLER, J.W. Ruminations on uncertainties — questions and answers. Exposé présenté à INSYMET-86, Bratislava, septembre 1986, 11 pages.

CHARTIER, J.-M. and WINTERS, M. Design of an iodine stabilized He-Ne laser at 633 nm. Rapport interne du Joint Institute Laboratory for Astrophysics, Boulder, É.-U. d'Amérique.

## 15. Certificats et Notes d'étude

Du 1<sup>er</sup> octobre 1985 au 30 septembre 1986, 32 Certificats et 1 Note d'étude ont été délivrés.

### CERTIFICATS

1985

N°

- |  |  |
|--|--|
| 48. Règle de 1 mètre, N° 871, en acier inoxydable .....  | Bureau fédéral des mesures et métaux précieux, Belgrade, Yougoslavie.                          |
| 49. Règle de 1 mètre, N° 4795, en acier au nickel (addition) .....                                 | Comité polonais de normalisation, des mesures et de contrôle de la qualité, Varsovie, Pologne. |
| 50. Etalon prototype du kilogramme, N° 57, en platine iridié (addition) .....                      | Inde.  |
| 51. Deux étalons secondaires d'intensité lumineuse (2853 K), N°s 13 AMG et 14 AMG (addition) ..... | Office fédéral de métrologie, Wabern, Suisse.  |

1986

- |  |  |
|--|--|
| 1. Quatre fils géodésiques de 24 m en invar N°s 857, 858, 859 et 860 (addition) .....                | Bureau fédéral des mesures et métaux précieux, Belgrade, Yougoslavie.                          |
| 2. Cinq fils géodésiques en invar N°s 676, 679, 680, 684 de 24 m et 591 de 8 m (addition) .....      | Id.  |
| 3. Cinq fils géodésiques en invar N°s S 50, S 51, S 52, S 53 de 24 m et S 49 de 8 m (addition) ..... | Id.  |
| 4. Etalon prototype du kilogramme, N° 45, en platine iridié (addition) .....                         | République argentine.  |
| 5. Deux étalons de masse de 1 kg, en baros (addition) .....  | Instituto Nacional de Tecnologia Industrial, Buenos-Aires, République argentine.               |
| 6. Etalon prototype du kilogramme, N° 52, en platine iridié (addition) .....                         | République fédérale d'Allemagne.   |
| 7. Etalon de masse de 1 kg, M, en acier inoxydable .....   | Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Rép. féd. d'Allemagne.                    |
| 8. Etalon prototype du kilogramme, N° 50, en platine iridié (addition) .....                         | Canada.  |
| 9. Règle de 0,2 mètre, N° 789, en acier .....  | Comité polonais de normalisation, des mesures et de contrôle de la qualité, Varsovie, Pologne. |
| 10. Etalon de masse de 1 kg, en acier inoxydable .....   | Office fédéral de métrologie, Wabern, Suisse.  |

1986 (suite)

N°		
11.	Étalon de résistance de 1 $\Omega$ , N° 40731 (addition) .....	Comité polonais de normalisation, des mesures et de contrôle de la qualité, Varsovie, Pologne.
12.	Étalon de résistance de 1 $\Omega$ , N° 41394 (addition) .....	Id.
13.	Étalon de résistance de 1 $\Omega$ , N° 075735 (addition) .....	Id.
14.	Étalon de résistance de 1 $\Omega$ , N° 074941 (addition) .....	Id.
15.	Étalon de résistance de 1 $\Omega$ , N° 017292 ...	Id.
16.	Étalon prototype du kilogramme, N° 56, en platine iridié (addition) .....	Afrique du Sud.
17.	Règle de 1 mètre, N° 15168, en invar .....	National Physical and Standards Laboratory, Islamabad, Pakistan.
18.	Quatre calibres en acier de 20, 50 et 75 mm (addition) et 5 mm .....	Service de la métrologie, Bruxelles, Belgique.
19.	Étalon de résistance de 1 $\Omega$ , N° 1624034 (addition) .....	Office fédéral de métrologie, Wabern, Suisse.
20.	Étalon de résistance de 1 $\Omega$ , N° 1844266 (addition) .....	Id.
21.	Étalon prototype du kilogramme, N° 18, en platine iridié (addition) .....	Royaume-Uni.
22.	Quatre étalons de force électromotrice N° <sup>s</sup> 1, 2, 3 et 4 .....	Bureau fédéral des mesures et métaux précieux, Belgrade, Yougoslavie.
23.	Quatre étalons de force électromotrice N° <sup>s</sup> G01038, G01039, G01040 et G01041 ....	Statens Provningsanstalt, Borås, Suède.
24.	Quatre étalons de force électromotrice N° <sup>s</sup> 40235, 40237, 40251 et 40279 (addition) .....	Det Norske Justervesen, Oslo, Norvège.
25.	Cinq étalons de force électromotrice N° <sup>s</sup> 6619, 6572, 6565, 6561 et 6559 (addition) .....	Institut de métrologie D.I. Mendeleev, Leningrad, U.R.S.S.
26.	Étalon de force électromotrice à diode de Zener, modèle Fluke 732 A, N° 3795000 .....	Bureau fédéral des mesures et métaux précieux, Belgrade, Yougoslavie.
27.	Thermomètre à résistance de platine N° 2901 .....	Service de la métrologie, Bruxelles, Belgique.
28.	Thermomètre à résistance de platine N° 1170 .....	Serviço de Metrologia, Lisbonne, Portugal.

NOTE D'ÉTUDE

1986

1. Étalon de résistance de 1  $\Omega$ , N° 183803 ... National Physical Laboratory, Israël.

#### 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 (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.

T.J. Quinn participe régulièrement aux réunions du Conseil scientifique de l'Istituto di Metrologia G. Colonnetti (IMGC), Turin.

Il participe aux travaux du Committee on Data for Science and Technology (CODATA) Task Group on Fundamental Constants, en qualité de président, et à ceux de l'Associate Committee on Standards of Physical Measurements du Conseil national de recherches du Canada.

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

G. Girard participe au Groupe de travail Symboles, unités, nomenclature de l'Association internationale des sciences physiques de l'océan et au Subcommittee on Physicochemical Measurements and Standards de l'Union internationale de chimie pure et appliquée.

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 du Conseil scientifique du Bureau national de métrologie français et du Groupe de recherches de géodésie spatiale. Il est président du Bureau des longitudes et correspondant de l'Académie des Sciences (Paris).

#### **Voyages, visites, conférences, exposés du personnel**

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

P. Giacomo et B. Guinot ont participé, du 18 au 29 novembre 1985 à New-Delhi (Inde), à l'Assemblée générale de l'Union astronomique internationale qui a approuvé le transfert au BIPM du service du TAI. Ils ont, à cette occasion, visité le National Physical Laboratory of India.

P. Giacomo, T.J. Quinn, T. Witt, J.-M. Chartier, M. Gläser, T. Endo, D. Reymann et R. Felder se sont rendus à Washington, au National Bureau of Standards, du 22 au 28 juin 1986, pour participer à la

Conference on Precision Electromagnetic Measurements (CPEM). Ils y ont présenté six contributions : « Nouvelles du BIPM » (P.G.), « La réalisation de l'étalon de résistance à l'aide de l'effet Hall quantique » (T.W., T.E. et D.R.), « Propriétés d'un laser à He-Ne à  $\lambda = 612$  nm asservi au moyen d'une cuve d'absorption externe à iode » (M.G.), « Nouveau spectromètre à ultra haute résolution et à laser à colorant utilisant un résonateur passif ultra stable » (M.G., associé à trois collègues d'autres laboratoires), « Identification des raies d'absorption saturée excitées dans le vert, à 543 nm, par un laser à He-Ne extérieur » (J.-M.C. et M.G. associés à J. Hall), « Observation expérimentale de nouveaux décalages de fréquence d'un laser à He-Ne asservi sur l'absorption saturée du méthane dans une cuve interne, à  $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$  » (R.F.).

T.J. Quinn a présidé les réunions du CODATA Task Group on Fundamental Constants, à Gaithersburg, la veille de la CPEM.

Il s'est en outre rendu :

— à Braunschweig, du 11 au 13 février 1986, où il a visité les sections de thermométrie, masses, temps, photométrie et radiométrie de la PTB ;

— à Beijing, du 14 au 16 avril 1986, où il a participé au congrès « Temperature Measurement in Industry and Science » ; il y a présenté deux contributions : « The International Temperature Scale of 1968, prospects for the future » et « A black-body cavity for total radiation thermometry » ; il a aussi visité les sections des lasers, du temps et des fréquences et de thermométrie de l'Institut national de métrologie (NIM) ;

— à Sydney, du 7 au 9 mai 1986, où il a visité le CSIRO (National Measurement Laboratory) et présenté deux conférences : « A radiometric determination of the Stefan-Boltzmann constant and thermodynamic temperatures between  $-40$  °C and  $100$  °C » et « A 1 kg mass comparator using flexure-strip suspensions » ; il a eu des discussions détaillées sur l'Échelle internationale pratique de température ;

— à Ibaraki (Tsukuba), du 12 au 14 mai 1986, où il a visité le National Research Laboratory of Metrology (NRLM) et l'Electrotechnical Laboratory (ETL) ; il a présenté deux conférences ayant les mêmes titres que celles qu'il a faites à Sydney ; il a eu des discussions détaillées sur l'Échelle internationale pratique de température ;

— à Boulder, du 16 au 18 juin 1986, où il a visité les laboratoires du National Bureau of Standards (NBS) et le Joint Institute for Laboratory Astrophysics (JILA) ;

— à Gaithersburg, du 19 au 27 juin 1986, à l'occasion de la CPEM, où il a eu des discussions détaillées sur l'Échelle internationale pratique de température ;

— à Braunschweig, du 19 au 23 juillet 1986, pour une réunion du bureau du CIPM.

A. Allisy s'est rendu :

— les 6, 7 et 13 novembre 1985, à Eastbourne<sup>++</sup> (Royaume-Uni), où il a assisté à la réunion de la Main Commission de l'International Commission on Radiological Protection (ICRP) ;

— du 11 au 15 février 1986, à Bethesda<sup>++</sup> (É.-U. d'Amérique), pour traiter de questions relatives au travail de l'ICRU. Il en a profité pour effectuer une courte visite au NBS ;

— du 12 au 15 mai 1986, à Vienne<sup>++</sup> (Autriche), où il a participé à la réunion du Comité scientifique des Secondary Standard Dosimetry Laboratories (SSDL) de l'Agence internationale de l'énergie atomique.

A. Rytz s'est rendu :

— du 15 au 17 octobre 1985, à Braunschweig<sup>++</sup>, pour participer à un « colloque » à l'occasion du départ à la retraite de Mr H.-M. Weiss et pour faire un exposé intitulé « Der exotische Kernzerfall, eine neue Art von Radioaktivität » ;

— du 3 au 9 novembre 1985, à Vienne<sup>++</sup> (Autriche), avec MM. W.B. Mann et A. Spagnol, pour compléter le manuel de l'AIEA.

J.W. Müller s'est rendu à Geel<sup>++</sup> (Belgique), sur invitation du BCMN, où il a fait, le 4 mars 1986, une conférence sur « Statement of experimental uncertainties », et le lendemain, devant un public restreint, un séminaire sur « Principles of the selective sampling method ».

Il a participé, du 2 au 5 septembre 1986, à la réunion INSYMET-86 à Bratislava (Tchécoslovaquie), où il a fait une conférence intitulée « Ruminations on uncertainties — questions and answers », dont le texte est disponible.

T. Witt a assisté :

— le 20 mars 1986, à la réunion<sup>++</sup> de spécialistes de l'effet Hall quantique de la Communauté économique européenne au NPL, Teddington ;

— du 2 au 14 juin 1986, à l'Advanced Study Institute on the Physics of Two-Dimensional Electron Gas, à Anvers, Belgique.

J. Bonhore a continué à apporter son concours aux sessions de perfectionnement organisées par le LCIE à Fontenay-aux-Roses ; il a fait un exposé sur la photométrie le 8 octobre 1985.

Du 16 au 19 avril 1986, il a participé aux réunions de l'International Symposium on Temperature Measurement in Industry and Science, à Beijing ; il a aussi visité le NIM. Il s'est ensuite rendu à Tsukuba pour visiter l'ETL et le NRLM.

A. Sakuma s'est rendu à l'Université de Louvain (Belgique)<sup>++</sup>, du 1<sup>er</sup> au 4 juin 1986 sur l'invitation de la Commission de la science et de la technologie du Conseil de l'Europe.

R.P. Hudson s'est rendu :

— à Gaithersburg (É.-U. d'Amérique), pour participer, du 7 au 11 octobre 1985, à une réunion au NBS sur la thermométrie à résistance de platine (il y a présenté des résultats récents de J. Bonhoure) et, surtout, aux réunions des Groupes de travail 3 et 4 du CCT ;

— à Londres, du 4 au 7 mars 1986, pour donner la conférence inaugurale d'une réunion du groupe « Basses températures » de l'Institute of Physics, pour visiter le NPL et pour participer à une réunion du Groupe de travail 4 du CCT ;

— à Heidelberg, le 13 mars 1986, chez Springer-Verlag, pour y discuter au sein du « Production Department » des problèmes courants en ce qui concerne *Metrologia*.

Au cours d'un voyage privé aux États-Unis, en juin 1986, il a profité de l'occasion pour assister à la CPEM au NBS et aussi pour discuter, en particulier avec Mr Soulen, du programme en cours du Groupe de travail 4 du CCT.

Il a assisté au 68. PTB-Seminar and Europhysics Study Conference : Refrigeration and Thermometry below 1 K, à Berlin, les 12 et 13 septembre 1986 et a visité la PTB, Braunschweig, le 15 septembre 1986.

V.D. Huynh s'est rendu :

— le 28 avril 1986, au NPL, pour discuter des problèmes concernant l'étude des instruments de transfert pour la mesure de débit de fluence de neutrons ;

— du 30 avril au 3 mai 1986, à Liverpool, pour assister à l'International Neutron Therapy Meeting.

G. Girard s'est rendu à New-Delhi, à l'invitation de l'Asia Pacific Metrology Programme (APMP)<sup>+</sup>, du 30 novembre au 9 décembre 1985. Il a participé au « Third Review Meeting of APMP and a Regional Workshop in Selected Fields of Metrology » où il a fait un exposé sur les mesures de masse. Il a profité de ce voyage pour rapporter le prototype national de masse de l'Inde après son étude au BIPM.

Il a été invité à présenter, le 10 mars 1986, devant le Bureau exécutif de la Commission océanographique intergouvernementale de l'UNESCO, le rapport du Groupe de travail Symboles, unités, nomenclature de l'Association internationale des sciences physiques de l'océan (AISPO) « The International System of Units (SI) in Oceanography », publié par l'UNESCO. Le Système international d'unités est déjà employé dans certaines commissions, associations et banques de données en océanographie ; il sera dorénavant officiellement le seul à être utilisé. Ce rapport avait été approuvé par le Comité scientifique de la recherche océanique (SCOR) et le Conseil international pour l'exploration de la mer (ICES) à la fin de 1985.

Il a participé, les 19 et 20 mai 1986, à Paris et au BIPM, à une réunion de travail d'un groupe réduit du « Subcommittee on Physico-

chemical Measurements and Standards» de l'Union internationale de chimie pure et appliquée (UICPA) pour la dernière mise au point d'un livre : « Recommended reference materials for the realization of physicochemical properties » qui sera publié par l'UICPA chez Blackwell's.

J.-M. Chartier a terminé, le 31 juillet 1986, son stage d'un an au JILA (Boulder, É.-U. d'Amérique).

Il s'est rendu :

— à Charlottesville<sup>+</sup>, du 27 au 29 juin 1986, à l'Université de Virginie, où il a visité les laboratoires de physique et discuté de la possibilité de recevoir des physiciens au BIPM pour des périodes comprises entre six mois et deux ans ;

— à Ottawa<sup>+</sup>, les 21 et 22 juillet, où il a visité les laboratoires du NRC et présenté un exposé sur le BIPM, son organisation, les travaux de la section des lasers depuis sa création et sur les travaux qu'il a effectués au JILA.

De septembre 1985 à juillet 1986, il a fait plusieurs visites à la firme Particle Measurement System, Boulder. Cette firme lui a prêté un laser à He-Ne à  $\lambda = 543$  nm. Il a pu discuter avec les responsables des besoins spécifiques du BIPM en ce qui concerne les tubes à décharge ; il a trouvé là des personnes très disposées à répondre à nos besoins.

M. Gläser s'est rendu :

— à la PTB (Braunschweig), du 27 janvier au 7 février 1986, pour mesurer les rapports de longueur d'onde entre un laser à  $\lambda = 612$  nm du BIPM et les lasers à  $\lambda = 633$  nm et  $\lambda = 515$  nm de la PTB avec l'interféromètre de Michelson qui autorise un déplacement de 3,80 m de l'un des miroirs ;

— à Heidelberg (Rép. Féd. d'Allemagne), du 17 au 21 mars 1986, pour participer à la conférence « Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft ».

R. Felder s'est rendu :

— à Rennes (France), le 29 octobre 1985, pour discuter avec les responsables de la Société « Le Verre Fluoré » de la construction éventuelle de cuves à méthane ;

— à Noizay (Indre-et-Loire, France), le 3 avril 1986, pour faire réaliser et rapporter trois verreries de tubes laser pour  $\lambda \approx 3,39$   $\mu$ m.

Profitant de son voyage aux États-Unis à l'occasion de la CPEM, il s'est rendu, du 30 juin au 11 juillet 1986, au JILA, Boulder, pour discuter avec les responsables de la section des lasers des expériences pouvant être envisagées au BIPM et des problèmes rencontrés sur les lasers à He-Ne asservis sur le méthane.

Il a participé aux déterminations absolues des fréquences des lasers de référence ( $\lambda = 3,39$   $\mu$ m) de l'IMPR qui se sont déroulées au LPTF (Paris), du 8 au 19 septembre 1986.

C.C. Speake, bénéficiant d'une bourse de recherche de l'Université de Virginie, a été détaché auprès de cette Université du 28 juillet au 30 août 1986. Il s'est rendu au NBS (Gaithersburg), du 21 au 25 juillet 1986, et au JILA (Boulder), du 1<sup>er</sup> au 5 septembre 1986.

W. Lewandowski s'est rendu :

— à Grasse (France), les 5 et 6 février 1986, pour participer à la 3<sup>e</sup> réunion du « LASSO experimenter and user team » ;

— à Nantes (France), le 30 avril 1986, pour visiter la Société SERCEL, qui construit des récepteurs du GPS ;

— à Ottawa (Canada), Boulder, Washington et Philadelphie (É.-U. d'Amérique), du 15 mai au 1<sup>er</sup> juin 1986, pour visiter le NRC, le NBS, l'U.S. Naval Observatory (discussions sur les échelles de temps et le GPS) et pour assister au 40th Frequency Control Symposium.

R. Pello s'est rendu à Milton Keynes (Grande-Bretagne), du 28 au 30 août 1986, pour prendre en charge et assurer le transport à Sèvres d'un pont thermométrique et de divers accessoires fabriqués par les Éts Automatic Systems Laboratories.

M.-J. Coarasa a fait un stage du 4 au 22 août 1986 au NPL, Teddington, dans les sections des masses et des pressions. À cette occasion, elle a transporté de Sèvres à Teddington l'étalon prototype du kilogramme N° 18 appartenant au Royaume-Uni.

Elle est retournée au NPL le 17 septembre 1986 pour assister à la conférence « Humidity Sensors and their Calibration ».

B. Guinot a présenté une conférence intitulée « L'évolution des idées dans la mesure du temps », le 17 février 1986, au Séminaire de philosophie et de mathématiques, Paris.

Il a donné des cours sur le temps et sur la rotation terrestre, en mars 1986, à l'Institut géographique national français.

Il a assisté au colloque de l'Académie des Sciences sur la figure de la Terre, du 29 au 31 janvier 1986 (membre du comité d'organisation) et aux « Journées du BNM » sur les mesures de temps et de fréquences, du 22 au 24 avril 1986, à Paris (président du Comité des programmes).

Il s'est aussi rendu :

— à Genève (Suisse), du 14 au 18 octobre 1985, pour participer aux réunions finales de la Commission d'études 7 du Comité consultatif international des radiocommunications ;

— à Toulouse<sup>++</sup> (France), le 17 décembre 1985, pour participer à une réunion du Conseil scientifique du Groupe de recherches spatiales ;

— à Grasse (France), les 5 et 6 février 1986, pour participer à la 3<sup>e</sup> réunion du « LASSO experimenter and user team » ;

— à Grasse<sup>++</sup> (France), les 19 et 20 février 1986, pour participer à un colloque de prospective organisé par le Groupe de recherches de géodésie spatiale.

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

— par T.J. Quinn, le 15 octobre 1985 : « Le bronze au béryllium : un solide anélastique ? » ;

— par R.P. Hudson, le 12 novembre 1985 : « Récentes avancées sur le chemin de l'EIPT-2000 » ;

— par A. Rytz, le 10 décembre 1985 : « Une nouvelle forme de radioactivité naturelle » ;

— par T. Witt, le 14 janvier 1986 : « Étalon de résistance au BIPM basé sur l'effet Hall quantique : état d'avancement et projets d'avenir » ;

— par B. Guinot, le 11 février 1986 : « Aspects peu connus de la cinématique des corps en rotation » ;

— par P. Carré, le 11 mars 1986 : « Quelques sous-programmes arithmétiques spéciaux disponibles sur IBM-PC » ;

— par D. Reymann, le 13 mai 1986 : « Problèmes rencontrés lors de la mesure de résistances à l'aide d'un comparateur cryogénique de courants » ;

— par A. Rytz, le 10 juin 1986 : « Guide du métrologue de la radioactivité » ;

— par M. Gläser, le 9 septembre 1986 : « Proposition d'un spectromètre laser pour mesurer des différences de fréquence élevées ».

### Visites et stages au BIPM

Mlle M.-T. Niatel (Institut national de la santé et de la recherche médicale (INSERM), Paris) et Mme A.-M. Perroche (Service central de protection contre les rayonnements ionisants, Paris) ont poursuivi leur participation au travail de la section des rayonnements ionisants (rayons X et  $\gamma$ , électrons). Mme M. Boutillon (INSERM) a cessé la sienne le 1<sup>er</sup> janvier 1986 ; elle consacre désormais ses activités à l'ICRU.

Mme N. Ramamison (boursière de Madagascar) a achevé la préparation d'une thèse de docteur-ingénieur sur le Global Positioning System et l'a soutenue le 13 juin 1986 à l'Institut géographique national (Saint-Mandé, France).

M. Primož Cevc (Institut d'Oncologie, Ljubljana) est venu, le 3 octobre 1985, chercher la chambre d'ionisation de son laboratoire qui avait été réétalonnée en juillet 1985 (rayons X et  $^{60}\text{Co}$ ).

MM. C. Rong et J. Zheng (IAEB, Beijing) sont venus, du 16 octobre au 12 novembre 1985, pour participer à une comparaison bilatérale de mesures de débit de fluence de neutrons à 2,5 MeV entre l'IAEB et le BIPM ; ils ont profité de ce séjour pour visiter la section des rayonnements ionisants.

Mr K. Yoshihiro (ETL, Ibaraki), a travaillé pendant trois mois à partir du 18 octobre 1985, à la section d'électricité, à la mise en fonctionnement du réfrigérateur à  $^3\text{He}$  et d'autres composants cryogéniques pour l'effet Hall quantique.

MM. A.H.L. Aalbers et E. van Dijk (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Utrecht) ont comparé, du 4 au 15 novembre 1985, l'étalon calorimétrique de dose absorbée dans le graphite de leur laboratoire à l'étalon ionométrique du BIPM.

Mr J.E. Faller (JILA, Boulder) est venu le 6 novembre 1985 et a présenté un exposé sur « Perspectives of experimental gravitational physics ». Il a visité la section des lasers.

MM. F. Bertinotto et G.B. Picotto (IMGC, Turin) ont fait un stage du 14 novembre au 4 décembre 1985, pour participer à la mesure de la longueur d'onde de deux de leurs lasers ; ils ont visité la section des lasers.

MM. H. Järvinen et P. Karhunen (Säteilyturvakeskus, Helsinki) sont venus, du 25 au 29 novembre 1985, participer à l'étalonnage de deux chambres d'ionisation de leur laboratoire. À cette occasion, ils ont visité les sections des lasers, des longueurs, des radionucléides et des neutrons. Mr K.R. Riski, du même laboratoire, a repris les chambres le 6 décembre 1985 et visité la section des masses.

Mr M. Mosca (IMGC, Turin) a fait un stage, du 25 novembre au 20 décembre 1985, à la section des masses.

Mr C.E. de Almeida, directeur de l'Institut de Radioproteção e Dosimetria, Rio de Janeiro, a commencé, le 6 décembre 1985, une année de stage à la section des rayonnements ionisants.

Mr M. Helmcke (PTB, Braunschweig) a séjourné du 16 au 19 décembre 1985 à la section des lasers. Le 19 décembre, il a présenté un exposé intitulé « An optical frequency standard based on Ramsey excitation in a calcium beam ».

Mr S.H. Aronson (Physics Department Brookhaven National Laboratory, Upton, New-York) est venu le 24 février 1986 et a fait un exposé intitulé : « Reanalysis of the Eötvös experiment ». Les bases nécessaires avaient été données par C.C. Speake le 21 février 1986 dans un bref exposé : « Qu'est-ce qu'une expérience d'Eötvös ? ».

Mr Per Grande, directeur du National Institute of Radiation Hygiene, Copenhague, a apporté pour étalonnage, le 7 avril 1986, deux chambres d'ionisation que Mr K.R. Ennow, du même laboratoire, est venu chercher le 21 août 1986.

Mr Bauder (OFMET, Suisse) a fait un stage du 15 au 18 avril 1986 dans la section d'électricité pour étudier les méthodes de comparaison de résistances.

Environ quinze étudiants en géophysique, dirigés par le Prof. J. Dubois (Orsay) ont visité, le 16 mai 1986, les sections de gravimétrie, longueurs et lasers.

Mr P. Cérez (Laboratoire de l'horloge atomique, Orsay, France) est venu le 3 juin 1986 et a fait l'exposé suivant : « L'horloge atomique à pompage optique ».

Mr P. Brun (SCPRI, Paris) est venu, le 5 juin 1986, pour étalonner des détecteurs de soufre en utilisant le faisceau de neutrons de 14,65 MeV du BIPM.

MM. H.G. Wenzler, R. Röder, C.T. Schneider et M. Schnüll (Université de Hanovre, Rép. Féd. d'Allemagne) ont séjourné environ une semaine au BIPM à partir du 6 juin 1986, afin d'étalonner des gravimètres relatifs et de vérifier un gravimètre absolu.

MM. Balhorn et Schwartz (PTB, Braunschweig) sont venus les 25 et 26 juin 1986 à la section des masses et ont remporté, après étalonnage, l'étalon prototype en platine iridié N° 52 de la Rép. Féd. d'Allemagne ainsi qu'un étalon en acier inoxydable.

Mr A. DeVolpi (Argonne National Laboratory, É.-U. d'Amérique) est venu les 16 et 17 juin 1986 visiter la section des rayonnements ionisants pour discuter avec J.W. Müller de problèmes concernant les coïncidences fortuites, sujet sur lequel il a tenu un petit séminaire le 16 juin.

Mr S.-T. Hwang (Korea Standards Research Institute, Rép. de Corée), a visité la section des rayonnements ionisants le 27 juin 1986. Il s'est particulièrement intéressé aux installations relatives aux mesures de radionucléides et a pu se faire préciser des détails concernant le compteur proportionnel à pression et la mesure par échantillonnage sélectif.

Mr K.F. Walz (PTB, Braunschweig) a visité le groupe des radionucléides les 7 et 8 juillet 1986. Il s'est particulièrement intéressé aux problèmes de la récente comparaison internationale de  $^{109}\text{Cd}$ , au SIR et à l'échantillonnage sélectif.

Mme E. Filipe (Instituto Português da Qualidade, Lisbonne) a effectué un stage à la section de thermométrie du 8 au 25 septembre 1986.

Mr Smith (NPRL, Afrique du Sud) a repris l'étalon prototype en platine iridié N° 56, le 12 septembre 1986.

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

— Mr Baccari (Institut national de normalisation de Tunisie), le 2 octobre 1985 (longueurs, masses) ;

— Mr le Prof. Sawicki (Pologne), le 25 novembre 1985, à la demande du BNM (électricité) ;

— Mr Prost (OFMET, Suisse), le 8 octobre 1985 (temps) ;

— Mr Dédic (Bureau fédéral des mesures et métaux précieux, Belgrade), le 16 décembre 1985 (masses) ;

— Mr G. Eklund (Statens Provningsanstalt, Suède), les 19 et 20 décembre 1985 (électricité : discussion sur les étalons de tension) ;

— Mr P.J. Campion (NPL, Teddington), le 14 janvier 1986 (rayonnements ionisants) ;

— Mr Wang Yu-Zhu (Laboratoire d'optique et mécanique de précision, Shanghai), du 17 au 21 février 1986 (lasers, longueurs) ;

— Mr Alunni (Société Quantel, France), le 18 février 1986 (discussion des résultats obtenus sur des gyroscopes à laser) ;

— Mme Le Duc (Laboratoire de spectroscopie hertzienne de l'École normale supérieure, Paris), le 19 février 1986 (lasers) ;

— MM. J.R. Moore (NPL, Teddington) et J. Bastie (INM, Paris), le 25 février 1986 (photométrie : absorption dans la sphère lumenmètre) ;

— Mr J. Proševski (BFMMP, Yougoslavie), les 10, 11, 13 et 14 mars 1986 (temps, électricité : étalons et mesures de tension, lasers) ;

— Mr K. Iizuka (NRLM, Japon), le 15 avril 1986 (masses : comparaisons de masses volumiques) ;

— Mr Z. Referowski (PKNM, Varsovie), le 17 avril 1986 (rayonnements ionisants) ;

— MM. F. Cordara et V. Pettiti (IEN, Italie), le 21 avril 1986 (temps) ;

— Mr T. Valkeapaa (Measuring Equipment Laboratory, Helsinki), le 24 avril 1986 (électricité) ;

— MM. B.T. Johnson et B. Wasko (Voland Corporation, É.-U. d'Amérique), respectivement le 29 avril et le 26 juin 1986 (masses) ;

— Trois responsables de la métrologie au Viêt-Nam, le 13 juin 1986 ;

— Mr H.J. Brede (PTB, Braunschweig) le 9 juillet 1986 (rayonnements ionisants) ;

— Mr Harvey (CSIRO, Australie), le 15 septembre 1986 (temps) ;

— MM. K. Carneiro et L. Nielsen (Danish Institute of Fundamental Metrology, Danemark), les 15 et 16 septembre 1986 (masses, rayonnements ionisants) ;

— Mr M.A. Hynes (Institute for Industrial Research and Standards, Irlande), le 16 septembre 1986 (masses) ;

— Mr J. Vanier (NRC, Canada), le 17 septembre 1986 (temps) ;

— Mr Pouchkine (Comité d'État des Normes, U.R.S.S.), le 18 septembre 1986 (temps) ;

— Mr W.J. Klepczynski (Observatoire Naval, É.-U. d'Amérique), le 19 septembre 1986 (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 1985.

### Compte I. — Fonds ordinaires\*

#### RECETTES

	francs-or
ACTIF AU 1 <sup>er</sup> JANVIER 1985 .....	16 227 665,79
Recettes budgétaires .....	15 408 727,38
Remboursement des taxes sur les achats (diminution de l'arriéré) .....	362 334,51
Recouvrement de contributions au titre de « Remboursement aux États » .....	488 370,00
Total .....	<u>32 487 097,68</u>

#### DÉPENSES

	francs-or
Dépenses budgétaires .....	15 270 896,66
Versement au compte « Remboursement aux États » .....	488 370,00
Différences de change .....	335 126,82
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1985 .....	953 170,52
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1985 .....	15 439 533,68
Total .....	<u>32 487 097,68</u>

#### DÉTAIL DES RECETTES BUDGÉTAIRES

##### Versements de contributions :

	francs-or
au titre de l'exercice 1985 .....	12 089 504
au titre de l'exercice 1984 .....	817 070
au titre de l'exercice 1983 .....	247 844
au titre de l'exercice 1982 et antérieurs .....	160 760
au titre de l'exercice 1986 .....	4 000
Intérêts des fonds .....	1 986 867,42
Taxes de vérification .....	18 563,59
Recettes diverses .....	84 118,37
Total .....	<u>15 408 727,38</u>

\* Dans ce tableau, ainsi que dans les suivants, on utilise le franc-or défini par l'équivalence 1 franc-or = 1,81451 francs français.

DÉTAIL DES DÉPENSES BUDGÉTAIRES

Chapitres	Dépenses de l'exercice	Prévisions budgétaires	Économies	Dépassements
<i>A. Dépenses de personnel :</i>				
1. Traitements . . . . .	6 874 375,73	7 575 000	700 624,27	—
2. Allocations familiales et sociales . . . . .	1 037 410,85	935 000	—	102 410,85
3. Sécurité Sociale . . . . .	718 043,17	670 000	—	48 043,17
4. Assurance-accidents du travail . . . . .	71 019,05	70 000	—	1 019,05
5. Caisse de retraites (a) . . . . .	1 178 000,00	1 200 000	22 000,00	—
6. Traitements TAI (1 + 2 + 3 + 4) . . . . .	502 370,64	—	—	502 370,64
7. Caisse de retraites TAI (a) . . . . .	22 000,00	—	—	22 000,00
<i>B. Dépenses de fonctionnement :</i>				
1. Mobilier . . . . .	49 153,93	50 000	846,07	—
2. Laboratoires et ateliers . . . . .	775 668,20	700 000	—	75 668,20
3. Chauffage, eau, énergie électrique . . . . .	372 998,98	430 000	57 001,02	—
4. Assurances . . . . .	25 478,05	32 000	6 521,95	—
5. Impressions et publications . . . . .	184 065,79	160 000	—	24 065,79
6. Frais de bureau . . . . .	270 911,10	160 000	—	110 911,10
7. Voyages et transports d'appareils . . . . .	219 219,33	170 000	—	49 219,33
8. Entretien courant . . . . .	113 041,29	70 000	—	43 041,29
9. Bureau du Comité . . . . .	48 000,00	48 000	—	—
10. TAI . . . . .	18 733,00	—	—	18 733,00
<i>C. Dépenses d'investissement :</i>				
1. Laboratoires . . . . .	1 228 168,35	1 400 000	171 831,65	—
2. Atelier de mécanique . . . . .	139 522,92	50 000	—	89 522,92
3. Atelier d'électronique . . . . .	—	40 000	40 000,00	—
4. Bibliothèque . . . . .	153 681,97	80 000	—	73 681,97
5. TAI . . . . .	126 021,41	—	—	126 021,41
<i>D. Dépenses de bâtiments (gros travaux d'entretien et de rénovation) . . . . .</i>				
	1 081 131,76	1 100 000	18 868,24	—
<i>E. Frais divers . . . . .</i>				
	61 881,14	59 000	—	2 881,14
<i>F. Utilisation de monnaies non convertibles . . . . .</i>				
	0,00	1 000	1 000,00	—
Totaux . . . . .	15 270 896,66	15 000 000	1 018 693,20	1 289 589,86
(a) Virement au compte II (Caisse de Retraites).				

**Compte II. — Caisse de retraites**

**RECETTES**

	francs-or
ACTIF AU 1 <sup>er</sup> JANVIER 1985 .....	9 214 761,14
Intérêts des fonds .....	949 930,53
Retenues sur les traitements .....	365 397,23
Virement du Compte I .....	1 200 000,00
Total .....	<u>11 730 088,90</u>

**DÉPENSES**

	francs-or
Pensions servies .....	1 127 339,28
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1985 .....	558 930,55
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1985 .....	10 043 819,07
Total .....	<u>11 730 088,90</u>

**Compte III. — Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique**

**RECETTES**

	francs-or
ACTIF AU 1 <sup>er</sup> JANVIER 1985 .....	<u>936 410,39</u>

**DÉPENSES**

	francs-or
Effet Hall quantique .....	330 647,57
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1985 .....	31 952,51
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1985 .....	573 810,31
Total .....	<u>936 410,39</u>

**Compte IV. — Caisse de prêts sociaux**

RECETTES		francs-or
ACTIF AU 1 <sup>er</sup> JANVIER 1985.....	101 290,51 }	185 090,87
Créances au 1 <sup>er</sup> janvier 1985.....	83 800,36 }	69 439,84
Créances nouvelles en cours d'année.....		
Amortissements partiels des prêts :		
Capital.....	76 509,41 }	79 207,53
Intérêts.....	2 698,12 }	
Total.....		<u><u>333 738,24</u></u>

DÉPENSES		francs-or
Prêts consentis en cours d'année.....		69 439,84
Créances amorties en cours d'année.....		76 509,41
Créances au 31 décembre 1985.....	76 730,79 }	187 788,99
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1985.....	111 058,20 }	
Total.....		<u><u>333 738,24</u></u>

**Compte V. — Réserve pour les bâtiments**

RECETTES		francs-or
ACTIF AU 1 <sup>er</sup> JANVIER 1985.....		141 352,65
Alimentation par le Compte I.....		800 000,00
Total.....		<u><u>941 352,65</u></u>

DÉPENSES		francs-or
Réévaluation de l'actif au 31 décembre 1985.....		45 623,74
Dépenses bâtiment « Lasers » et projet de nouveau bâtiment.....		74 437,17
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1985.....		821 291,74
Total.....		<u><u>941 352,65</u></u>

**BILAN**

AU 31 DÉCEMBRE 1985

	francs-or
Compte I « Fonds ordinaires » .....	15 439 533,68
Compte II « Caisse de retraites » .....	10 043 819,07
Compte III « Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique » .....	573 810,31
Compte IV « Caisse de prêts sociaux » .....	187 788,99
Compte V « Réserve pour les bâtiments » .....	821 291,74
ACTIF NET .....	<u>27 066 243,79</u>

Cet actif se décompose comme suit :

a. Fonds déposés en banque :

	francs-or
1° En monnaie française (1 FRF = 0,551109935 FO) .....	1 564 234,07
2° En monnaie U.S.A. (1 USD = 7,625 FF = 4,202213258 FO) .....	5 850 282,64
3° En monnaie suisse (1 CHF = 3,649 FF = 2,011000154 FO) .....	3 735 681,42
4° En monnaie britannique (1 GBP = 10,910 FF = 6,012609395 FO) .....	23 928,20
5° En monnaie allemande (1 DEM = 3,069 FF = 1,691356392 FO) .....	5 545 687,15
6° En monnaie japonaise (1 JFY = 0,0380 FF = 0,020942177 FO) .....	7 120 340,18
7° En monnaie hongroise (1 HUF = 0,131546 FF = 0,072496811 FO) .....	6 328,12
8° En monnaie polonaise (1 PLZ = 0,057551 FF = 0,031717352 FO) .....	24 456,01
9° En monnaie néerlandaise (1 NLG = 2,725 FF = 1,501774574 FO) .....	1 832 164,98
10° En ECU (1 XEU = 6,700 FRF = 3,692436567 FO) .....	1 846 218,28
b. Espèces en caisse .....	10 569,95
ACTIF BRUT .....	<u>27 559 891,00</u>

c. Créances de la Caisse de prêts sociaux .....	76 730,79
à déduire : Provision pour remboursement aux États (1) .....	570 378,00
ACTIF NET .....	<u>27 066 243,79</u>

(1) *Compte « Remboursement aux États »*

	francs-or
Situation au 1 <sup>er</sup> janvier 1985 .....	82 008,00
Recouvrements sur l'Inde et le Pakistan .....	488 370,00
Situation au 31 décembre 1985 .....	<u>570 378,00</u>

## INDEX

- Accords bilatéraux entre États membres de la Convention du Mètre (réalisation des unités de base du SI), 7
- Balances (*voir* Masses)
- Base géodésique  
fils et invar, 41 ; abandon des étalonnages, 41
- Bâtiments  
Dépendances, 38  
Grand Pavillon (réfection d'un bureau du deuxième étage), 38  
Nouveau Pavillon (proposition de construction), 6, 24  
Observatoire (ravalement des façades ; réfection de deux bureaux du rez-de-chaussée et d'un bureau du premier étage), 38 ; réfection de la salle 15, 74  
Petit Pavillon (peintures du logement des stagiaires et étanchéité du dôme de l'atelier), 38  
Rayonnements Ionisants (réfection des vernis), 38
- BIH (*voir* Temps),
- Certificats et Notes d'étude, 99
- CGPM (18<sup>e</sup>), préparation, 27 ; projets de résolution, 10, 27
- Comités consultatifs  
Électricité, 8  
Photométrie et Radiométrie, 10 ; question des fibres optiques, 12, texte commun CCE-CCPR sur le partage des responsabilités, 14  
réunions futures, 15
- Comité International  
bureau du Comité, 3  
composition, VII  
élections (K. Iizuka, O. Sala et A.I. Mekhannikov), 2  
prochaines sessions, 34  
rapport du secrétaire, 2
- Comparaisons internationales  
étalons électriques, 78  
gravimètres (2<sup>e</sup> comparaison internationale), 39, 61  
lasers (avec l'IMPR), 50  
masses (préparation de la 3<sup>e</sup> comparaison internationale), 27 ; étalons de masse volumique, 58  
mesures neutroniques, 93  
photométrie (étalons d'intensité et de flux lumineux), 78  
radiométrie, 11  
radionucléides (<sup>133</sup>Ba, <sup>109</sup>Cd), 85, 87  
rayonnement  $\gamma$  du <sup>60</sup>Co (dose absorbée), 80
- Dépôt des prototypes métriques (visite du), 21
- Directeur (désignation du futur), 32
- Échantillonnage sélectif (méthode d') (*voir* Radionucléides)
- Échelle internationale pratique de température (*voir* Thermométrie)
- Électricité, 8, 18, 72  
conservation et transfert du volt, 77  
effet Hall quantique, mise en œuvre au - BIPM, 9, 38, 74  
effet Josephson, 77  
mesures de résistance ( $\Omega$ ), 72  
rattachement de  $\Omega_{\text{CSIRO}}$  à  $\Omega_{69-81}$ , 77  
(*voir* projets de résolution)
- Étalons,  
Électricité, étalons de résistance de 1  $\Omega$ , 78 ; de tension à diode de Zener, 77 ; piles, 78  
Longueur, à traits, 41 ; à bouts plans, 41  
Masse en Pt/Ir, 55 ; conservation, 28 ; nettoyage-lavage, 56  
Photométrie, 79  
Rayonnements ionisants, chambres d'ionisation, 79
- Gravimétrie, 17, 33, 61
- Informatique (acquisition d'un IBM PC pour utilisation documentaire), 40
- Lasers, 16, 42  
à He-Ne asservis sur l'iode en cuve interne, à  $\lambda = 633$  nm, 42, à  $\lambda = 543$  nm, 43 ; en cuve externe, 46 ; sur le méthane en cuve interne, 50  
expérience de Kennedy-Thorndike, 46
- Longueurs, 16, 41  
mesures de longueur d'onde, 54

- Manométrie, 63  
instruments de transfert de pression, 63 ;  
jauges de pression, 64
- Masses, 17, 55  
balance à suspensions flexibles, 59  
balance Rueprecht de portée 1 kg, 61  
(voir projets de résolution)
- Mesures neutroniques, 93 ; sphères de Bonner, 95
- Metrologia*, 96
- Notice  
sur les organes de la Convention du mètre, V
- Personnel, 37  
chercheur associé, 37  
départs, 38  
directeur désigné, 32  
engagement, 37  
liste du, IX  
métrologue honoraire (Mr Leclerc), 34  
nominations, 37  
titularisations, 37
- Photométrie, 78
- Projets de résolution pour la CGPM,  
Électricité (changement des valeurs des constantes qui relie le volt et l'ohm à l'effet Josephson et à l'effet Hall quantique), 10  
Masse (préparation de la 3<sup>e</sup> comparaison générale des prototypes du kilogramme), 27 ; (stabilité des étalons de masse), 28 ;  
Seconde (prise en charge du TAI par le BIPM), 28 ; (amélioration de la réalisation de la seconde), 29 ; (effets perturbateurs), 30 ;  
Thermométrie (mise en place d'une nouvelle EIPT), 30
- Publications, 96  
du BIPM, 96  
extérieures, 97  
rapports internes, 98  
brochure sur le BIPM, 7
- Questions administratives,  
futur directeur (élection), 32  
salaires, 24
- Questions financières,  
actif du BIPM, 3  
comptes, 112  
dépenses relatives au TAI, 5, 22
- dotation pour la période 1989-1992, 5, 31  
projet de budget pour 1987, 23
- Radiométrie, 11
- Radionucléides, 84  
activité (mesures d'), 84  
construction d'un compteur proportionnel à pression, 85  
échantillonnage sélectif (méthode d'), 91  
Guide du métrologue de la radioactivité, 88  
statistiques de comptage, 89
- Rayonnements ionisants, 19, 79
- Rayons X et  $\gamma$ , 79 ; rayonnement  $\gamma$  du  $^{60}\text{Co}$ , 79
- Recommandations,  
1 (CI-1986) (Expression des incertitudes dans les travaux effectués sous les auspices du CIPM), 35 ;  
2 (CI-1986) (Analyse des résultats des comparaisons internationales), 36
- Spectrométrie  $\alpha$ , 92 ;  $^{227}\text{Ac}$ , 93
- Système international de référence (SIR), 88
- Temps, 17, 64  
algorithmes, 67  
atomique international (TAI), 64 ; transfert au BIPM, 4, 28, 39  
Échelles de temps, 64  
EAL (évaluation, pilotage), 64  
Global Positioning System (GPS), 39, 65  
LASSO, 67  
LORAN-C, 67  
Universel, 69  
Universel Coordonné (UTC), 64  
(voir projets de résolution)
- Thermométrie, 69  
Échelle internationale pratique de température (EIPT), 30, 70 ; thermomètres à résistance de platine pour la mesure des températures moyennes, 70  
température thermodynamique, étude par pyrométrie infrarouge, 71  
(voir projets de résolution)
- Travaux du BIPM (présentation des), 16
- Travaux en liaison avec les organismes internationaux et nationaux, 102
- Visites et stages au BIPM, 108
- Voyages, visites, conférences et exposés du personnel, 102

---

## TABLE DES MATIÈRES

---

### COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

75<sup>e</sup> session (Octobre 1986)

---

	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
<b>Procès-verbaux des séances, 14-16 octobre 1986.....</b>	<b>1</b>
1. Ouverture de la session ; quorum ; ordre du jour .....	1
2. Rapport du secrétaire du CIPM (élections de K. Iizuka, O. Sala et A.I. Mekhannikov).....	2
3. Rapport sur l'activité du bureau du Comité.....	3
4. Comités Consultatifs .....	8
4.1. d'Électricité ; projet de résolution F .....	8
4.2. de Photométrie et Radiométrie ; questions des fibres optiques .....	10
4.3. Réunions futures .....	15
5. Travaux du BIPM.....	16
6. Visite du dépôt des Prototypes métriques .....	21
7. Questions administratives et financières.....	22
8. Proposition pour la construction du Nouveau Pavillon .....	24
9. Préparation de la 18 <sup>e</sup> Conférence Générale ; projets de résolution ; dotation .....	27
10. Questions diverses .....	32
10.1. Nomination de Mr T. J. Quinn comme directeur désigné .....	32
10.2. Gravimétrie .....	33
10.3. Nomination de Mr Leclerc comme « Métrologiste principal hono- raire » .....	34
10.4. Prochaines sessions du CIPM.....	34
Recommandation 1 (CI-1986) : Expression des incertitudes dans les travaux effectués sous les auspices du CIPM.....	35
Recommandation 2 (CI-1986) : Analyse des résultats des comparaisons internatio- nales.....	36

<b>Rapport du directeur sur l'activité et la gestion du Bureau International des Poids et Mesures</b> (octobre 1985 — septembre 1986).....	37
I. Personnel. — Nominations (R. Felder, M. Thomas, G. Boutin, D. Rotrou). Titularisations (C.C. Speake, G. Ratel). Engagement (F. Delahaye). Chercheur associé (A.F. Satrapinsky). Départs (G. Leclerc, A. Rytz) ....	37
II. Bâtiments. — Petit Pavillon (peintures du logement des stagiaires, étanchéité du dôme de l'atelier). Grand Pavillon (réfection d'un bureau du 2 <sup>e</sup> étage). Observatoire (ravalement des façades ; réfection de deux bureaux du rez-de-chaussée et d'un bureau du 1 <sup>er</sup> étage). Rayonnements ionisants (réfection des vernis). Dépendances .....	38
III. Instruments et travaux .....	38
Remarques générales .....	38
1. Informatique (installation d'un IBM PC, modèle AT3, pour le travail de documentation et de gestion de la bibliothèque) .....	40
2. Longueurs .....	41
2.1. Règles divisées (règle N° 4795 [Pologne], règlette N° 789 de 0,2 m [Pologne], règle N° 15168 [Pakistan]) .....	41
2.2. Étalons à bouts plans (quatre calibres [Belgique]) .....	41
2.3. Base géodésique (étude de treize fils de 8 et 24 m [Yougoslavie] ; la Société Imphy est informée de l'arrêt de notre activité dans le traitement du fil d'invar) .....	41
3. Lasers .....	42
3.1. Travaux réalisés au JILA par J.-M. Chartier (comparaisons diverses, asservissement de lasers sur une cavité ultra-stable, expérience de Kennedy-Thorndike) .....	42
3.2. Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée de l'iode en cuve externe à $\lambda = 612$ nm .....	46
3.3. Lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée du méthane en cuve interne à $\lambda = 3,39$ $\mu\text{m}$ (comparaison avec l'IMPR, avec le LPTF ; poursuite de travaux sur les tubes à décharge et les cuves d'absorption) .....	50
3.4. Mesures de longueurs d'onde (sur deux lasers à He-Ne de l'IMGC) ...	54
4. Masses .....	55
4.1. Étalons prototypes en platine iridié (N° 45 [Argentine], N° 50 [Canada], N° 52 [Rép. Féd. d'Allemagne], N° 56 [Afrique du Sud], N° 57 [Inde]) .....	55
4.2. Étude d'autres étalons de masse (N° 7 en acier Contraperm [Suisse], I et sans numéro [Argentine], M en acier inoxydable [Rép. Féd. d'Allemagne]) .....	58
4.3. Comparaison d'étalons de masse volumique dans le cadre d'un groupe de travail du CCM (étalon en acier inoxydable « Nimonic » et cristaux de silicium) .....	58
4.4. Balance prototype à suspensions flexibles (poursuite de l'étude) .....	59
4.5. Nouvelle salle des balances (installation de la balance Rueprecht de portée 1 kg dans la salle 104) .....	61
5. Gravimétrie (deuxième comparaison internationale de gravimètres) .....	61

6. Manométrie .....	63
6.1. Amélioration de la cellule à point triple de l'argon comme référence de pression.....	63
6.2. Contrôle régulier de jauges de pression pour la section des masses....	64
7. Échelles de temps.....	64
7.1. Établissement du TAI et de l'UTC (modification des codes du BIH pour désigner les horloges et les échelles de temps).....	64
7.2. Amélioration des liaisons horaires (étude des différences entre récepteurs du GPS; réorganisation des liaisons par LORAN-C; retard de l'expérience LASSO) .....	65
7.3. Travaux sur les algorithmes.....	67
7.4. Recherches diverses (temps universel, pulsars).....	69
8. Thermométrie .....	69
8.1. Échelle internationale pratique de température.....	70
8.2. Températures thermodynamiques: étude par pyrométrie infra-rouge....	71
8.3. Études courantes (thermomètres à résistance de platine [BIPM; Belgique]) .....	71
9. Électricité .....	72
9.1. Amélioration des mesures de résistance (passage de 10 k $\Omega$ à 1 $\Omega$ ; réfection de la salle 15) .....	72
9.2. Mise en œuvre de l'effet Hall quantique .....	74
9.3. Conservation et transfert de $V_{76-B1}$ (maintenance de $V_{76-B1}$ ; comparaisons de piles, étude d'étalons de tension à diode de Zener) .....	77
9.4. Études courantes (onze étalons de résistance [Pologne, Israël, France et Suisse]; vingt-et-une piles étalons [Suède, Norvège, U.R.S.S., Yougoslavie]; un étalon à diode de Zener) .....	78
10. Photométrie .....	78
10.1. Comparaison internationale (rapport provisoire présenté au CCPR)....	78
10.2. Étalons de flux lumineux: absorption dans la sphère d'Ulbricht.....	79
11. Rayons X et $\gamma$ , électrons.....	79
11.1. Rayons X (étalonnage de chambres d'ionisation [Finlande, Danemark]).....	79
11.2. Rayonnement $\gamma$ du $^{60}\text{Co}$ (variation des références BIPM au 1 <sup>er</sup> janvier 1986 par suite de nouvelles valeurs de constantes physiques; comparaisons et étalonnages; étalon BIPM de dose absorbée dans l'eau; équivalent de dose).....	79
12. Radionucléides.....	84
12.1. Mesures d'activité (comparaisons internationales de $^{133}\text{Ba}$ , $^{109}\text{Cd}$ ; construction d'un compteur proportionnel à pression; application à la mesure d'activité du $^{109}\text{Cd}$ ; SIR; achèvement du manuscrit du manuel « Measurement of radioactivity: principles and methods »).....	84
12.2. Statistiques de comptage (indépendance de choix consécutifs du type de temps mort; temps morts équivalents).....	89
12.3. Spectrométrie alpha (mesure absolue de l'énergie de particules alpha émises par le $^{227}\text{Ac}$ ).....	92
13. Mesures neutroniques .....	93
13.1. Comparaison de mesures de débit de fluence de neutrons à 2,50 MeV (comparaison avec la Chine).....	93
13.2. Comparaison internationale de mesures de débit de kerma (cinq des dix laboratoires concernés ont déjà effectué leurs mesures).....	94
13.3. Étude des sphères de Bonner .....	95

14. Publications .....	96
Publications du BIPM.....	96
Metrologia .....	96
Publications extérieures.....	97
Rapports.....	98
15. Certificats et Notes d'étude.....	100
IV. Activités et relations extérieures.....	102
Travaux en liaison avec des organismes internationaux et nationaux.....	102
Voyages, visites, conférences, exposés du personnel.....	102
Visites et stages au BIPM.....	108
V. Comptes.....	112
INDEX .....	xI

---